REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études du Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

Analyse de la fiabilité d´un compresseur BCL 405/C

Réalisé par :

GAAD Ferial

Dirigé par :

Pr GUEMANA Mouloud

Pr HAFAIFA Ahmed

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

Je remercie en premier lieu ALLAH le tout-puissant de nous avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

De même, je remercie mes parents pour leurs sacrifices et encouragements.

Je tiens à remercier **Pr.GUEMANA Mouloud** Encadreur de ce mémoire qui a ménagé un grand effort afin de me permettre de mener à bien mon modeste travail et à qui j'exprime ma gratitude et mes respects.

Je remercie, mon parrain Madame **CHARA Nadia** pour ses soins exceptionnels et conseils judicieux.

Je remercie tous le personnelle du service maintenance des compresseurs, qui ont assurés notre formation durant la période de mise en situation professionnelle.

Je remercie tous ceux qui m'ont été d'un soutien moral durant mes séjours à **SONATRACH.**

Finalement, pour n'oublier personne, je profite l'occasion afin de remercier tous ceux qui font

collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

ferial

DIDICACES :

JE DEDIE CE MIMIORE A :

C'est avec grand plaisir que je dédie cet humble travail :

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant les moments plus difficiles Durant ma vie.

A la personne la plus chère de ma vie, ma mère.

À la personne qui m'a soutenu tout au long de mes études, mon père

Que dieu les gardes .

A la personne la plus chère de ma vie, papati.

Aux chers mon frère et ma sœur.

A tous mes chères collègues et mes chères amis que j'ai rencontré au cours de ma carrière universitaire.

La miséricorde de Dieu était comme le ciel sur Terre Amel .

N'importe qui occupe une place dans mon cœur.

A toute ma famille et à tous ceux qui ont un nom

GAAD et BABAALI, je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite.

Sans oublier les profs et les professeurs qui nous aident à atteindre jusqu'à la fin .

GAAD FERIAL

Résumé

Les compresseurs centrifuges jouent un rôle vital dans la chaîne de production des hydrocarbures. Ils sont essentiels pour augmenter la pression des gaz extraits des puits, ce qui facilite leur transfert via les pipelines vers les sites de traitement. De plus, ces équipements sont cruciaux pour la réinjection de gaz dans les réservoirs géologiques, améliorant ainsi la récupération des hydrocarbures. Ce projet a pour but d'évaluer la fiabilité d'un compresseur installé dans une station de réinjection de gaz dédiée à la production d'hydrocarbures à Hassi R'mel. Il vise à analyser les pratiques de maintenance en place sur le compresseur et à recommander un cycle de réparation approprié, en tenant compte des conditions d'exploitation spécifiques.

Mots clés : Compresseurs centrifuges, réinjection de gaz, fiabilité, maintenance, cycle de réparation, conditions d'exploitation.

ملخص

تلعب الضواغط الطردية دورًا حيويًا في سلسلة إنتاج المحروقات. إنها أساسية لزيادة ضغط الغاز المستخرج من الآبار، مما ييُسر نقلها عبر خطوط الأنابيب إلى مواقع المعالجة. بالإضافة إلى ذلك، هذه الأجهزة ضرورية بشكل حيوي لإعادة حقن الغاز في الخزانات الجيولوجية ،مما يحسن استرجاع المحروقات.

يهدف هذا المشروع إلى تقييم موثوقية الضاغط المثبت في محطة إعادة حقن الغاز المخصصة لإنتاج الهيدروكربونات في حاسي الرمل. ويهدف إلى تحليل الممارسات الحالية للصيانة على الضاغط وتوصية بدورة إصلاح مناسبة، مع مراعاة الظروف الخاصة للتشغيل.

الكلمات المفتاحية: الضواغط الطردية. موثوقية. العملية الصناعية. الصيانة

Abstract

Centrifugal compressors play a vital role in the hydrocarbon production chain. They are essential for increasing the pressure of gases extracted from wells, facilitating their transfer via pipelines to processing sites. Additionally, these equipment’s are crucial for gas reinjection into geological reservoirs, thereby enhancing hydrocarbon recovery. The aim of this project is to evaluate the reliability of a compressor installed in a gas reinjection station dedicated to hydrocarbon production in Hassi R'mel. It aims to analyze the current maintenance practices on the compressor and recommend an appropriate repair cycle, taking into account specific operating conditions.

Keywords : Centrifugal compressors, maintenance, reliability, operating conditions .

Liste des abréviations :

-HR : Hassi R’mel.

-MPP : Module Processing Plant.

-GPL : Gaz de Propaine Liquéfié.

-**GNL :** Gaz Naturel Liquéfié.

-SONATRACH : Société Nationale de Transport et de Commercialisation des hydrocarbures.

-SCN : Station Compression Nord.

-SCS : Station Compression Sud.

-SBN : Station Boosting Nord.

-SBC : Station Boosting Centre.

-SBS : Station Boosting Sud .

-MTBF : la moyenne des temps de bon fonctionnement.

-**MTTR :** la moyenne des temps techniques de réparation

-MTTA : la moyenne des temps techniques d'arrêt.

-MPS : maintenance préventive systématique.

-MPC : maintenance préventive conditionnelle.

-MC : maintenance corrective.

-**HSE :** Hygiène et sécurité industrielle et environnement.

Sommaire

Introduction Général ……..……..…….....1

Chapitre I : La prestation de la zone d'étude

Introduction…….....….3

I.1.Description générale de la région H´RM …….…….....…...3

I.2.Gisement de Hassi R´mel ……...……...…...…4

I.3.Historique de Hassi R'mel ……...…….....…..5

I.4.Présentation des secteurs de Hassi R'mel …… ……..…….……6

I.4.1.Les Modules……..……..……..... 7

I.4. 2.Production du champ H´RM……8

I.5. Direction régionale de Hassi R'mel ……9

I.5.1.Direction Maintenance……..……..…...…10

I.5.2.Division HSE ……..…….....11

I .6.Station de Compression (réinjection) …..…...…….…...…11

I.1.6.Les composantes principales de la station…….……..……..…...…13

Conclusion …….……..…..14

Chapitre II : Généralité sur les compresseurs centrifuges

Introduction …….…….…16

II.1.But de la compression ……...…16

II.2.Classification des compresseurs …….....…..16

II.3.Comparaison entre les différents types des compresseurs ……...…17

II 4.Compresseurs centrifuges …….…….…….....18

II.4.1. Eléments constituant les compresseurs centrifuges ……...…...18

II.4.2.Principe de fonctionnement …….....20

II.4.3. Nomenclature des compresseurs centrifuges …….....…..22

II.5.Prséntation du Compresseur BCL 405/C ……....22

II.5.1. Ensemble rotor du BCL 405/C ……..……24

II.5.2. Système d'étanchéité du BCL 405/C …….....28

II.5.2.1. Etanchéités à labyrinthe (internes) …….…….……28

II.5.2.2.Étanchéité à film d'huile (externe) …….…….…….29

II.5.2.3.Circuit d'huile de graissage ……..……30

II.5.2.4.Principales parties qui le composent Réservoir ……..…….33

II.5.2.5.Qualité d'huile de graissage et d'étanchéité ……....35

II.6.Caractéristiques de fonctionnement du compresseur BCL 405/C…….…37

Conclusion ……..….38

Chapitre III : Maintenance Appliquée sur le compresseur BCL 405/C

Introduction ……..…40

III.1.Notion générales sur la maintenance …….……..……40

III.1.1. Définition …….....…..40

III.1.2 Les objectifs de la maintenance…….....41

III.1.3.Niveaux de la maintenance …….....…42

III.2.Types de la maintenance …….…….…….43

III.2.1.Maintenance préventive……..……...……...…..44

III.2.1.1.Objectifs visés par le préventif ……..……..……...….44

III.2.1.2.Maintenance préventive systématique …….....….44

III.2.1.3.Maintenance préventive conditionnelle …….…….……45

III.2.2.La maintenance corrective …….……...……..….46

III 3.Les opérations de maintenance …….……..……...…..47

III.3.1.Les opérations de la maintenance préventive ……..……..…..47

III.3.2.Les opérations de maintenance corrective ……..……..…47

III.4.Les tempes de maintenance ……..…..….48

III.5.Maintenance des compresseurs centrifuge BCL 405/C ……...49

III.5.1.Phase démontage …….....50

III.5.2.Phase inspection et contrôle ……...58

III.5.3.Phase remontage ……..…...…60

III.6.Objectifs de révision générale Niveau II…….…....63

Conclusion ……..….63

CHAPITRE IV : Calcul de la fiabilité de compresseur BCL 405/C

Introduction…….…….....66

IV1..Définition et terminologie ……..…….....66

IV.1.La fiabilité……..……..…….....66

IV.1.2.Fiabilité prévisionnelle ……...…..……..…...…66

IV.1.3.Fiabilité estimée ou intrinsèque …….…….…66

IV.1.4.Fiabilité mesurée opérationnelle ……...….....66

IV.1.5.Défaillance ……..……...…..66

IV.1.6.Usure…….....67

IV.1.7.Vieillissement ……..…...…..…67

IV.1.8.Durée de vie…….…..…...….67

IV.1.9.Longévité…….…...….67

IV.1.10.Conservabilité …….…….....…..67

IV.1.11.Qualité ……..……...…67

IV.1.12.Maintenabilité…….….....67

IV.1.13.Disponibilité (Availability en anglais)…….…….……..67

IV.2.Evolution du taux de défaillance…….....….67

IV.3.Paramètres de fiabilité…….……..…...68

IV.3.1.Variable aléatoire…….....…69

IV.3.2.Densité de probabilité……...…..69
IV.3.3.Fonction de réparation……...….69
IV.3.4.Fonction de fiabilité……..……..…69
IV.3.5.Taux de défaillance……..……..69
IV.3.6.MTBF……..…….....69
IV.4.Principales lois utilisées en fiabilité..…….…….....69
IV.3.1.La loi normale……..…..…..…….....70
IV.4.2.La loi exponentielle ……..……..……..71
IV.4.3.La loi de weibull……..……..…...…72
IV.5.Calcul de fiabilité……..…...….……..74
IV.5.1.Détermination du nombre de classe r……...…….……...74
IV.5.2 .Regroupement en classes……..…….…….....74
IV.5.3.calcul de fonction de fiabilité (**t**)……..…….……...….75
IV.5.4.calcul de la probabilité de défaillance F(t)……..……..…….…….....76
IV.5.5.calculdu taux de défaillance λ(t)……..…….…….....77
IV.5.6.calcul de la MYBF……..…….…….....78
IV.5.7.La test d'adéquation…….….....……...….78
Conclusion ……..…….....80

CHAPITRE V : Sécurité de compresseur BCL 405/C

Introduction …….....82
V.1.Définition de la sécurité…….…..…….....82
V.2.Place de la sécurité dans l'entreprise…….……...…..82
V.3.Mission de la sécurité……...…….……...….83
V.3.1.Prévention …….…….……....83
V.3.2.L´intervention …….……...…….....83
V.4. Incendies…….....83
V.4.1.Différents type de feux …….…….....84
V.5.Relation entre la maintenance et la sécurité …….…….....84

V.6.La sécurité au niveau de l'unité de compression ….…….…….....…85

V.6. 1.Règle de sécurité à l'intérieur des installations…….…….....…...85

V.7. La sécurité des compresseurs centrifuges 405 / C ……...….....…..87

V.7.1.Système anti-incendie …….……..…..87

V.7.2.Instruments de contrôle et de sécurité…….……...….....90

V.8.Exemple réel d'un accident de travaille dans une installation de compression……..91

V.9.Quelques dangers que nous puissions trouver dans nos installations…….…..…..…92

Conclusion…….……...….92

Conclusion générale……..……..……..……..…94

Annexe…….…….……...96

Bibliographie…….....……97

Liste des figures

Figure I.01 : Position géographique de Hassi R'mel…….....….4

Figure I.02 : Composition du parc d'exposition…….....…..…7

Figure I.03 : Processus industriel de Hassi R'mel…….…..….....8

Figure I. 04 : Organigramme de la direction régionale…….....…9

Figure I. 05 : Organigramme de la direction maintenance……..…10

Figure I.06 : Organigramme de la Division HSE……...….....…11

Figure I.07 : Les composantes principales de la station…….....….13

Figure II.01 : Les types des compresseurs……...17

Figure II.02. Plage d'utilisation des différents types de compresseurs…….……..….18

Figure II.03. partie stator…….……..…….....…19

Figure. II.04. partie rotative…….……...….20

Figure. II.05. Évolution de la pression et de la vitesse du gaz …….....….21

Figure. II.6 : Nomenclature des compresseurs centrifuges……21

Figure. II.7. Codification du compresseur BCL 405/C…….....….…….....22

Figure. II.8. Compresseur centrifuger BCL 405/C…….....23

Figure. II.9. Ensemble aérodynamique d'un compresseur centrifuge……...……..…24

Figure. II.10. Roues fermée à contre disque…….....….25

Figure. II.11. Piston d'équilibrage……..…….26

Figure. II.12. Ensemble rotor stator…….....26

Figure. II.13. Palier porteur ……....27

Figure. II.14. Palier de butée……..…..…28

Figure. II.14.disque de buttée …….……...…28

Figure. II.16. Système d'étanchéité…….……..…30

Figure. II.17. Circuit d'huile de graissage…….……...32

Figure. II.18. Liaisons des gaz du compresseur BCL……..……35

Figure III.01.les objectifs de la maintenance……...……..…..…41

Figure III.02. Différents types de maintenance. ……...……..…43

Figure III.03. Les types de La maintenance préventive……...…...…44

Figure III.04. Les types de la maintenance corrective……...….46

Figure III.05. Temps caractéristiques lors d'une intervention. ……..….49

Figure IV.01. Courbe en baignoire : taux de défaillance en fonction du temps. ……..……...68

Figure IV.02. Courbe se GAUSS. …….…….....70

Figure IV.03. La loi exponentielle . …….……....71

Figure IV.04. La loi weibul. …….....…73

Figure IV.05.l'histogramme des pannes. ……..…..….75

Figure IV.06. Courbe de probabilité de bon fonctionnement. ……..…..….76

Figure IV.07. Courbe de probabilité de défaillance. ……..……..…77

Figure IV.08. Courbe de taux de défaillance. ……...…...78

Figure.V.01 .les équipements de protection individuelle (E.P.I)……..……...…86

Figure.V.02 Le système anti-incendie à eau……...…….88

Figure-V.03 Le système extincteur au gaz carbonique CO2…….……..…89

Figure.V.04 Bouteilles CO2 SKID FOR TURBO COMPRESSOR AND POWDER.....…….90

Figure.V.05 Réel d'un accident de travaille……...…..….91

Liste des tableaux

Tableau II -01-Comparaison entre les différents types des compresseurs. ……17

Tableau II -02-Caractéristiques du compresseur BCL 405 / C …….....38

Tableau IV.02. Nombre de pannes N1…….……..……..74

Tableau IV.01. Regroupement en classes **.** …….……..…75

Tableau IV.03. Tableau de comparaison. …….…….....79

Introduction Générale

Introduction Générale

L'industrie gazière de notre pays occupe une place importante dans l'économie, comme en témoigne son impact sur les revenus. Cela nécessite une exploitation rationnelle afin de préserver cette ressource par tous les moyens possibles.

Sans aucun doute, le premier moyen de préserver les installations gazières est la maintenance, qui englobe divers domaines tels que la mécanique, l'électricité et l'instrumentation. Cette maintenance constitue la pierre angulaire du secteur, visant à garantir le bon fonctionnement de l'ensemble des installations et de leurs équipements afin d'optimiser la production et de réduire les pertes.

Parmi les équipements sensibles de ces installations, les compresseurs centrifuges occupent une place particulière, étant essentiels pour la compression du gaz à diverses fins telles que l'expédition, la réinjection et la séparation des fractions du brut au niveau des modules de traitement. La maintenance des compresseurs centrifuges s'inscrit dans le cadre d'une politique définie par la direction, se déclinant principalement en deux branches : la maintenance préventive et la maintenance corrective. Cette dernière relève principalement du service des compresseurs, qui dispose d'un personnel qualifié et compétent, en collaboration avec d'autres services.

Les compresseurs centrifuges sont parmi les équipements les plus utilisés dans le domaine de la compression des gaz. Ils représentent un investissement considérable pour les stations de compression et les modules de traitement. De plus, les pannes de ces équipements entraînent souvent des perturbations, voire l'arrêt complet de la production.

Il est donc essentiel de prévenir les défaillances des compresseurs en assurant un suivi continu, d'où la nécessité d'un programme de maintenance adéquat et d'un entretien rigoureux.

Dans ce travail, nous évaluons la fiabilité d'un compresseur installé dans une station de réinjection de gaz dédiée à la production du gaz à Hassi R'mel, et analysons les pratiques de maintenance en place sur le compresseur. Nous recommandons également un cycle de réparation approprié, en tenant compte des conditions d'exploitation spécifiques. Notre travail est structuré autour de cinq chapitres comme suit :

Chapitre I : La prestation de la zone d'étude

Chapitre II : Généralités sur les compresseurs centrifuges

Chapitre III : Maintenance appliquée sur le compresseur BCL 405/C

Chapitre IV : Calcul de la fiabilité de compresseur BCL 405/C

Chapitre V : Sécurité du compresseur BCL 405/C

Chapitre I

La prestation de la zone d'étude

Introduction :

Dans un monde où l'énergie joue un rôle central, l'Algérie s'est résolument engagée dans ce secteur vital, notamment dans celui des hydrocarbures, depuis leur nationalisation le 24 février 1971. Les hydrocarbures incarnent la ressource stratégique par excellence, étant le moteur même de l'industrie et influençant de manière significative tous les aspects de notre société. Pour les pays producteurs, l'objectif premier est d'exploiter au mieux les réserves disponibles tout en maintenant une production constante, faisant appel à toutes les méthodes de récupération disponibles.

Si le pétrole demeure en tête des demandes énergétiques, le gaz naturel gagne en importance du fait de sa nature propre et non polluante. L'Algérie se positionne ainsi parmi les principaux producteurs mondiaux de gaz naturel, occupant la 4ème place à l'échelle globale et la 1ère en Afrique. La région de Hassi R'mel se distingue particulièrement, étant le cœur de la production gazière du pays. Son gisement, classé parmi les plus importants au monde, incarne un élément clé de la richesse énergétique de l'Algérie.

I.1. Description générale de la région Hassi R’mel :

Hassi R’mel (HR), la porte du Sahara, se situe à 525 km au sud d'Alger, à 120 km au sud de la wilaya de Laghouat, à environ 70 km à l’ouest de Berriane, et à 120 km au NordOuest de Ghardaïa, à une altitude d'environ 750 m, s'étend sur une superficie de 3500 km², entre les méridiens 2°55’ et 3°45’ Est, et les parallèles 33°15’ et 33°45’ Nord. Cette région est caractérisée par un climat sec, une faible pluviométrie (140 mm par an) et une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. Les températures à Hassi R’mel varient entre 5°C et
45°C. Les vents violents de direction nord-ouest soulèvent le sable jusqu’à 110 m d'altitude et réduit la visibilité à 15 m. Le sirocco est un vent chaud et sec caractérisant soufflant du sud à une vitesse de 40 km/h et dure jusqu’à 12 jours en été.

Le champ de gaz s’entend sur 80 Km du Nord au Sud et 50 Km d’Est en Ouest, comportant environ 300 puits producteurs de gaz, 52 puits injecteurs de gaz, 20 puits d’huile, 05 modules (Usines de production de gaz sec, condensât et G.P.L) 02 stations de compression et 05 centres de traitement d’huile. [1] [6].



Figure I.1 : Position géographique de Hassi R'mel

I.2. Gisement de Hassi R'mel :

Le gisement de Hassi R'mel est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale (Figure 1). Il a une forme d'ellipse s'étale sur plus de 3500 km2 , 70km du nord au sud et 50km d'est en ouest, il se situe à une profondeur de 2200m, la capacité du gisement est de l'ordre de 3000 milliards mètre cubes récupérables. Le gisement de Hassi R'mel contient les éléments suivants :

- Gaz naturel
- Gaz de pétrole liquéfié GPL (c'est un gaz sous forme liquide)
- Condensat – Gazoline – Liquide

Cette richesse naturelle est convoitée par plusieurs entreprises nationales et étrangères pour l'exploitation et faire des plans d'investissement tel que : SONATRACH, SONELGAZ, ENGTP, GENERAL ELECTRIC, NOUVO PIGNONE, JGC, etc. Cinq modules implantés pour la production : du gaz naturel, GPL (C3, C4) et condensât (C5+), avec une capacité unitaire de 60 millions m3/jour sont opérationnels depuis les années 1979/1980. Le module 0 qui a une capacité de 30 millions m3 /jour est le plus ancien, un 6éme module desserte le petit gisement de DJEBEL BISSA sa capacité est de 6 millions de m3/jour, il est désigné par l'appellation centre de traitement de gaz DJB. Les modules 1et 0 disposent d'une unité complémentaire désignée communs c'est la phase 2 de ces 02 modules. Les modules de traitement de gaz sont reliés pour le stockage des hydrocarbures liquides (GPL, condensât) au CSTF et à deux stations de compression pour la réinjection du gaz. La fonction XP consiste à traiter le gaz, à en séparer les fractions liquides pour une meilleure valorisation, une partie du gaz va à la réinjection, l'autre partie destinée à la vente [2]. [1].

I.3.Historique de Hassi R'mel :

Le gisement de Hassi R'mel, découvert en 1956 par le forage HR-1 à une superficie de 3500 km2 et à une profondeur de 2132 m.

C'est un réservoir de gaz humide qui contient en plus du gaz du condensât et du GPL

Les études complémentaires du réservoir ont mis en évidence la présence de pétrole brut (plus particulièrement dans les parties Est et Sud du champ) On parle ainsi de présence d'anneau d'huile.

Le développement du gisement de Hassi R'mel a été réalisé en plusieurs étapes, répondant à l'évolution économique du pays et ainsi qu'au développement technologique du marché du gaz naturel dans le monde.

- ✓ 1961-1969 : Mise en exploitation de six (06) unités de traitement de gaz d'une capacité de 04 milliards de mètre cube par an.
- ✓ 1972-1974 : Mise en exploitation de six (06) unités supplémentaires pour atteindre une capacité de 14 milliards mètre cube par an.
- ✓ 1975-1980 : Mise en œuvre et réalisation de :

- ➢ Quatre modules (usines de traitement de gaz) dont la capacité nominale Unitaire est de 20 milliards mètre cube de par an de gaz sec, ces modules sont : MPP1, MPP2, MPP3 et MPP4.
- ➢ Deux stations de réinjection de gaz : dont la capacité nominale unitaire est de 30 milliards mètre cube par an de gaz sec (station nord et sud).
- ➢ Un centre de stockage et de transfert de condensât et de GPL (CSTF) : pour augmenter la capacité de traitement de 14 à 94 milliards mètre cube par an et maximiser la récupération des hydrocarbures liquides tels que le condensât et le GPL.

- ✓ Octobre 1981 : construction et mise en exploitation du centre de traitement d'huile (CTH1) suite à la découverte de l'anneau d'huile « pétrole brut » qui entoure le gisement de gaz en 1980.
- ✓ 1985 : Réalisation et mise en service d'une unité (la phase B) pour la récupération des gaz torchés et la production du GPL des modules 0 et 1.

- ✓ Juin 1987 : Démarrage du centre de traitement de gaz CTG/Djebel-Bissa d'une capacité de 1,4 milliards mètre cube par an.
- ✓ Novembre 1989 : mise en service de Centre de Traitement d'huile N°2 (CTH2).
- ✓ Octobre 1992 : mise service de Centre de Traitement d'huile N°3 (CTH3).

- ✓ Juillet 1993 : mise en service de Centre de Traitement d'huile N°4 (CTH4).
- ✓ 1995 -1999 : Mise en service des unités de déshydratation de gaz de SBAA (Adrar) et In Salah.
- ✓ Avril 1999 : Démarrage de la Station de récupération des gaz associés (SRGA) d'une capacité de 1,2 milliards mètre cube par an.
- ✓ Janvier 2000 : Démarrage du centre de traitement de gaz CTG/HR-Sud d'une capacité de 2,4 milliards mètre cube par an.
- ✓ 2004 : Réalisation et mise en service du projet BOOSTING qui est sensé augmenter la pression d'entrée des modules.
- ✓ 2007 : Réalisation de la phase II du BOOSTING.
- ✓ 2017 : Préparation pour la réalisation de la phase III du BOOSTING.

➢ Actuellement la Capacité totale de traitement est de 98 milliards mètre cube par an.

RQ: le BOOSTING est une opération d'élévation de la pression de gisement pour atteindre la pression de travail optimale pour les équipements spécialement le TURBO-EXP. [3]

I.4. Présentation des secteurs de Hassi R'mel :

Sur le schéma du procès industriel, on distingue trois secteurs :

a. Secteur Nord

Il comprend :

- Le module III(MPPIII)
- L'unité de dépropanisassions.
- SCN (Station de Compression Nord).
- CTH (Centre de Traitement d'Huile).

b. Secteur Centre

Il comprend :

- 3 modules 0, 1 et, 4.
- CSTF (Centre de Stockage et de Transfert Fluide).
- CTH (Centre de Traitement d'Huile).
- L'unité de phase B

C . Secteur Sud

Il comprend :

- Le module 2.
- SCS (Station de Compression Sud).
- Djebel Bissa.
- HR sud CTH (Centre de Traitement d'Huile). [1]



Figure I.02: Composition du parc d'exposition

I.4.1. Les Modules :

Module, c'est le diminutif de "Module Procession Plant" il désigne une usine de traitement de gaz naturel à l'échelle industrielle.

Cinq modules sont implantés sur le champ de Hassi R'mel, quatre ont une capacité unitaire de 60 millions m^3 / jour, le module zéro à une capacité de 30 millions m^3 /jour. Il est le plus ancien.

Arrivant aux unités de traitement en provenance des puits producteurs, le gaz naturel brut est un mélange d'hydrocarbure (liquide et gazeux) et de l'eau, avec quelques impuretés.

Le rôle essentiel de l'unité de traitement, est de séparer la partie liquide (condensât, GPL, eau) de la partie gazeuse (gaz humide) en première étape, et de les traiter séparément en deuxième étape, en vue de produire du condensât, du GPL et du gaz sec conforme à certaines spécifications.

Ces spécifications doivent être respectées dans le but de faciliter le transport, le stockage d'une part et la commercialisation de ces produits d'autre part. [4]

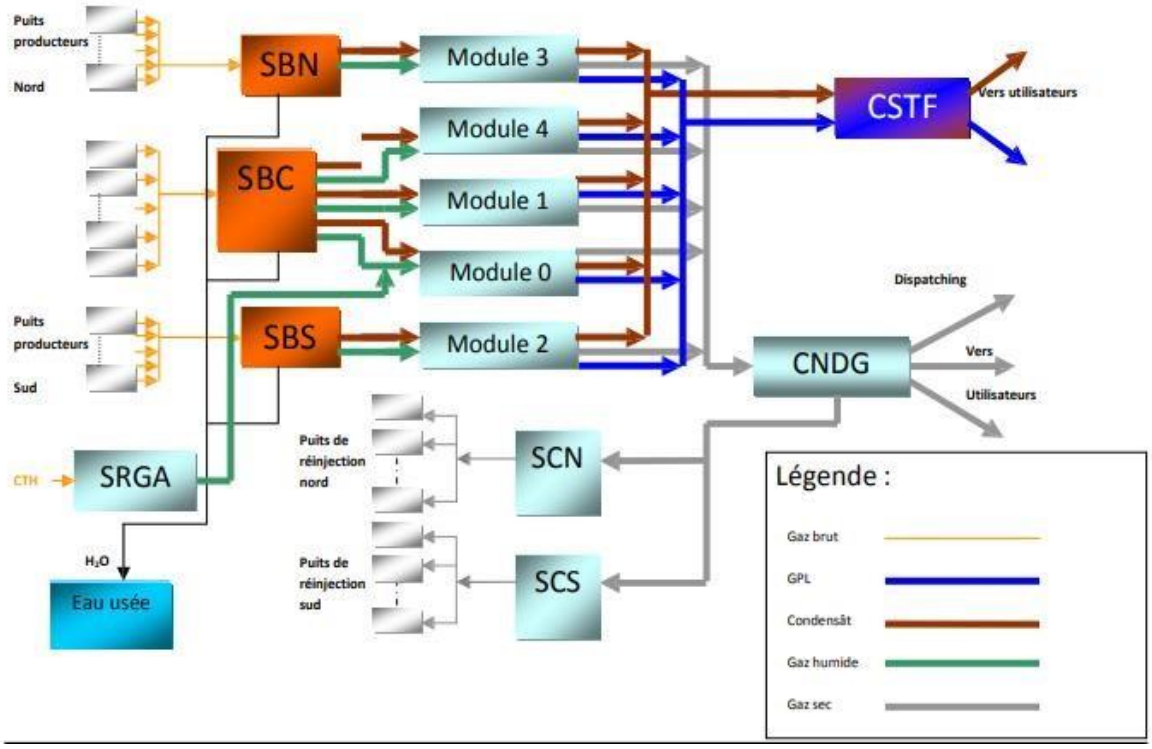


Figure I.03: Processus industriel de Hassi R'mel

I.4.2. Production du champ de Hassi R'mel :

Le développement final du champ a permis d'atteindre les capacités de production suivantes :

- 100 milliards de m^3 de gaz par an.
- 12 millions de tonnes de condensât par an.
- 3.5 millions de tonnes de GPL par an. [4]

I.5. Direction régionale de Hassi R'mel :

Elle a pour mission essentielle le développement et l'exploitation des hydrocarbures. Pour ce faire et afin de répondre à son plan de charge convenablement, elle s'est dotée des sous directions et divisions présentées dans l'organigramme ci-dessous : [4]

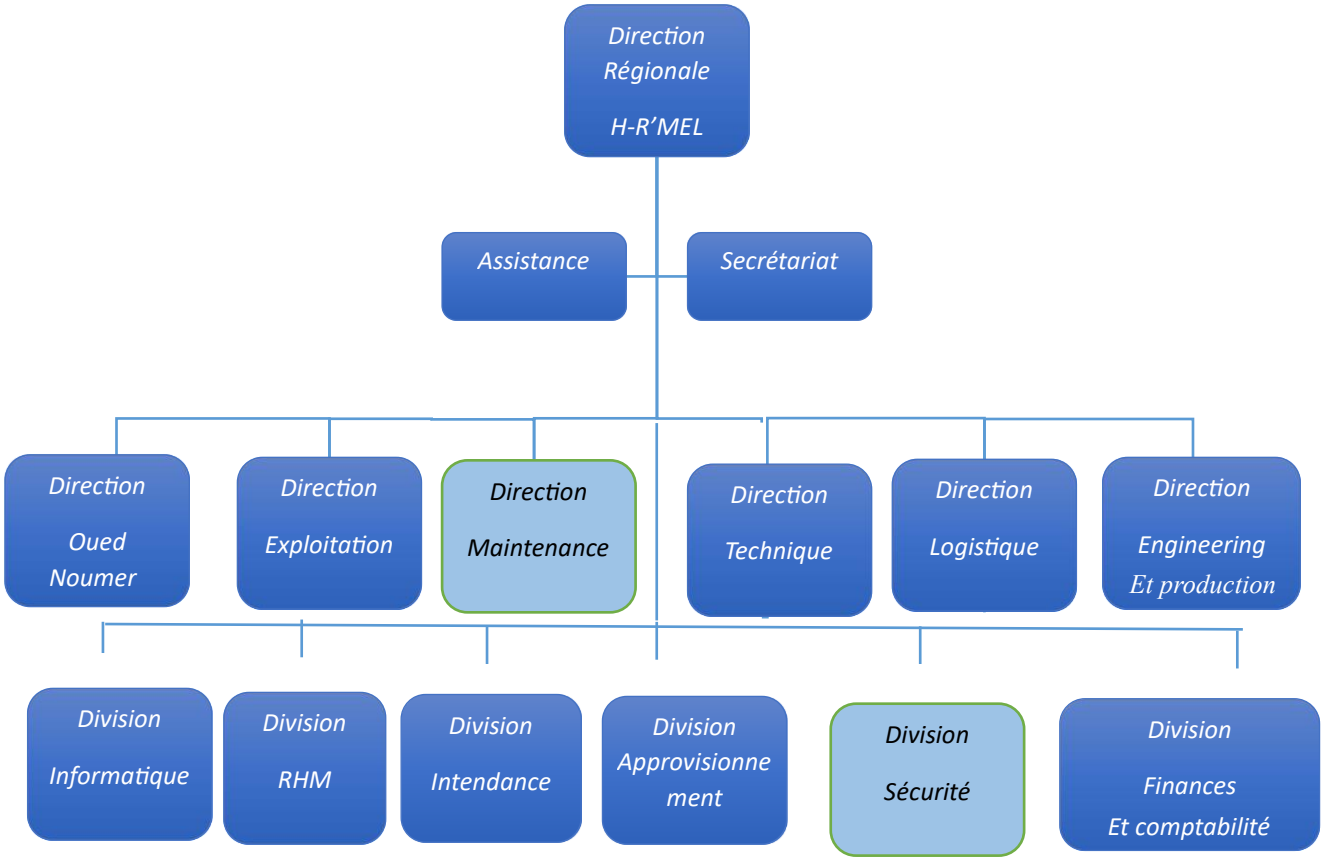


Figure I. 04 : Organigramme de la direction régionale

I.5.1. Direction maintenance :

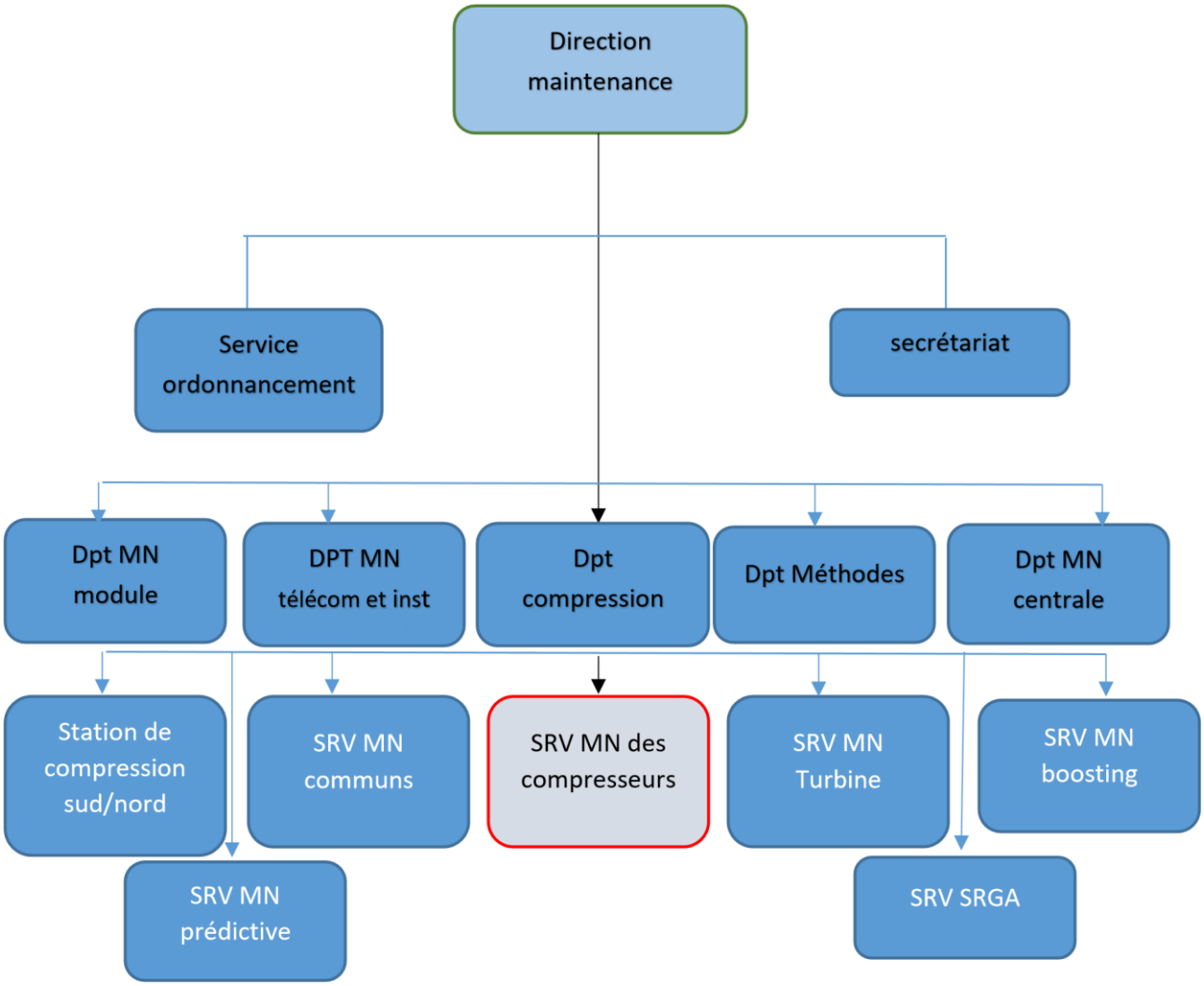


Figure I. 05 : Organigramme de la direction maintenance

I.5.2. Division HSE :

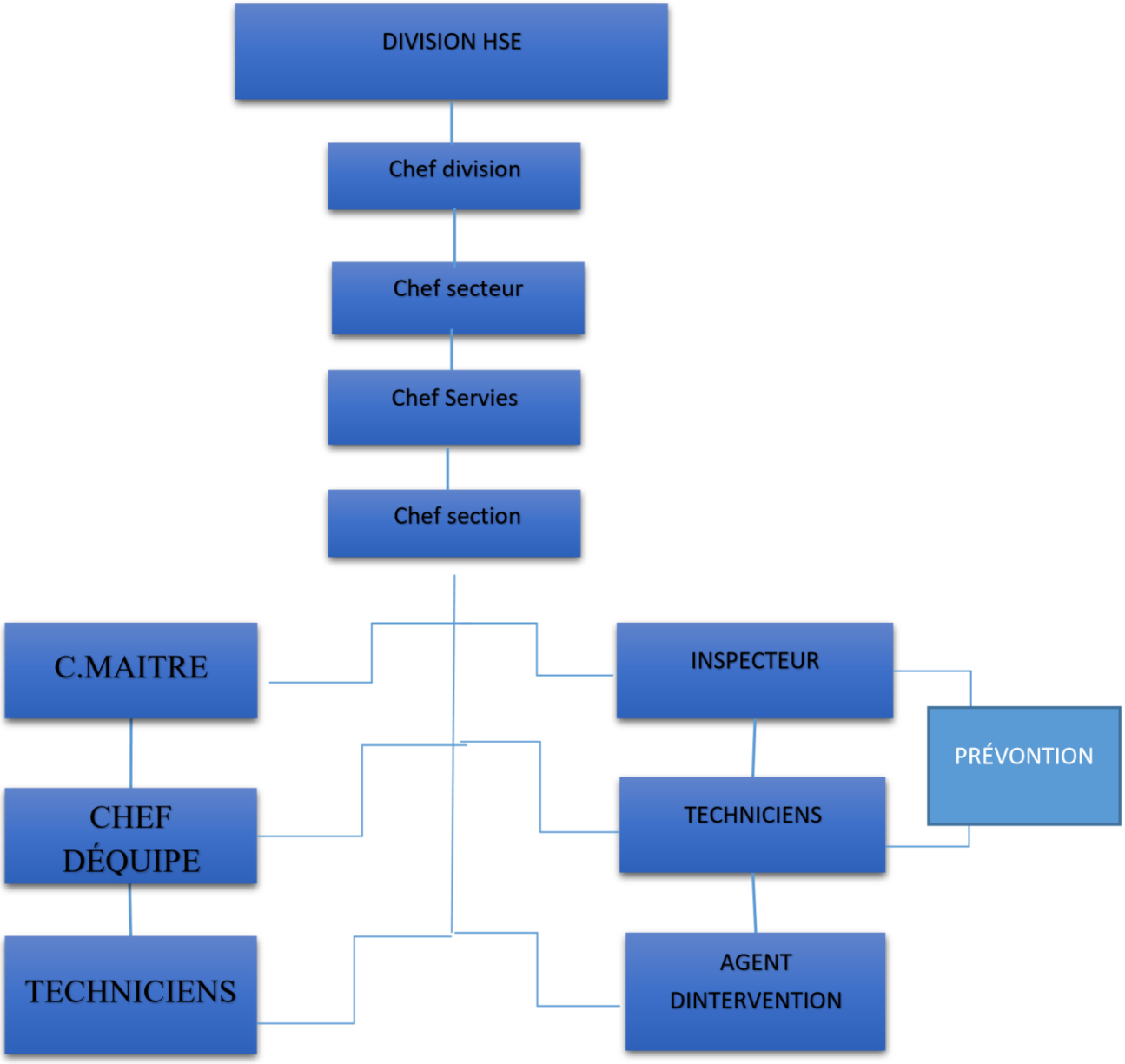


Figure I.06: Organigramme de la Division HSE

I.6. Station de Compression (réinjection) :

Les stations de compression ont pour but de réinjecter le gaz sec au niveau du gisement pour le maintien de la pression afin de récupérer le maximum de liquides (GPL et condensat). Les stations de compression Nord et Sud ont pour objet de réguler la pression des gaz au niveau national et pour le marché international.

La capacité de réinjection de chaque unité est de 90 millions standard de m^3/jour.

L'ensemble des projets en cours à l'échelle de Hassi R'Mel permettront de maintenir le niveau actuelle de performance, tout en réalisant la modernisation des installations, l'actualisation des systèmes de sécurité et l'introduction d'outils modernes de conduites des unités (DCS).

Les niveaux de production atteints et les réalisations sur le terrain sont le reflet du degré de maîtrise professionnelle dont jouit le collectif de Hassi R'Mel.

Pour augmenter les capacités de transfert des gazoducs GR1 et GR2, la TRC a lancé le projet de construction de quatre stations de compression qui sont localisées dans les points suivants :

- Rhourd-Nouss ;
- Zina ; ➢ Ouargla ;
- Hassi R'Mel.

Avec la mise en service de ces quatre stations, la capacité des gazoducs GR1 et GR2 passera à 27 milliards de m^3/an. [5]



Figure I.07 : Les composantes principales de la station

I.6.1. Les composantes principales de la station :

-Un pré séparateur.

-Un groupe de 04 séparateurs (parallèle) pour le gaz procès.

-Neuf turbocompresseurs premiers étage (BP).

-Neuf turbocompresseurs deuxièmes étage (HP).

-Quatre salles des machines.

-Deux postes de fuel gaz pour l'alimentation des turbines.

-Deux générateurs de gaz inerte pour les travaux de soudures et la purge.

-Quatre groupes d'apéro réfrigérateurs pour le refroidissement du gaz et de l'huile.

-Un turbogénérateur.

-Un système de distribution de l'énergie électrique.

-Une unité de transfère d'épuration de l'huile.

-Une unité de production d'air comprimé pour instruments et de service.

-Un groupe de traitement d'eau.

-Une unité de refroidissement d'eau.

-Une unité de production de gaz inerte.

-Un système anti- incendie à eau.

- Un système anti- incendie par des agents chimiques.

- Un système de torche.

-Bâtiment de salle de contrôle.

La station est alimentée en énergie électrique par deux lignes à partir de la Sonal gaz de 30 KW chacune qui arrivent à la sous- station électrique (SSE) ou sont abaissées à 5.5 KV à l'aide de deux transformateurs de 8 MVA chacune.

La sous-station alimente 5 cabines de transformation appelées power center dotées de transformation appelées power center dotées de transformateur de 1600 KW (poste 20-30-50) et 1000 KVa poste (01) qui abaissent la tension à 380V pour alimenter les différents récepteurs.

En cas de panne sur le réseau du sonal gaz la station est munie d'un turbogénérateur électrique (TGE) de puissance 3440 KVa qui peut alimenter les récepteurs prioritaires de la station et éviter ainsi son arrêt. [5]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné le champ de Hassi R'mel, mettant en lumière le rôle crucial de la Station de Compression station nord. Son objectif principal est d'atténuer la baisse constante de pression dans le gisement due à son vieillissement. En outre, elle joue un rôle essentiel dans la récupération du GPL et des condensats, qui représentent les principaux axes du plan directeur de développement de la production de gaz sur le champ de Hassi R'mel.

Chapitre II

Généralités sur les compresseurs centrifuges

Introduction :

Les compresseurs sont des équipements fondamentaux qui transforment l'énergie mécanique fournie par une source motrice en énergie de pression, réalisant ainsi une augmentation de la pression d'un fluide à l'état gazeux.

Le compresseur BCL 405/C de la station de réinjection nord à Hassi R'mel est un modèle centrifuge haute pression doté de cinq étages (cinq roues). Il est équipé d'aubes directrices fixes et conçu pour supporter une pression de service maximale de 205 bar.

II.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 réinjection ou autres). [7]

II.2. Classification des compresseurs :

Les compresseurs peuvent être classées selon plusieurs caractéristiques selon:

- le principe de fonctionnement (volumétrique, turbocompresseur)
- le mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif) la nature des fluides

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 et dans la deuxième, on augmente la pression en convertissant de façon continue l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression dû à l'écoulement dans l'étage de compression (roue + diffuseur). [8]

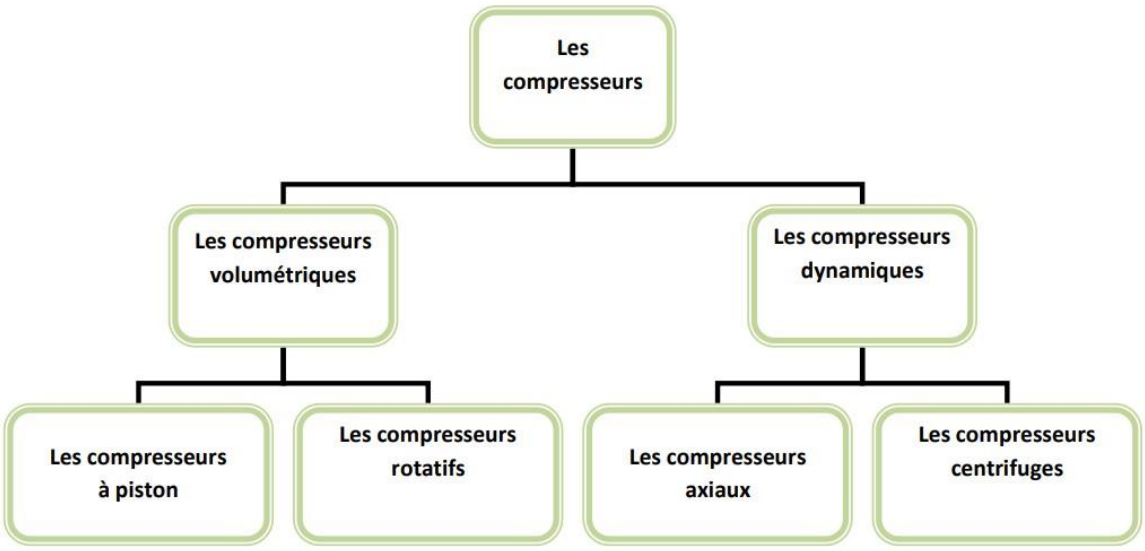


Figure II.1 : les types des compresseurs

II.3. Comparaison entre les différents types des compresseurs :

Tableau- II -01-Comparaison entre les différents types des compresseurs [8]

Type de compresseur	Compresseurs volumétriques		Compresseurs dynamiques	
	Alternatifs	Rotatifs	Centrifuges	Axiaux
Avantages	Bien adaptés aux petits débits Peuvent véhiculer du gaz à toutes les pressions Relativement souple à exploiter	Peuvent véhiculer du gaz dans une large plage de débit Débit régulier Fiabilité satisfaisante Débit plus régulier que les compresseurs alternatifs	Bien adaptés aux moyens et grands débits de gaz Relativement souple à exploiter Excellente fiabilité	Très bon rendement Bien adaptés aux très grands débits et aux pressions modérées Excellente fiabilité
Inconvénients	Débit pulsé Fiabilité moyenne au niveau des soupapes Avoir une machine en secours	Pas appliqué aux hautes pressions (maxi 50 Bars)	Pas adapté aux faibles débits Pompage à faible débit rend l'exploitation délicate Prix élevé	Rotors de grande taille, délicats à construire et coûteux

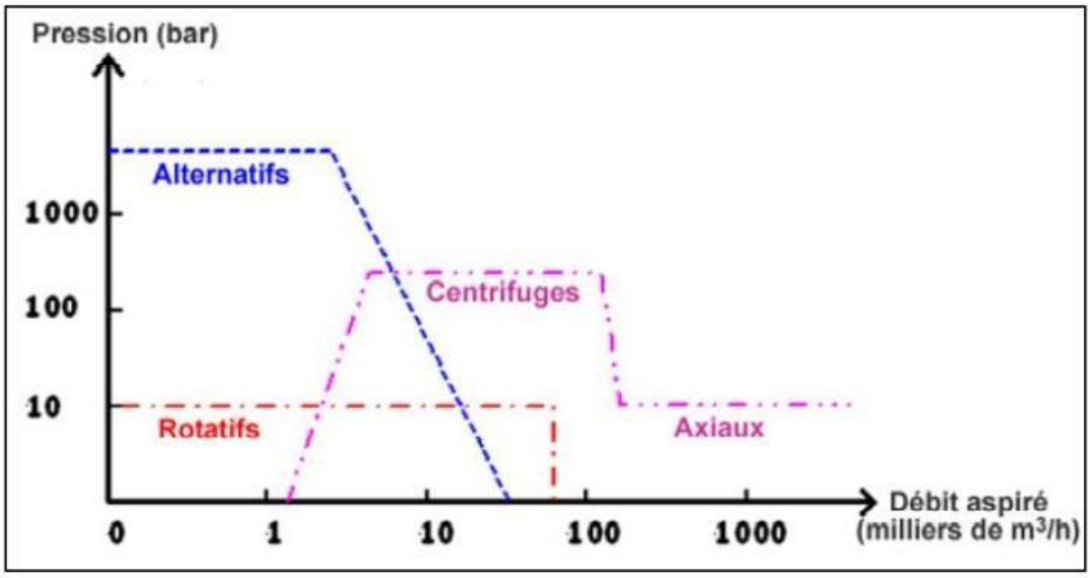


Figure II.2: Plage d'utilisation des différents types de compresseurs

II.4. Compresseurs centrifuges :

Les compresseurs centrifuges ce sont des machines réceptrices utilisés pour élever la pression d'un fluide compressible qui le traverse.

Selon le type du compresseur La pression peut atteindre des valeurs de l'ordre de 700 bars.

II.4.1. Eléments constructif des compresseurs centrifuges :

Les compresseurs centrifuges sont constituent de deux parties :

A. <u>Partie stator :</u>

1. **Le Corps de compresseur :** est en forme de barillet, ouverte par l'aspiration finale et fermé par une bride de tête.
2. **L'ensemble de diaphragmes :** Comprend le composant statorique et des étages de compression.
3. **Les étanchéités à labyrinthe :** sont installées dans les diaphragmes "labyrinthe inter étages" pour minimiser les fuites de gaz provenant des zones de refoulement et d'aspiration des roues ou impulseurs, il existe d'autre labyrinthes "d'extrémité et de piston d'équilibrage" installées entre les ensembles statorique et rotorique du compresseur , Ce sont eux qui contribuent à l'étanchéité externe.

4. **Les bagues d'étanchéités :** L'huile d'étanchéité passe entre deux bagues. La bague interne "HP" assure le barrage d'huile pour éviter les fuites de gaz son jeu est très serré. La bague "BP" contrôle le débit d'huile d'étanchéité son jeu est plus important.
5. **Paliers porteurs :** sont du type à patin oscillants et à lubrification forcée, l'huile de graissage passe à travers des orifices pour lubrifies les patins.
6. **Palier de butée :** il a comme fonction d'absorber environ de 20 % de la poussée agissante sur le rotor .

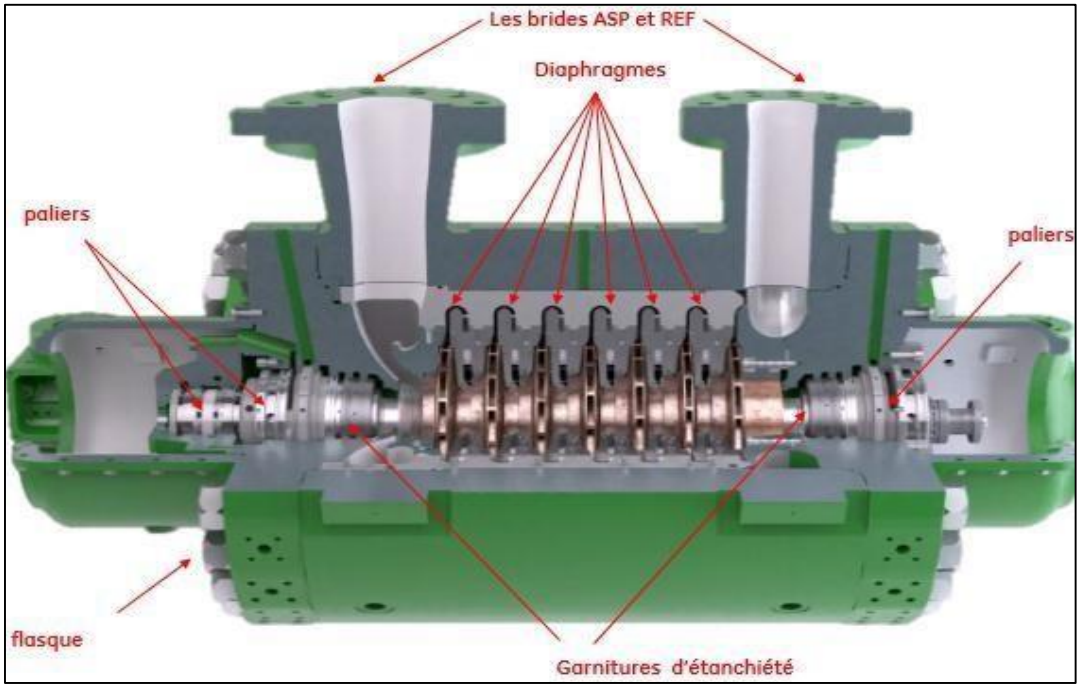


Figure II3 : Partie stator

B. La partie rotative:

1. **Rotor** : se compose d'un arbre, impulseurs et bagues d'écartement, il est soumis à une poussée axiale dirigée du côté aspiration, la poussée est équilibrée par le tambour d'équilibrage
2. **Collet du palier de butée:** Le collet est construit en acier au carbone type C40, normalement il est monté hydrauliquement par ajustement forcé

3. **Tambour d'équilibrage :** est un disque gabarié monté sur l'extrémité de l'arbre adjacent à la dernière roue, sa pression égale à la pression d'aspiration.
4. **Manchon d'accouplement :** c'est la pièce de liaison entre le compresseur et la turbine "ou le multiplicateur" leur montage effectué à pression.

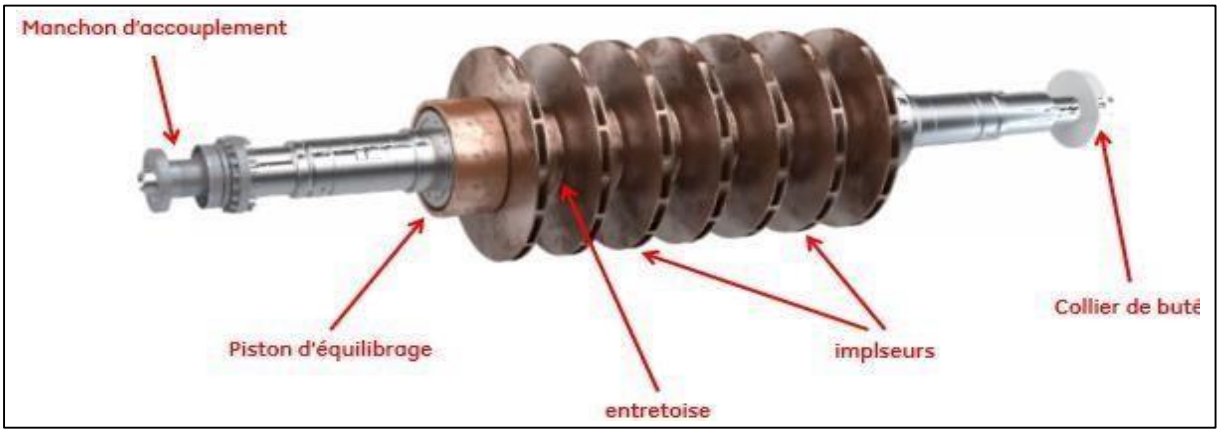


Figure. II.4: Partie rotative

II.4.Principe de fonctionnement :

Le gaz est aspiré par le compresseur à travers la bride d'aspiration, il entre dans une chambre annulaire appelé volutes d'aspiration et converge uniformément vers le centre de toutes les directions radiales

Dans la chambre annulaire du coté opposée par rapport à la bride d'aspiration, il existe une ailette pour éviter la formation de tourbillons du gaz.

Le gaz entre dans le diaphragme d'aspiration et donc aspiré par la première roue; La roue pousse le gaz vers la périphérie en augmentant sa vitesse et sa pression ; la vitesse à la sortie aura une composante radiale et une composante tangentielle.

Ensuite, d'un mouvement en spirale, le gaz parcours une chambre circulaire formée d'un diffuseur où la vitesse diminue avec une augmentation de la pression.

Puis le gaz parcourt le canal de retour ; celui-ci est une chambre circulaire délimitée par deux anneaux formant le diaphragme intermédiaire où se trouvent les aubes qui ont à tâche de diriger le gaz vers l'aspiration de la roue suivante .

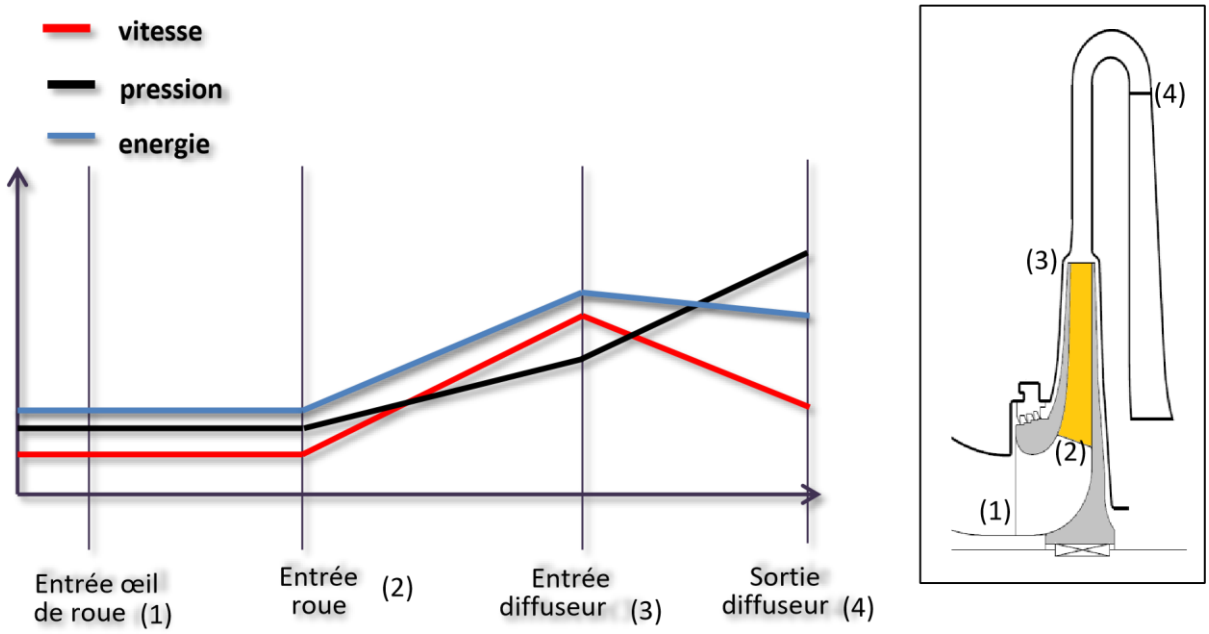


Figure. II.5 : Évolution de la pression et de la vitesse du gaz

La disposition des aubes de diffuseurs permet de redresser le mouvement en spirale du gaz de manière à obtenir une sortie radiale et une entrée axiale vers la roue suivante. Ensuite le gaz est aspiré par la deuxième roue et, pour chaque roue, le même parcours se répète.

La dernière roue de l'étage envoie le gaz dans un diffuseur qui mène à une chambre annulaire appelée volute de refoulement qui collecte le gaz de la périphérie des diffuseurs et le dirigeant vers la bride de refoulement, près de cette dernière il y a une autre ailette qui empêche le gaz de continuer à retourner dans la volute et qu'il envoie à la bride de refoulement. [4]

II.4.3. Nomenclature des compresseurs centrifuges : [8]

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
2 – 3	M	C	L	45	7	A (200 bar-a)
D	B	C	L	30	6	B (350 bar-a)
	P	C	L	100	2	C (500 bar-a)
	S	R	L	60	3	D (700 bar-a)
						E (>700 bar-a)

A – le symbol "2" ou "3" : nombre des aspirations - "D" double aspiration avec les memes conditions
B - type de corps M = middle split B = barrel P = pipeline S = single volute
C – type de l'impulseur C = closed R = open (twisted blade)
D – type de diaphragme L = free vortex
E – diamètre nominal des impulseurs (cm)
F – nombre des impulseurs
G – pression de test (pour les BCL seulement)

Figure. II.6 : Nomenclature des compresseurs centrifuges

II.5. Présentation du Compresseur BCL 405/C :

Le compresseur sis à Hassi R'mel," station réinjection " du constructeur NUOVO PIGNONE, du type BCL 405/C.

Les deux étages de compression du gaz sont réalisés avec deux compresseurs centrifuges BCL 405/a et BCL 405/c du type Barrel pour haute pression. La puissance absorbée par chaque ligne est de 33000 cv .

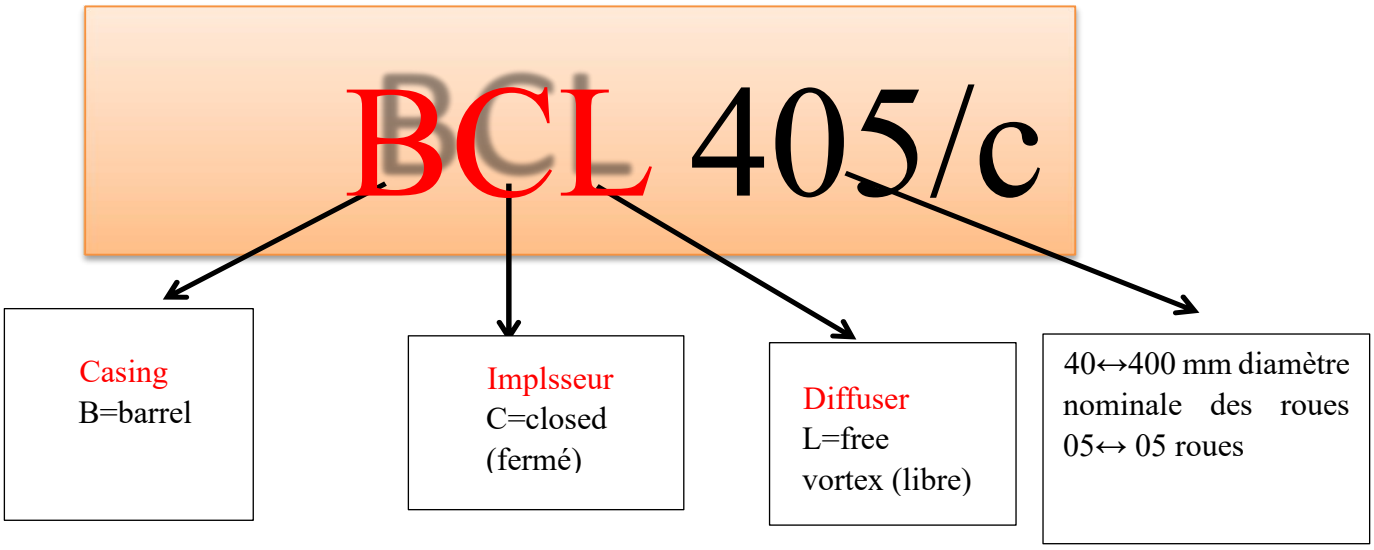
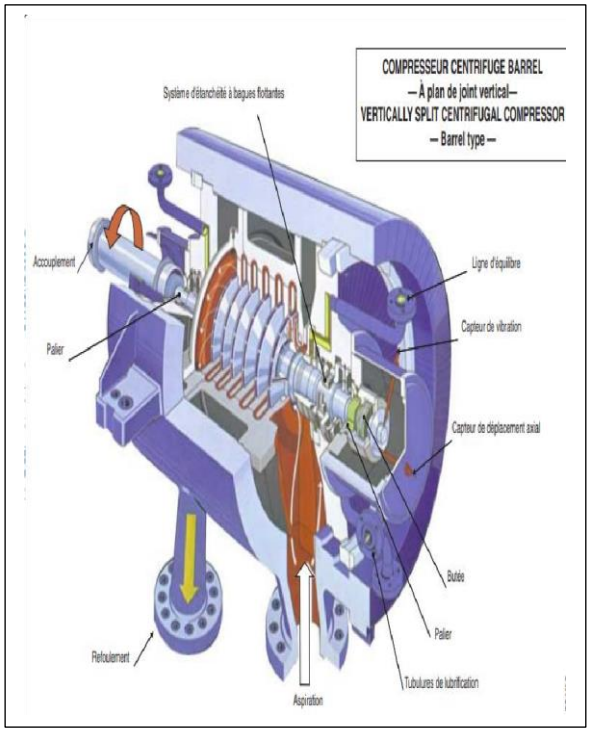


Figure. II.7 : Codification du compresseur BCL 405/C



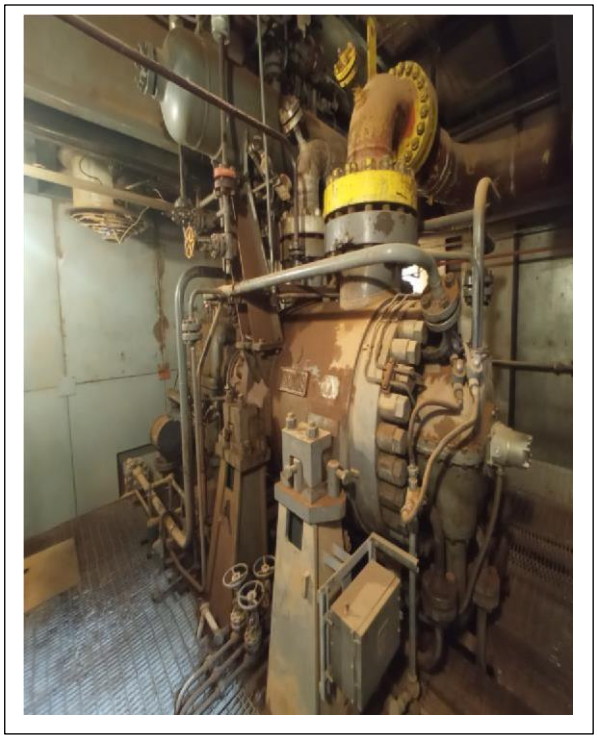


Figure. II.8 : Compresseur centrifuge BCL 405/C

Un compresseur centrifuge est une machine dynamique à écoulement continu de fluide. Des roues solidaires à l'arbre fournissent de l'énergie à ce dernier. Une partie de cette énergie est transformée en augmentation de pression directement dans les roues, le reste dans le stator, c'est-à-dire dans les diffuseurs.

Le compresseur centrifuge BCL 405/c comprend principalement un ensemble statorique (corps, diaphragmes, étanchéités, et paliers) et un ensemble rotatif (rotor constitués par un arbre, des roues, un tambour d'équilibrage et un disque de butée) qui assure leur fonctionnement. [5]

a. Corps :

Est une enveloppe dans laquelle se renferme l'ensemble du compresseur ou un grand cylindre qui contient deux brides pour l'aspiration et le refoulement du gaz, il est fermé à ses extrémités par deux grands flasques.

b. Diaphragme :

Les diaphragmes constituent le profilage aérodynamique de la partie fixe du compresseur, ils sont divisés en trois types :

1. **Diaphragme d'aspiration** :

A la tâche d'acheminer le gaz à l'entrée de la première roue.

2. **Diaphragmes intermédiaires :**

Ils ont une double tache, former le diffuseur où la transformation de l'énergie cinétique en celle de pression, le canal de retour pour diriger le gaz vers l'entrée de la roue suivante.

3. **Diaphragme de refoulement :**

Forme le diffuseur de la dernière roue et la volute de refoulement.

Chaque diaphragme contient des anneaux en labyrinthe qui servent d'étanchéité sur le contre-disque de la roue.

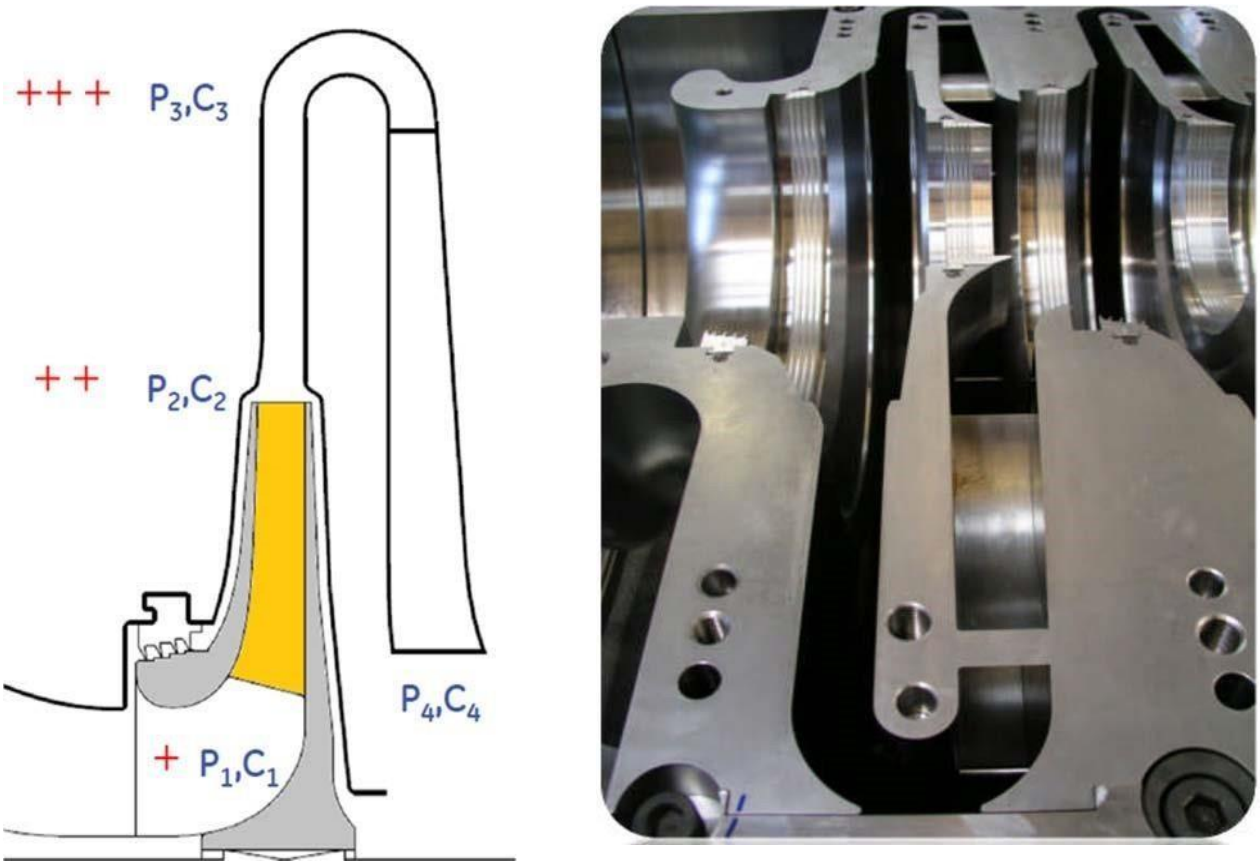


Figure. II.9: Ensemble aérodynamique d'un compresseur centrifuge.

II.5.1. Ensemble rotor du BCL 405/C :

La partie rotorique du compresseur est composée de l'arbre sur lequel est monté, le piston d'équilibrage, les cinq roues à aubes, le collet de buté, et le moyeu d'accouplement [5].

a. Arbre :

Il est constitué d'une partie centrale à diamètre constant où sont montées les roues et les chemises. Il est en acier à des propriétés mécaniques meilleures.

b. Roues :

Les roues sont frettées sur l'arbre avec un serrage de tolérance négative 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.

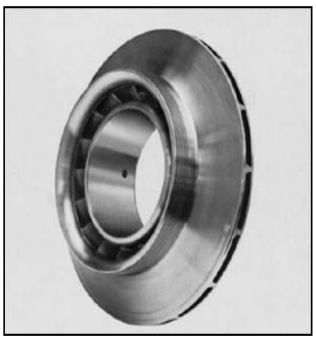


Figure. II.10 : Roues fermée à contre disque

c. Piston d'équilibrage :

Il est monté après la dernière roue, sur une clavette de calage comme les roues, il est en acier X12C13. Il a pour but de diminuer la poussée axiale due à la différence de pression agissant sur les roues, dirigée vers l'aspiration.

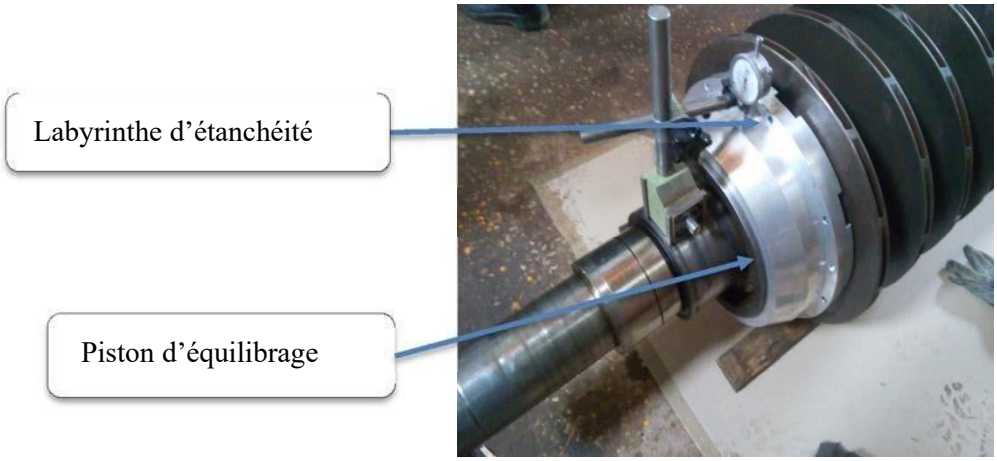


Figure. II.11: Piston d'équilibrage

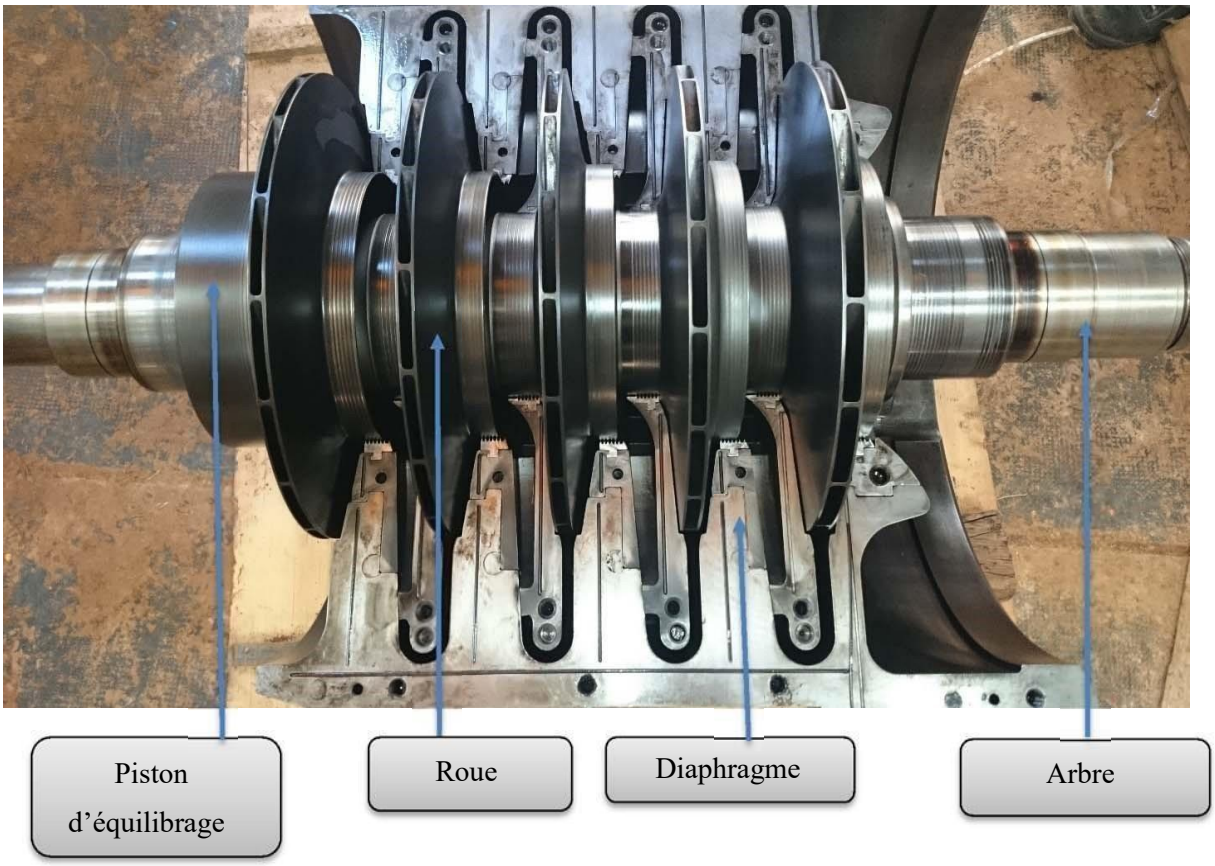


Figure. II.12: Ensemble rotor stator

d. 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.



Figure. II.13: Palier porteur

e. Paliers de butée :

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 buté est capable 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.



Figure. II.14 : Palier de butée

f. Disque de butée :

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.

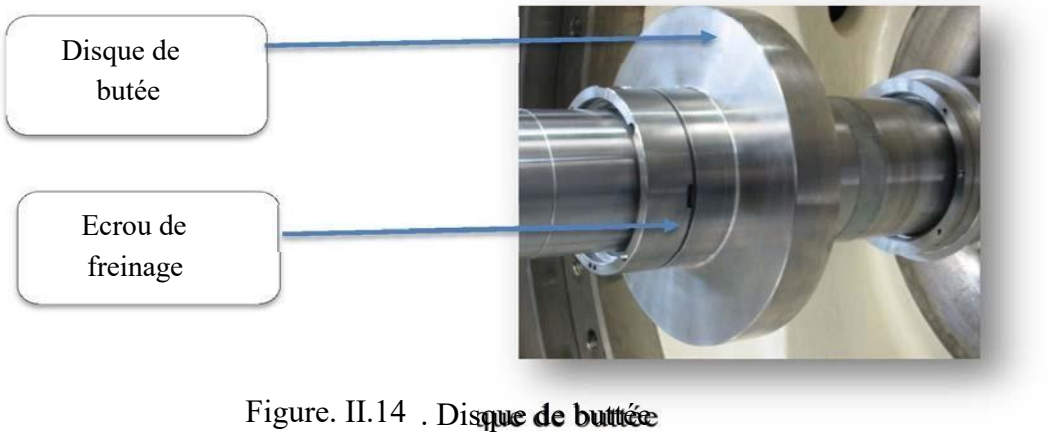


Figure. II.14 . Disque de butée

II.5.2. Système d'étanchéité du BCL 405/C :

II.5.2.1. Etanchéités à labyrinthe (internes) :

Les étanchéités internes installées entre les ensembles statorique et rotorique 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. [5]

II.5.2.2. Étanchéité à film d'huile (externe) :

Les garnitures d'étanchéités à l'huile sont constituées de plusieurs anneaux flottants (une bague de haute pression HP et trois bagues de basse pression BP) revêtus à l'intérieur de métal antifriction. Cette dernière est montée librement sur l'arbre, avec un jeu radial bien déterminé.

L'huile d'étanchéité, à une pression légèrement supérieure à celle du gaz, arrive dans l'espace annulaire laissé par le jeu entre les bagues et l'arbre.

L'huile qui est échappée du côté basse pression revient dans le réservoir et ensuite réintroduite dans le système ; l'huile sortie du côté haute pression est purgée par des purgeurs automatiques.

Les étanchéités à labyrinthe installées à l'intérieur par rapport aux étanchéités à huile, sont en alliage léger comme celles montées sur les diaphragmes. Des chambres intermédiaires sont aménagées entre les labyrinthes de façon à équilibrer la pression du gaz.

Les labyrinthes sont conçus de façon à ce que l'huile sortant de la bague intérieure (anneau de haute pression) ne puisse s'infiltrer à l'intérieur du compresseur .

La chaleur qui est produite au niveau des anneaux d'étanchéité est évacuée par l'huile elle-même qui sort de l'anneau extérieure car le débit de cette huile est très supérieur au débit de l'huile qui sort par l'anneau intérieur. Cela est dû à la différence des jeux. [5]

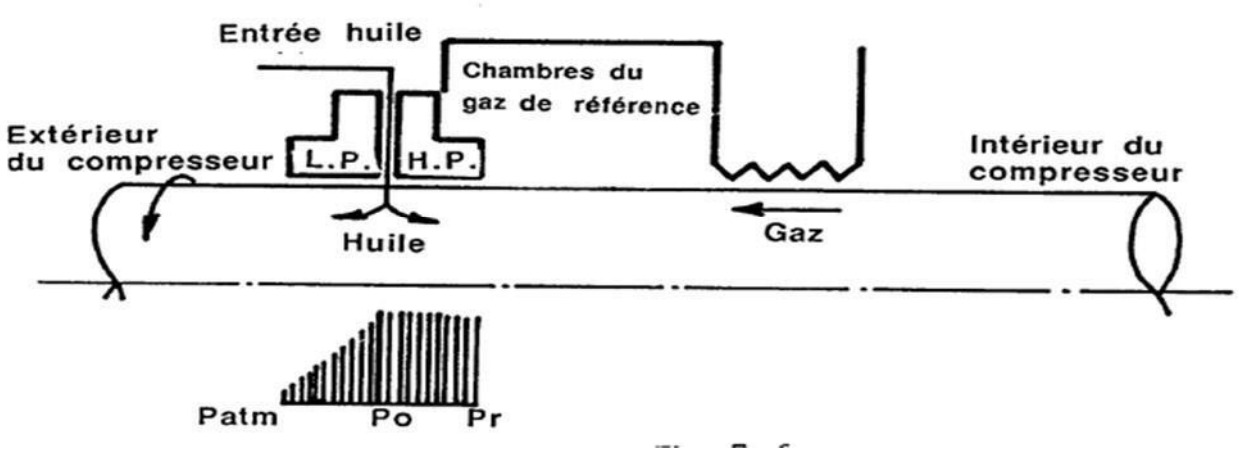


Figure. II.16: Système d'étanchéité

II.5.2.3. Circuit d'huile de graissage :

L'huile de graissage sert à créer la portance grâce à la formation d'un film d'huile entre la surface de l'arbre et du palier, et à refroidir le palier en question pour le maintenir à température optimale ; pendant la marche, en effet, il y'a dissipation de puissance dans le palier, et donc, apparition de chaleur.

L'huile à envoyer dans le circuit de graissage et/ou d'étanchéité doit être refroidit de façon à maintenir une bonne viscosité ; voilà pourquoi un système de refroidissement est prévu.

La viscosité de l'huile est un paramètre très important qui, avec les caractéristiques géométriques des supports, joue un rôle important sur le comportement dynamique de l'arbre et donc sur les vibrations ; l'effet atténuateur du lubrifiant peut être suffisamment important pour permettre le fonctionnement même à des vitesses proches des vitesses critiques.

Une basse viscosité due aux hautes températures dans les paliers, et le film d'huile peut se cassé et faire travailler en contacte les surfaces de l'arbre et du palier et de fusionner le métal blanc enrobant les paliers.

Il est important de répéter que le débit d'huile doit être suffisant pour évacuer la chaleur produite par le travail des paliers. C'est la raison pour laquelle on surveille constamment la température du palier ; cette température se règle en variant la pression d'huile à l'entrée grâce à la vanne PCV. On autre, on devra garder sous surveillance également la température de l'huile à l'échappement de manière à évaluer le bon échange de chaleur entre le palier et l'huile.

Le schéma général de principe d'un circuit d'huile de graissage est représenté dans la figure suivante. [5]

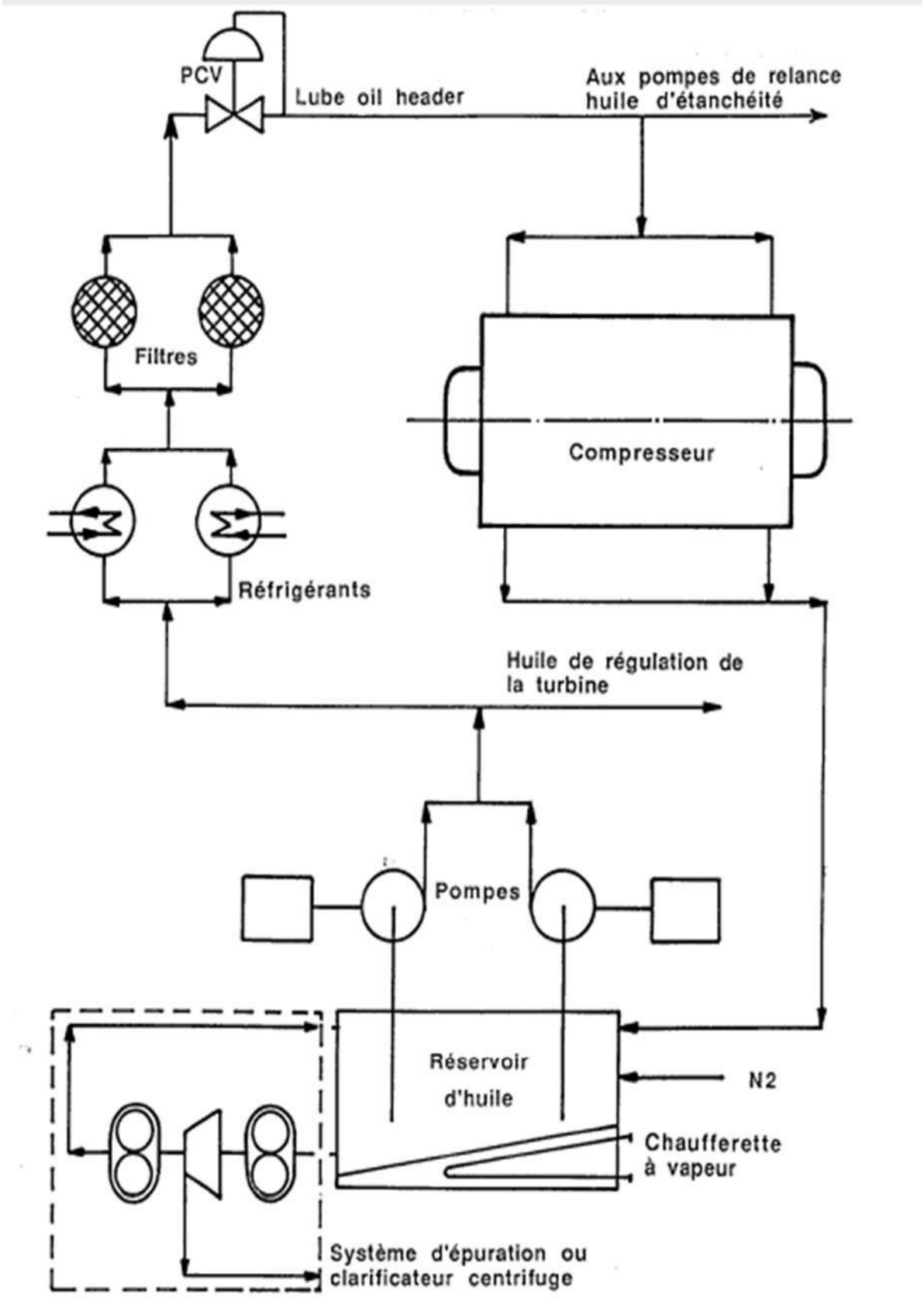


Figure. II.17: Circuit d'huile de graissage

II.5.2.4. Principales parties qui le composent Réservoir :

Le réservoir est toujours équipé d'une chaufferette électrique pour donner la viscosité souhaitée à l'huile pendant le démarrage. La contenance du réservoir est telle qu'elle assure une bonne rétention time (alimentation des pompes à huile même sans le retour de celle-ci au réservoir à cause de fuites dans le circuit). [5]

a. Pompes :

L'huile est soutirée et envoyée dans le circuit grâce à une série de pompes volumétriques.

On prévoit toujours deux pompes ; une pompe principale et une pompe auxiliaire, celle-ci est entrainée par un moteur électrique avec ligne d'alimentation préférentielle.

L'huile est envoyée pour la régulation de la turbine ne passe pas à travers le réfrigérant car une haute viscosité n'est pas requise pour sa fonction.

b. Réfrigérant :

L'huile doit être refroidie de manière à conserver une bonne viscosité, il est prévu un système de refroidissement constitué par deux échangeurs en parallèle à eau ou à l'air, ils travaillent alternativement grâce à des robinet à trois voies.

Les contrôles de la température de l'huile est assuré en réglant le débit du fluide réfrigérant.

c. Filtres :

Pour disposer d'une excellente lubrification des paliers et des dispositifs d'étanchéité, mais aussi pour éviter l'usure, il faut maintenir en circulation de l'huile propre, c'est la raison pour laquelle deux filtres en parallèle fonctionnant alternativement.

Le filtre constitue un élément critique du circuit, il doit donc être surveillé par un manomètre différentiel.

Lorsque les pertes de charges deviennent trop élevées du fait de son encrassement, on remplace les éléments-filtres, car une telle situation en favorise la rupture.

Dans les vannes à trois voies, en présence de filtres doubles et de réfrigérants doubles il faut faire en sorte que l'inversion de flux ait lieu avec une manœuvre continue, en évitant de s'arrêter dans une position intermédiaire de fermeture, ceci entrainerait l'augmentation de la pression en

amont (avec, par conséquent, l'ouverture des soupapes de sûreté) et un sectionnement temporaire du flux (et l'arrêt d'urgence pour pression minimale).

d. Vanne de réglage (PCV) :

La vanne autorégulatrice de pression (PCV) se trouve après les filtres, elle sert à maintenir constante la pression de l'huile aux paliers. Chaque ligne d'amenée d'huile aux paliers est équipée d'un orifice réglable et d'une prise pour manomètre afin de permettre la lecture de la pression de chaque palier.

Apres avoir travaillé, l'huile doit pouvoir s'évacuer aisément sans formation de mousse et de vapeur qui rendraient le graissage difficile. L'huile est donc évacuée par gravité jusqu'au réservoir à des tuyauteries à pente appropriée, l'entrée de ce réservoir est éloignée de l'aspiration des pompes.

e. Liaison de gaz sur le compresseur BCL :

Pour faciliter la compréhension du circuit et des organes nécessaires à l'étanchéité, voyons tout d'abord comment est obtenu le barrage au gaz aux extrémités de l'arbre du compresseur. Le piston d'équilibrage qu'est le sujet d'un coté à la pression de refoulement de la dernière roue, est soumis de l'autre coté à la pression d'aspiration du compresseur par un raccord extérieur (ligne de balancement figure (x) ci-dessous). On a aussi obtenu aux deux extrémités du rotor un premier équilibrage grossier des pressions du gaz. Pour obtenir des niveaux de pression encore plus proches entre eux et avoir ainsi les mêmes conditions de marches pour

Les étanchéités huile d'extrémité, on installe un raccord extérieur ultérieur entre les chambres d'équilibrage (ligne d'équilibrage figure (x)ci-dessous)

A l'extérieur des labyrinthes d'extrémités il y a les chambres des références du gaz de référence reliées entre elles pour avoir la même pression qui est utilisées comme référence pour le système d'étanchéité huile

Dans des cas particuliers, quand il est nécessaire de maintenir l'huile d'étanchéité et le gaz de procédé, on injecte du gaz inerte dans la chambre d'équilibrage système ''gaz tampon ''à une pression telle à le faire fuir aussi bien vers l'intérieur de la machine que vers l'extérieur.

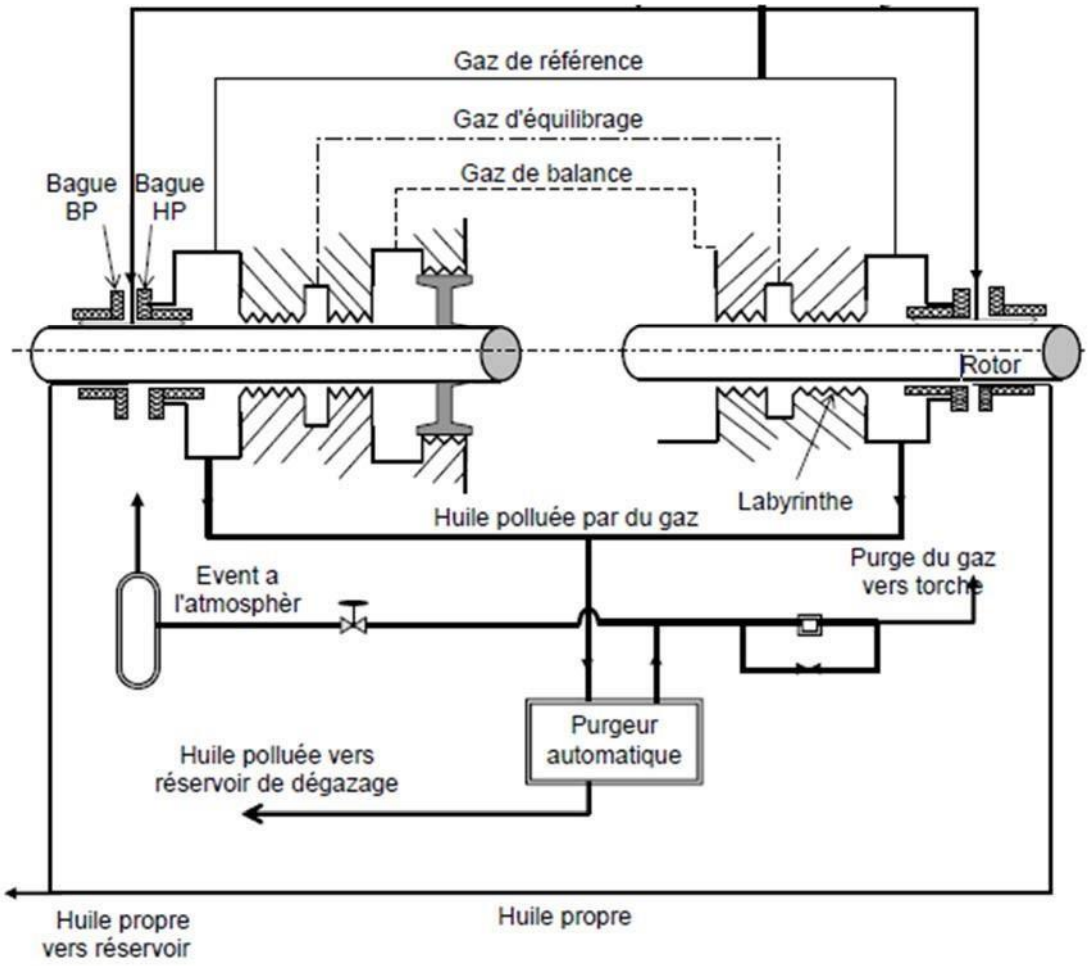


Figure. II.18 : Liaisons des gaz du compresseur BCL

II.5.2.5. Qualité d'huile de graissage et d'étanchéité :

La fonction d'un lubrifiant est de favoriser le mouvement ou le glissement entre deux surfaces flottantes. D'une manière générale, les lubrifiants :

- réduisent les frottements et l'usure ;

- participent à l'étanchéité ;

- évitent le grippage ;

- participent au refroidissement ;

- évacuent les impuretés (poussières, débris d'usure...) ;
- protègent contre la corrosion ;

- peuvent avoir une fonction nettoyante (détergente) ;

Chacune de ces fonctions peut être plus ou moins développée selon l'application.

Deux paramètres important conditionnent la lubrification et l'étanchéité correcte des machines tournantes : l'état du lubrifiant et l'état des surfaces à lubrifiées.

Les analyses d'échantillons du fluide permettent de déterminer d'une part les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant et d'autre part d'identifier une usure des éléments mécanique.

Deux facteurs prépondérants s'interviennent pour modifier les caractéristiques d'un lubrifiant 'dégradation' et 'contamination'.

Outre la viscosité adaptée l'huile doit encore répondre à des exigences non moins impératives. [5]

a. La résistance à l'oxydation

C'est en premier lieu, la résistance à l'oxydation sous l'effet combiné de la chaleur, de l'air des catalyseurs tel que les métaux (fer, plomb, cuivre) leurs oxydes surtout à l'état divisé ou sédimenté.

Les produits d'oxydation évoluent de façon plus ou moins complexe en passant par des hydro peroxydes, des peroxydes instables responsables de l'oxydation en chaine, des aldéhydes cétones, phénols pour aboutir à des acides dont la volatilité est l'agressivité à l'égard des métaux décroit quand le poids moléculaire augmente, ces réactions sont fortement catalysées par le cuivre, le plomb et le fer.

Parallèlement une polymérisation et des combinaisons des produits issus telles réactions tendent vers l'insolubilité des produits finaux à l'état de sédiment.

b. Résistance à la corrosion :

L'altération progressive de l'huile, soit par agent extérieur, soit par oxydation, se manifeste, entre autres par l'apparition de composés corrosifs ou à fonction acide qui attaque les alliages à base de plomb de cadmium et de cuivre.

Ces métaux des catalyseurs à l'état d'oxydes qui accélèrent l'oxydation de l'huile au même titre que les températures élevées.

c. Résistance à la fatigue :

Les fluctuations de charge liées à la flexibilité relative des organes important des déformations périodiques à l'alliage qui avec se manifestent par l'apparition de crevasses dans lesquelles le lubrifiant s'immobilise en ne laissant ilot d'alliage d'autre possibilités d'évacuation de la chaleur que par leur soudure au support c'est-à-dire au contacte même à la fusion des alliages.

d. Résistance mécanique à l'écrasement :

Cette résistance décroit quand la température s'élève, principalement dans le cas des alliages antifriction.

e. Inscrutabilité :

Les impuretés solides entrainées accidentellement par l'huile sans contre dit, les agents destructeurs par excellence des organes, devant l'impossibilité matérielle d'écarter de telles impuretés, même par des constructions les plus soignées, un bon alliage doit pouvoir tolérer, dans des limites raisonnables, l'incrustation de telle particule grâce à sa plasticité.

f. Viscosité :

La viscosité des huiles conditionne au premier chef deux résultats d'importance capitale :

- le rendement mécanique le plus élevé qui à assigner un maximum de la viscosité.
- la sécurité qui est liée à l'épaisseur minima des films d'huile et par conséquence à la viscosité.

II.6. Caractéristiques de fonctionnement du compresseur BCL 405/C :

Tableau- II -02-Caractéristiques du compresseur BCL 405 /C [5]

Gaz comprimé		**Gaz naturel**
Débit	m^3/h	**363.912**
Condition du gaz à l'aspiration		
Poids moléculaire		**18.84 +20**
Rapport K (cp / cv)		**/**
Compressibilité		**/**
Pression bar		**68.5 +78.5**
Température °c		**45 +58**
Condition du gaz de refoulement		
Température en aval de réfrigérant °C		**60**
Pression bar		**364.5**
Puissance absorbée sur l'arbre cv		**33550**
Vitesse de rotation TPM		**10323**
Sens de rotation (vue coté turbine)		**Dans le sens des aiguilles d'une montre**

Conclusion :

Les compresseurs centrifuges représentent des dispositifs de grande puissance largement employés dans le transport de gaz par canalisation. Leur popularité découle de leurs puissances unitaires élevées, de leur adaptabilité aisée à différents régimes de fonctionnement, ainsi que de leur

conception modulaire permettant des intervalles de fonctionnement prolongés entre les opérations de maintenance.

Chapitre III

Maintenance Appliquée sur compresseur BCL405/C

Introduction :

Dans ce chapitre, nous plongeons dans l'univers de la maintenance appliquée sur le compresseur BCL405/C. La maintenance industrielle est un élément essentiel pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des équipements. Dans le domaine de la compression, où la fiabilité et l'efficacité sont primordiales, la maintenance revêt une importance particulière. Le compresseur BCL405/C, avec ses spécifications uniques et ses exigences de performance élevées, nécessite une approche spécifique pour son entretien [11].

Nous explorerons dans ce chapitre les différents aspects de la maintenance appliquée sur ce compresseur, en mettant l'accent sur les meilleures pratiques, les stratégies d'entretien préventif et curatif, ainsi que les défis spécifiques rencontrés dans le maintien de la performance optimale de ce système. En comprenant les principes fondamentaux de la maintenance et en les appliquant de manière ciblée au compresseur BCL405/C, nous visons à garantir sa disponibilité opérationnelle maximale, tout en minimisant les temps d'arrêt et en optimisant les coûts de maintenance [12].

III.1. Notions générales sur la maintenance :

III.1.1. Définition :

a. Notions sur la maintenance :

La maintenance est définie comme étant « selon AFNOR ‘’NFX60-010’’ » : " l’ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un dispositif, un équipement ou un système dans des états spécifies ou en mesure d’assurer un service bien déterminer ".

b. Le rôle de la maintenance :

Est la maîtrise de la disponibilité opérationnelle de équipements a fin qui ils soient unis à la disposition de la production par ces action, la maintenance ammeistre le profit cumule durant la vie des équipements par :

-La réduction des coûts de maintenance.

-L’accroissement de la durée rentable de vie des équipements.

-Réduction des accidents et des risques concernant la sécurité des hommes et de l’environnement.[12]

III.1.2 Les objectifs de la maintenance :

Le zéro panne c'est l'objectif principal de la maintenance.

L'objectif des équipes de maintenance est de maintenir les installations de production en parfait état et d'assurer le rendement global maximum tout en optimisant le coût. L'obtention du meilleur rendement passe par la prévention des pannes, le respect des cadences de production et l'amélioration continue de la qualité des produits. Maintenir, ce n'est plus subir les pannes mais maîtriser les défaillances par l'optimisation de la politique de maintenance, par une bonne prévention, par des réparations rapides et efficaces, enfin par l'amélioration du matériel.

Pour assurer correctement cette mission, il est nécessaire de se doter en plus de la compétence technique des hommes, d'une organisation efficace et d'outils adéquats. C'est la nature de l'entreprise qui fixe les l'objectifs, des services de la maintenance.

On peut classer les objectifs de la maintenance on deux catégories :

- Les objectifs financiers,
- Les objectifs opérationnels.

Le fait que ces deux objectifs sont différents expliquera pourquoi la production et la maintenance sont souvent à couteau tirés et pourquoi les deux attitudes sont apparemment opposées.[11]

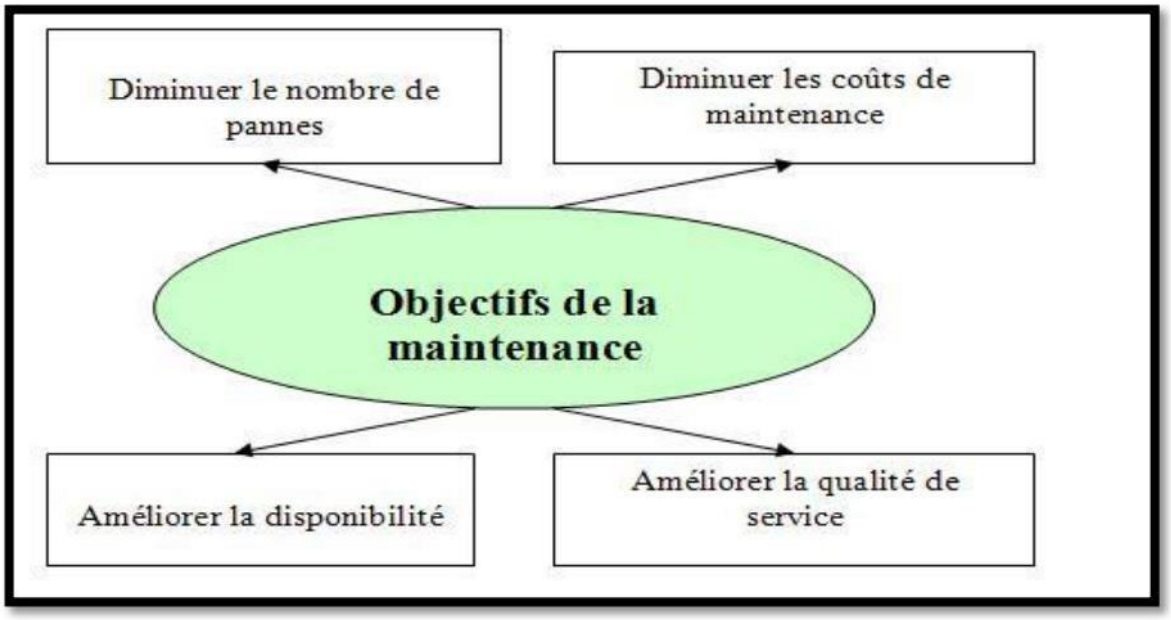


Figure III.1: Les objectifs de la maintenance

a. Objectifs financiers :

- Réduire au minimum les dépenses de la maintenance.
- Augmenter au maximum les profits.
- Avoir des dépenses de maintenance en fonction de l'âge des installations et de son taux d'utilisation.

b. Objectifs opérationnels :

- Maintenir les équipements.
- Assurer la disponibilité maximale des installations et des équipements.
- Fournir un service qui élimine la panne a tous les moments à tout prix.
- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation.
- Assurer une performance (rendement) de haute qualité.
- Les objectifs peuvent changer avec le temps, une révision des objectifs et de la politique de l'entreprise doit avoir lieu tous les deux ans.[11]
-

III.1.3.Niveaux de la maintenance :

Les niveaux de maintenance sont définis en fonction de la complexité des travaux. La norme NF X 60-010 de l'AFNOR définit cinq niveaux de maintenance dont on précise le service :

1er Niveau :

Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock des pièces nécessaire et très faible.

2ème Niveau :

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance. On peut se procurer les pièces de rechange transportable nécessaire sans délais et à proximité immédiate du bien de l'exploitation.

3ème Niveau :

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place, ou dans le local de maintenance à l'aide de l'outillage prévu par les instruction de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des

équipements. En utilisant l'ensemble de documentation nécessaire à la maintenance des pièces approvisionné dans le magasin.

4ème Niveau :

Ce type d'intervention peut être effectués par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, nettoyage) et éventuellement de banc de mesures et des étalant de travail nécessaire à l'aide de toute documentation générale ou particulier.

5ème Niveau :

Par définition ce type d'opération de (rénovation reconstruction…) est effectué par le constructeur ou par un service on société spécialisée avec d'équipement de soutiens défini par le constructeur et donc proche de la fabrication des biens concernés. [4] [15]

III.2. Types de la maintenance :

Ce schéma résume les différents types de la maintenance. [4]

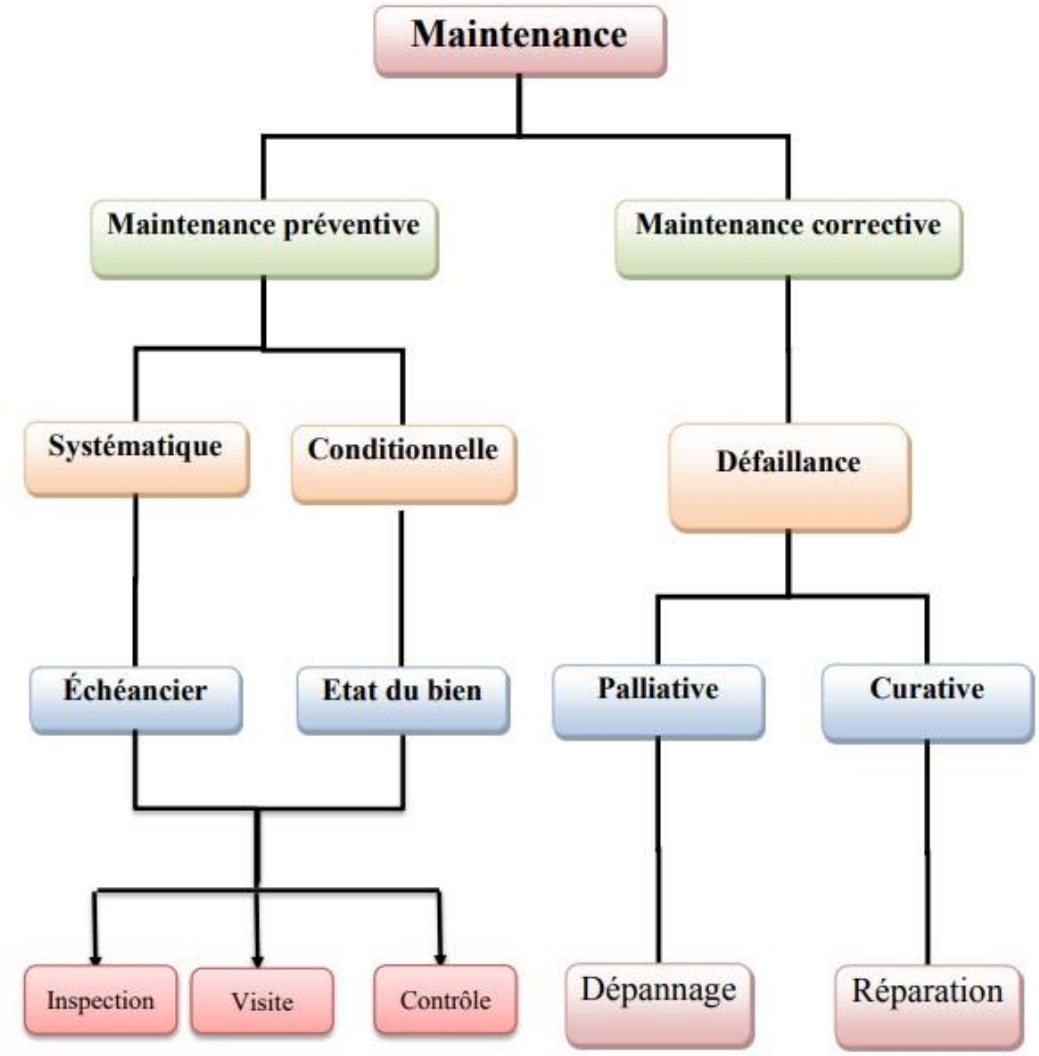


Figure III.2: Différents types de maintenance.

III.2.1. Maintenance préventive :

Définition selon AFNOR (norme x 60010) :

Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. [16]

III.2.1.1. Objectifs visés par le préventif :

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service : réduction des coûts de la défaillance, amélioration de la disponibilité.

- Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement.

- Améliorer l'ordonnance des travaux, donc les résultats avec la production.

- Réduire et régulariser la charge de travail.

- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues).[11]

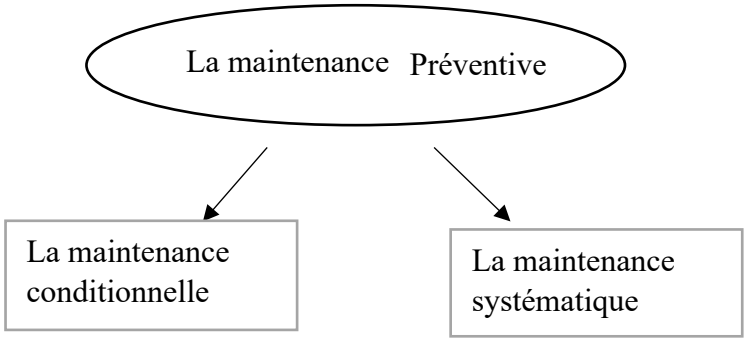


Figure III.3 : Les types de La maintenance préventive

III.2.1.2. Maintenance préventive systématique :

La maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, etc.

Cette périodicité l 'un inconvénient principal à futilisation est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

Cette méthode nécessite de connaître :

• Le comportement du matériel.

• Les modes de dégradation.

• Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

B) Cas d'application :

• Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.

• Equipements dont la pane risque de provoquer des accidents graves : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avions, trains, etc.

- Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).

- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques), etc. [13]

III.2.1.3. Maintenance préventive conditionnelle :

Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.).

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé).

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs. Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile
- Les températures et les pressions

-La tension et l'intensité des matériels électriques. -Les vibrations et les jeux mécaniques et Etc.
Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.[13]

III.2.2. Maintenance corrective :

Selon AFNOR (norme x60010) « Opération de maintenance effectuée après défaillance » La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation. Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraîne une indisponibilité immédiate ou

à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité et/ou qualité des services rendus.

La maintenance corrective peut être sud divisée en deux typés de maintenance :

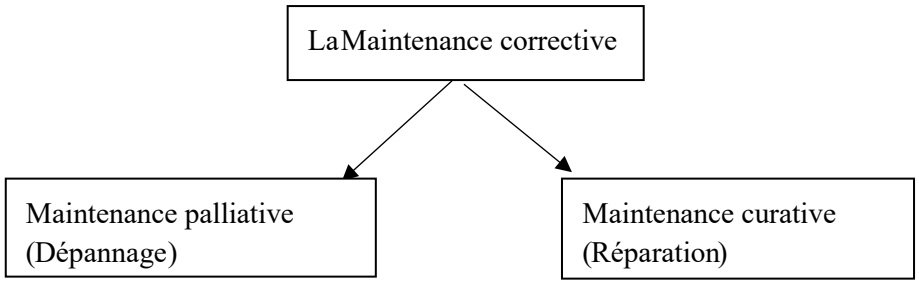


Figure III.4 : Types de la maintenance corrective

-Maintenance palliative (dépannage) : c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement effectuée in situ parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné, ont un caractère (provisoire).

-Maintenance curative (réparation) : faites in situ ou en atelier central, parfois après dépannage, ont un caractère (définitif).

La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (subir) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel.[11]

III.3.Les opérations de maintenance :

III.3.1.Les opérations de la maintenance préventive :

a. Inspection :

Ce sont des activités de surveillance constante à relève périodiquement des anomalies simple d'exécution et ne nécessitent pas d'outillages spécifiques ou l'arrêt des équipements.

b. visite :

Ce sont des opérations de surveillance de la maintenance préventive systématique.

c. Contrôle :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données près établies suivis d'un jugement le contrôle peu comporte une activité d'information ; inclure une décision acceptation, rejet.

d. Révisions :

C'est l'ensemble des actions d'examens de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure critique pendant un temps ou un nombre d'unité d'usage donné. [4]

III.3.2.Les opérations de maintenance corrective :

a. Le dépannage :

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires (maintenance palliative) avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps. Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance (pour en mesurer son efficacité) prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

b. La réparation :

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

Remarque : la réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu. Tous les équipements sont concernés.[14]

III.4. Les tempes de maintenance :

- **MTBF :**

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

- **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.

- **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.).[14]

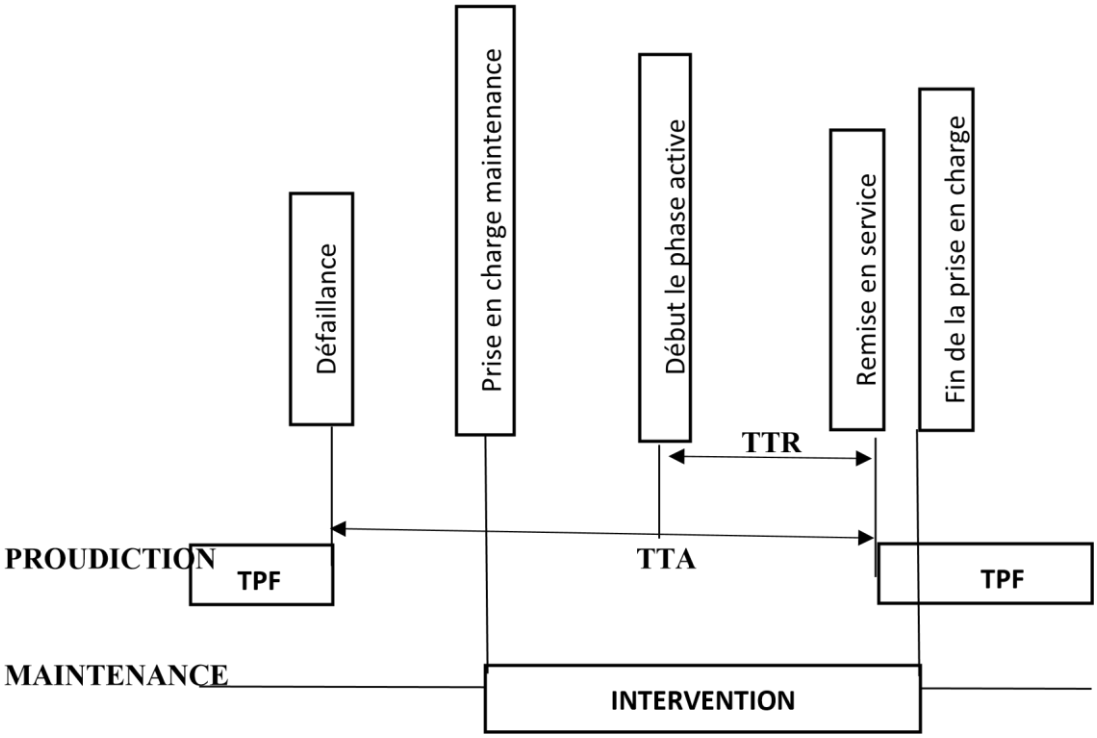


Figure III.5 : Temps caractéristiques lors d'une intervention.

III.5. Maintenance des compresseurs centrifuge BCL 405/C :

Pour assurer la continuité de production il faut assurer la disponibilité des compresseurs par une bonne gestion de maintenance.

Les compresseurs BCL 405 C sont conçue une politique de maintenance donné par le constructeur NEUVO PIGNONE

a. La maintenance préventive systématique est effectuée comme suit :

Révision N 1 : Démontage de tous les pièces mécaniques coté aspiration et coté refoulement sans démontage du flasque et du bundle généralement elle est effectuée après 8000 heures.

Révision N 2 : On laisse uniquement l'enveloppe 'casing', elle nécessite des outillages spécifiques et une main d'œuvre qualifié elle assure le démontage complet du compresseur et la vérification de toutes les mesures elle est effectuée après 16000 heures.

b. La maintenance corrective est réalisée après défaillance :

le niveau de l'intervention dépend essentiellement de la défaillance; exemple : consommation d'huile suite à une dégradation excessive des chemises « cote inférieur à 137.8 mm », nécessite une intervention sur le rotor, d'où le démontage de l'ensemble aérodynamique.

Causes intervention : Révision programmée Niveau I, transformée en Niveau II (à cause de détachement de bague de retenue de la zone d'étanchéité).

Début des travaux

- ✓ Préparation de matériels et outillages spécifiques nécessaire utilisés dans la révision, et choix d'un endroit près de la machine pour déposer le matériel ✓ Organisation du lieu de travail et partage des taches.
- ✓ Isoler la machine (arrêt total de la machine avec isolation électrique et mécanique).
- ✓ Signer l'autorisation du travail.

L'autorisation est signé par les services : sécurité, exploitation, maintenance mécanique et électrique. [20]

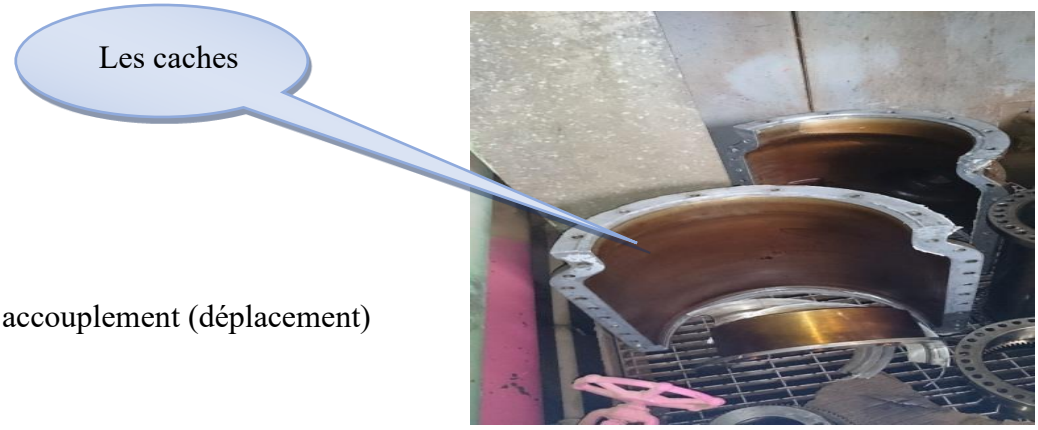
III.5.1. Phase démontage :

- ✓ Démontage packages.

a. Coté refoulement :

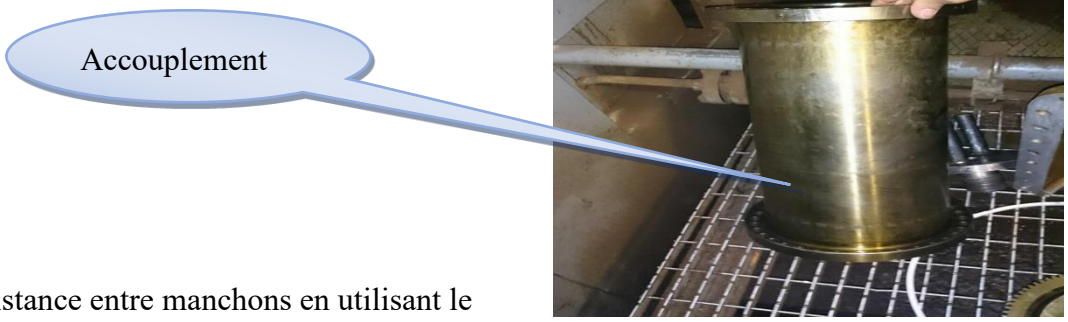
- ✓ Démonter les conduites de gaz de : (référence et équilibrage) ainsi les conduites d'huile de graissage.

- ✓ Démonter les caches : (refoulement et le cache d'accouplement).



✓ Relever jeu accouplement (déplacement)

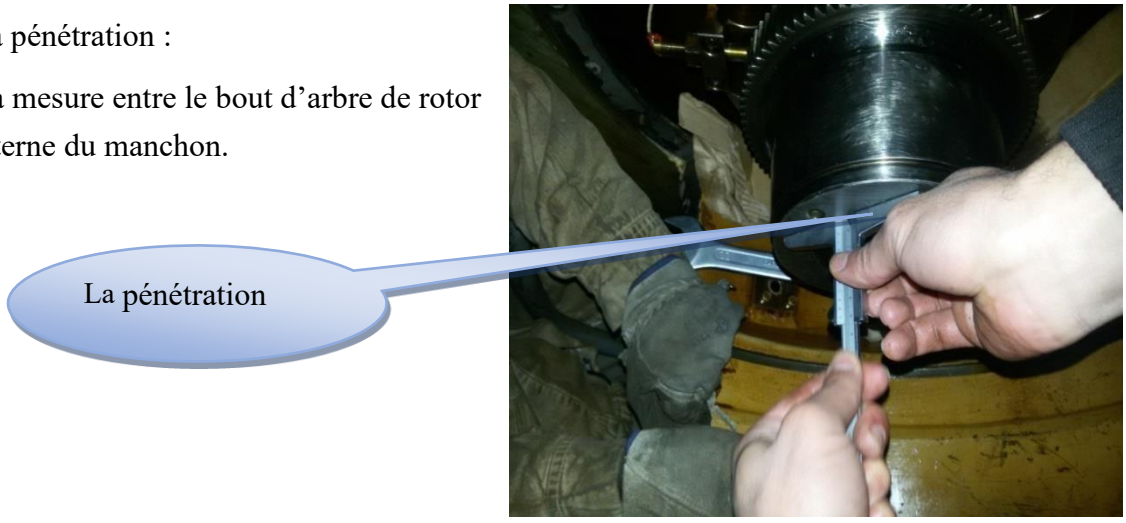
✓ Démonter l'accouplement (interface +les deux moyeux)



✓ Mesurer la distance entre manchons en utilisant le micromètre.

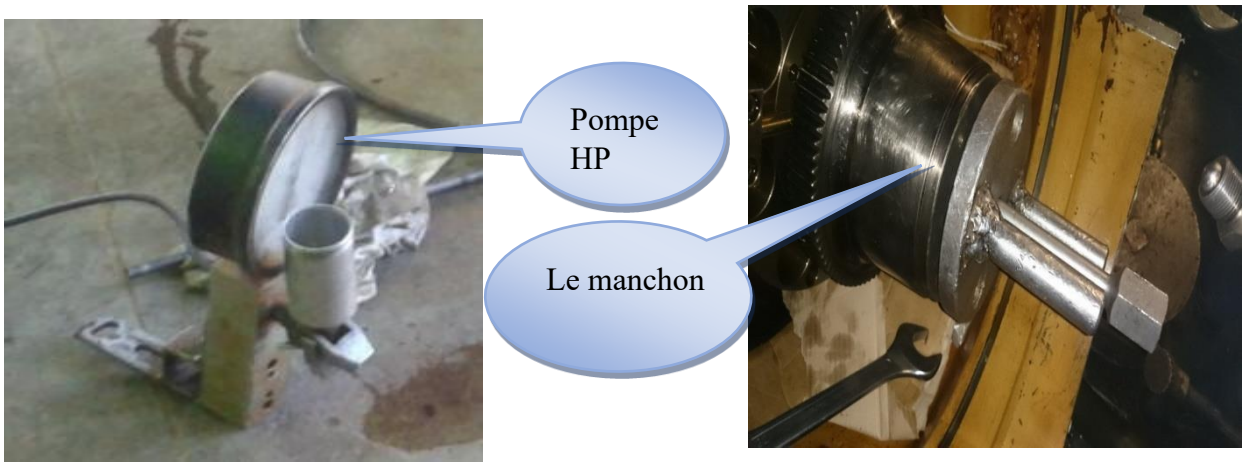
✓ Relever la pénétration :

C'est la mesure entre le bout d'arbre de rotor et le bout externe du manchon.



.

✓ Démontage le manchon à l'aide d'une pompe haute pression SKF



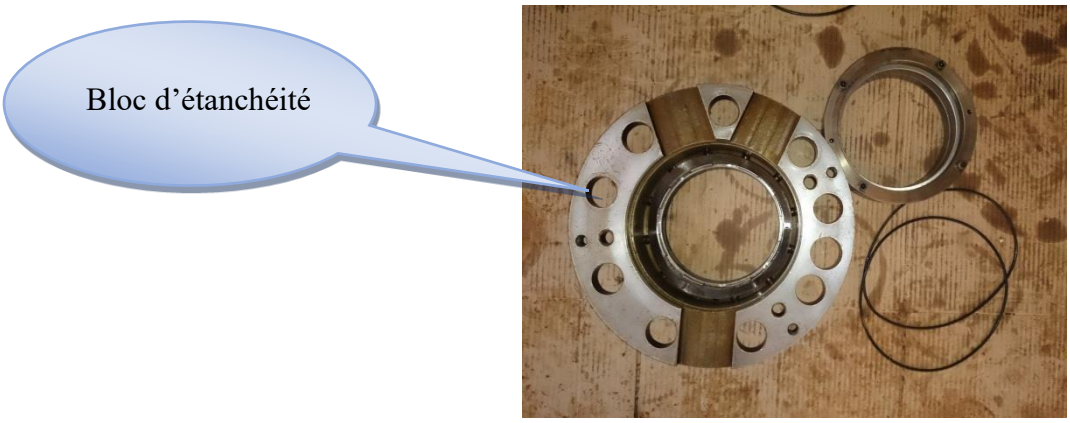
✓ Relever jeu radial à l'aide d'un comparateur (jeu de palier) C'est le jeu entre l'arbre et le palier porteur.

✓ Enlèvement les sondes de contrôle des vibrations VIAS

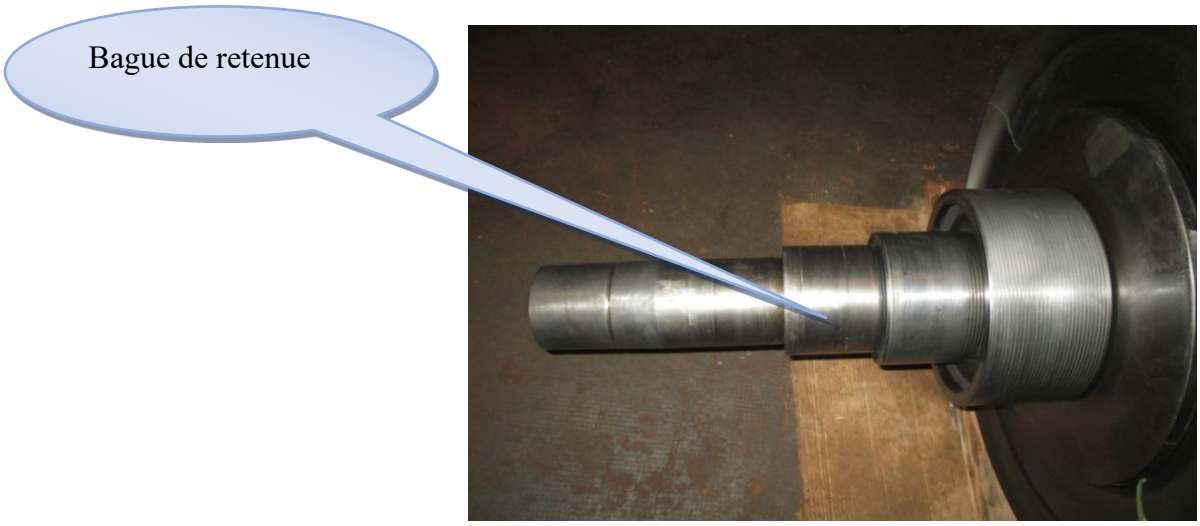
✓ Démontre le palier porteur

On desserrer les vis puis on extraire par des trois tiges d'extraction.

✓ Démontage de bloc d'étanchéité à l'aide des tiges d'extraction.

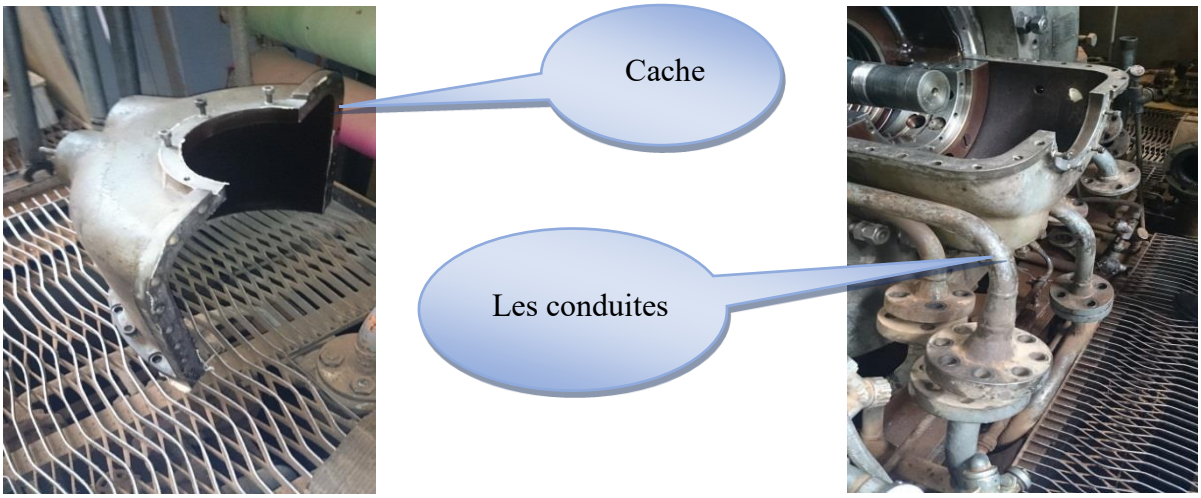


✓ On a constaté que bague de retenue du coté refoulement a été trouvé délogé, la révision programmée en niveau 1 transformer en niveau 2.



b. Coté aspiration :

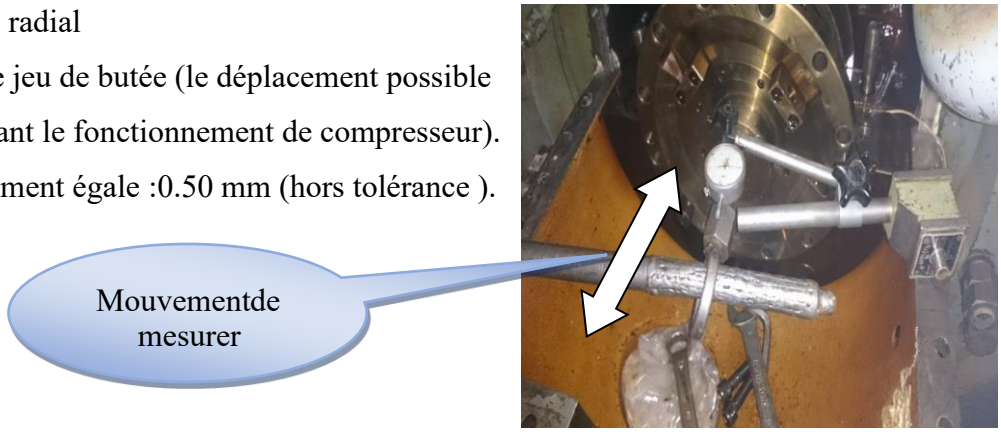
✓ Enlèvement de demi- cache et les conduites



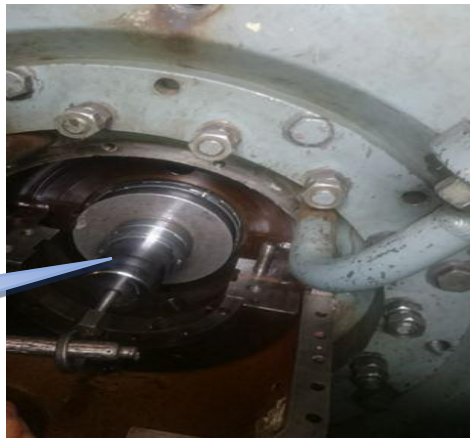
✓ Relever le jeu radial

✓ Et mesurer le jeu de butée (le déplacement possible du rotor pendant le fonctionnement de compresseur).

Jeu de fonctionnement égale :0.50 mm (hors tolérance).



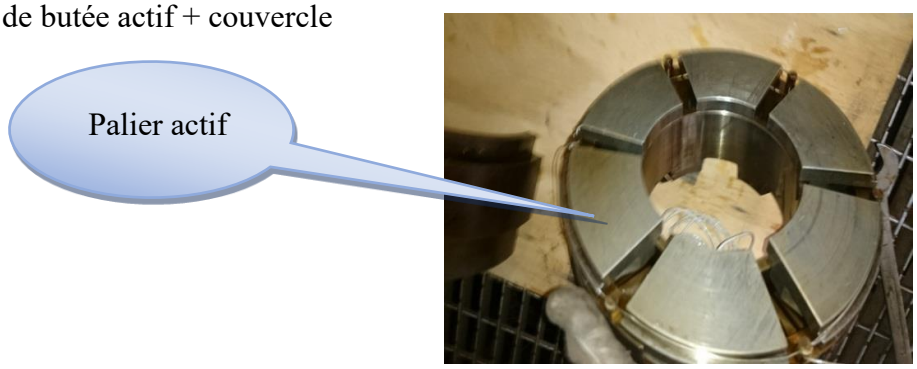
- ✓ Démonter les sondes de vibration VIAS
- ✓ Démontage du cach e palier porteur +demi -cales +



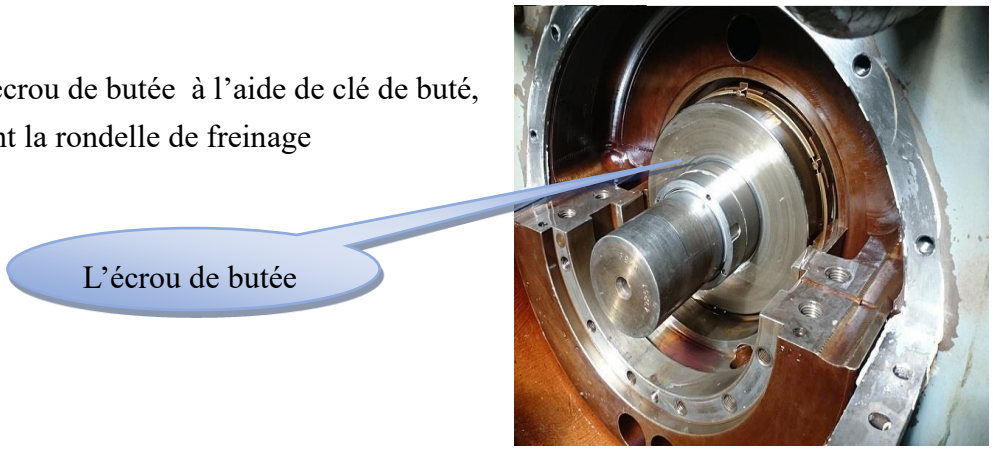
palier porteur.

- ✓ Mesurer le jeu aspiration.

- ✓ Démontage du palier de butée actif + couvercle



- ✓ desserrer l'écrou de butée à l'aide de clé de buté, et enlèvement la rondelle de freinage



- ✓ Démontage de disque de butée par l'injection d'huile, on utilise une pompe HP SKF.



- ✓ Démontage du palier de butée inactif + couvercle de palier.
- ✓ Enlèvement de la cale interne.





- ✓ Démontage du bloc d'étanchéité (porte bagues) à l'aide des trois tiges d'extraction.

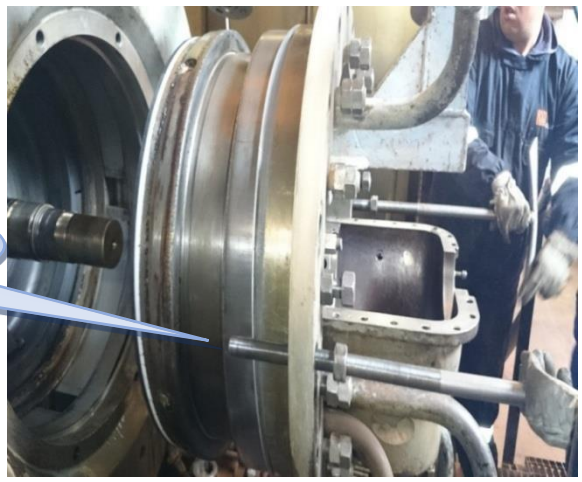


- ✓ Relever jeu total
- ✓ Démontage de flasque : pour libérer le flasque il faut sorte les quatre secteurs de la rainure (la gorge) du flasque, on serrant les écrous sur les tiges fixes les secteurs.



Pour libérer le flasque on doit desserrer les vis de la couronne.

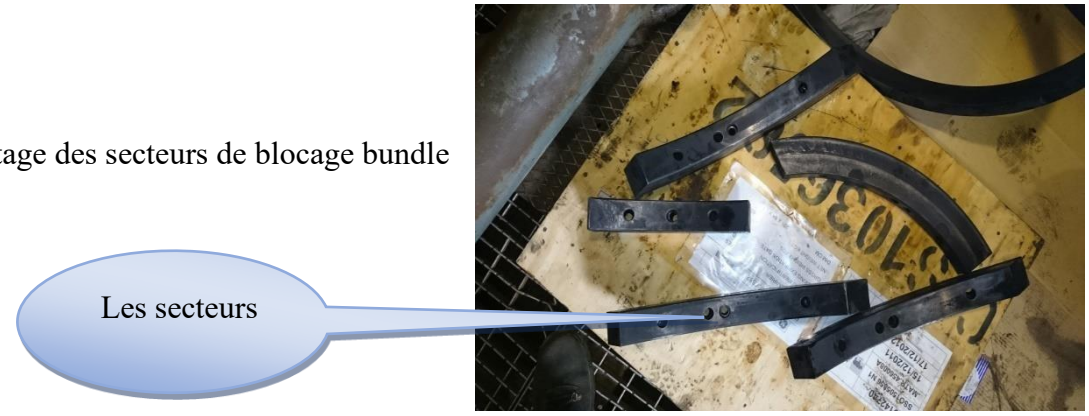
- ✓ Placer les tiges spécifiques pour extraire le flasque.



- ✓ Démontage de la couronne



✓Démontage des secteurs de blocage bundle



✓ Extraction du bundle à l'aide de dispositif spécifique (les tiges + triangle)



✓ Séparer les demi-caisses et enlever les diaphragmes.





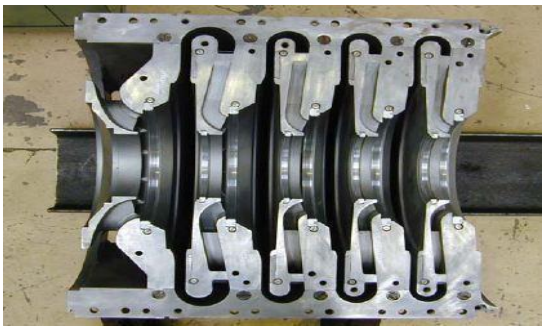
✓ Démonter labyrinthe d'extrémité coté aspiration on desserrant les vis de fixation.



✓ Démonter labyrinthe du piston d'équilibrage on desserrant les vis de fixation.



III.5.2. Phase inspection et contrôle :



- ✓ Nettoyage la caisse de compresseur.
- ✓ Inspection visuelle de l'état de surface du patin et taquet.
- ✓ Vérifier visuellement l'état de rotor (chemises, roue, zone palier, entretoise…)

- ✓ mesurer les cottes du rotor (chemises, zone paliers, les roues, les entretoises).





✓ Nettoyage du flasque.



- ✓ Nettoyer et vérifier l'état de surface des labyrinthes inter-étage et les labyrinthes d'extrémités
- ✓ Vérifier les jeux des labyrinthes d'extrémités et labyrinthe de piston d'équilibrage




✓ préparation et nettoyage des paliers (palier porteur coté d'aspiration et coté de refoulement +les paliers de butée actif et inactif) ✓ Vérification les jeux des bague HP et BP




Comparer l'épaisseur des patins neufs avec l'épaisseur des patins anciens et répéter la même opération pour les taquets.

✓ Réparation du rotor (rechange la bague de retenue).

La bague est monté à chaud.

✓ L'équilibrage du rotor au niveau de l'atelier d'équilibrage

a. Pièces de rechange :

✓ Les bagues HP et BP
✓ Labyrinthe inter-étage (la roue et entretoise)
✓ Labyrinthe extrémité coté d'aspiration et coté de refoulement
✓ Labyrinthe de piston d'équilibrage
✓ Les patins et les taquets
✓ Les joints « téflon et O-ring »
✓

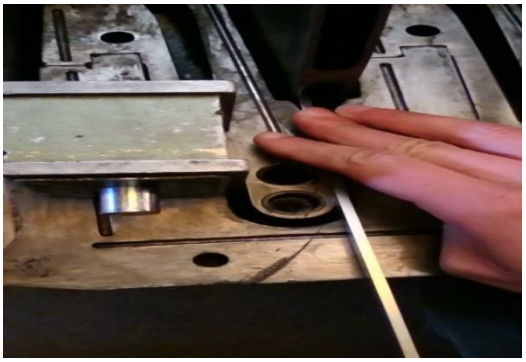
III.5.3. Phase remontage :

- ✓ Remontage des diaphragmes
- ✓ fixer les diaphragmes avec des vis (caisse supérieure).



- ✓ Centrage du rotor, il se fait comme suit :

Centrer la roue avant dernière avec son



- ✓ Remontage labyrinthe inter-étage et fixer avec des vis (caisse supérieure)



- ✓ Placer le rotor sur la caisse inférieur
- ✓ Relever jeu labyrinthe -jeu de cale- (roue /entretoise)

- ✓ diffuseur.
- ✓ Mettre le comparateur axialement avec le rotor (le comparateur doit être en contact avec le rotor)

- ✓ Déplacer le rotor vers coté aspiration et lire la valeur indique sur le comparateur (jeu aspiration).
- ✓ Déplacer le rotor vers coté refoulement et lire la valeur indiqué sur le comparateur (jeu total).



Jeu d'aspiration	Jeu total	Jeu de refoulement
3.20	7.10	4.10

- ✓ Placer les joints de bundle
- ✓ Assembler les demi-caisses et fixer par des visses et goupets.
- ✓ Placer le joint téflon sur le bundle et le joint du flasque à chaud.
- ✓ Montage du bundle dans le corps , en utilisant même diapositive de démontage

NB : il faut nettoyer la caisse et graisser le joint et la surface de contacte.

Remontage des secteurs

- ✓ Remontage de la couronne
- ✓ contrôle jeu total

Si le jeu est diminué on déduit la valeur du jeu refoulement, et s'il augment on réparti sur le jeu aspiration et le jeu refoulement.

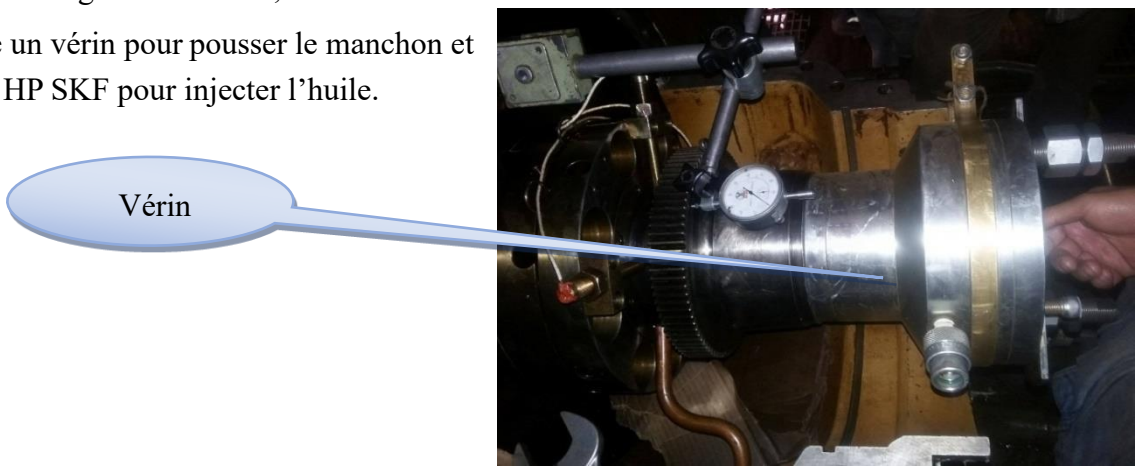
- ✓ Remontage du flasque on utilise le même dispositif utilisé au démontage.
- ✓ Contrôler le jeu total

Si le jeu diminue on déduit la valeur du jeu aspiration.

- ✓ Remontage de l'étanchéité coté d'aspiration + serrage du bloc
- ✓ Remontage de l'étanchéité coté de refoulement
- ✓ Remontage de palier porteur coté de refoulement + serrage ✓ Mesurer le jeu radial coté refoulement.

- ✓ Remontage du manchon,

On utilise un vérin pour pousser le manchon et la pompe HP SKF pour injecter l'huile.



a. Coté de d'aspiration :

- ✓ Mesurer l'épaisseur des cales.
- ✓ Remontage cale interne

NB : la cale interne corriger le jeu de refoulement.

- ✓ Remontage palier de butée inactif
- ✓ Placer la buté d'essaie à la main
- ✓ Relever le jeu d'aspiration

Il faut que le jeu est voisin au valeur mesure après montage flasque.

- ✓ Remontage la buté et la rondelle de freinage et l'écrou de butée.
- ✓ Remontage du palier de butée actif
- ✓ Remontage du palier porteur
- ✓ Remontage de la cale externe (deux demi cale)

NB : les demi-clés monté entre le palier actif et palier porteur.

- ✓ Relever le jeu de buté

NB : Si les jeux sont hors tolérance, on va jouer sur l'épaisseur de cale interne ou/et cale externe.

- ✓ mesurer le jeu radial.
- ✓ Placer les sondes de vibration VIAS.
- ✓ Remontage des caches et des conduites

b. Coté de refoulement :

- ✓ Remontage d'accouplement
- ✓ Contrôler déplacement d'accouplement
- ✓ Remontage des caches et les différentes conduites
- ✓ Remontage des packages.

III.6. Objectifs de révision générale Niveau II :

Le but d'une révision générale est d'examiner toutes les pièces intérieures, de les paliers porteurs, les paliers de butées, les bagues d'étanchéité jusqu'au système aérodynamique "rotor et stator", y compris l'étalonnage des instruments de contrôle et de surveillance. [4]

Conclusion :

La maintenance est un pilier fondamental dans la gestion et la préservation des équipements, des machines et des infrastructures. Son rôle essentiel est de veiller au bon fonctionnement, à la longévité et à la sécurité de ces éléments cruciaux. La maintenance préventive anticipe les pannes et les dysfonctionnements potentiels, tandis que la maintenance corrective intervient en cas d'incident avéré. En parallèle, la maintenance curative s'avère indispensable pour réparer les dégâts causés par une mauvaise utilisation ou un accident imprévu. En résumé, la maintenance représente un investissement incontournable pour garantir la pérennité des équipements et assurer la continuité des opérations. Il s'agit en effet d'une révision programmée où tous les paramètres de fonctionnement sont optimisés avant l'arrêt, préservant ainsi un état de parfait fonctionnement [4].

Chapitre IV

Calcul de la fiabilité de compresseur BCL 405/C

Introduction :

La fiabilité des compresseurs BCL 405/C est un élément central dans le maintien de la performance optimale de cette station de compression sur le long terme. Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les différents aspects de la fiabilité de ces équipements essentiels. Nous aborderons les facteurs clés qui influent sur la fiabilité des compresseurs, les méthodes d'évaluation de la fiabilité, ainsi que les stratégies de maintenance préventive et corrective visant à garantir un fonctionnement continu et efficace. Comprendre et optimiser la fiabilité des compresseurs BCL 405/C est crucial pour assurer la stabilité opérationnelle de la station de compression, tout en minimisant les risques de défaillance et en maximisant la disponibilité des équipements.

IV.1 Définition et terminologie :

IV.1.1. Fiabilité (Reliability en anglais) :

Est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Mathématiquement, la fiabilité se caractérise par la probabilité R (t) que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps [0, t], sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant [23].

R (t) = P [E non défaillante sur [0, t]]

IV.1. 2. Fiabilité prévisionnelle :

C'est la fiabilité calculée sur la base d'un modèle mathématique défini à partir de données du projet et de la fiabilité estimée des composants.

IV.1.3. Fiabilité estimée ou intrinsèque :

C'est la fiabilité d'un dispositif mesurée au cours d'essais spécifiques effectués dans la cadre d'un programme d'essais défini.

IV.1.4. Fiabilité mesurée opérationnelle :

Fiabilité mesurée sur les dispositifs en exploitation normale, elle dépend des conditions réelles d'utilisation et support logistique.

IV.1.5. Défaillance :

Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. La défaillance ou panne est une perte Partille ou total (ou seulement variation) des propriétés de l'élément qui diminue significativement ou bien entraine la perte totale de la capacité de fonctionnement.

IV.1.6. Usure :

Modification progressive irréversible des propriétés d'un dispositif provoquée par l'application des charges.

IV.1.7. Vieillissement :

Modification progressive irréversible des propriétés d'un dispositif due à l'action de processus chimique et / ou physiques évoluant spontanément des matériaux.

IV.1.8. Durée de vie :

Durée pondant laquelle un bien accompli la fonction qui lui a été assignée.

IV.1.9. Longévité :

Aptitude d'un système à une longue exploitation (elle peut comprendre les durées de réparation et d'inspection).

IV.1.10. Conservabilité :

Propriété d'un dispositif consistant à maintenir sans interruption les valeurs de ses caractéristique requises de qualité dans les limités imposées au cours su stockage, après celuici et [ou] au cours du transport.

IV.1.11. Qualité :

Ensemble des propriétés qui déterminent le niveau d'utilité de l'élément pour son utilisation selon la destination. [24].

IV.1.12. Maintenabilité (Maintainability en anglais) :

D'une entité est définie comme son aptitude à se maintenir ou se rétablir, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et moyens prescrits [25].

IV.1.13. Disponibilité (Availability en anglais) :

D'une entité est définie comme son aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture de moyens extérieurs nécessaires soit assurée [25], [26].

IV. 2 Evolution du taux de défaillance :

La plupart des produits industriels ont au cours de leur vie un taux de défaillance présentant trois modes différents. L'ensemble se présentant sous la forme d'une courbe en baignoire

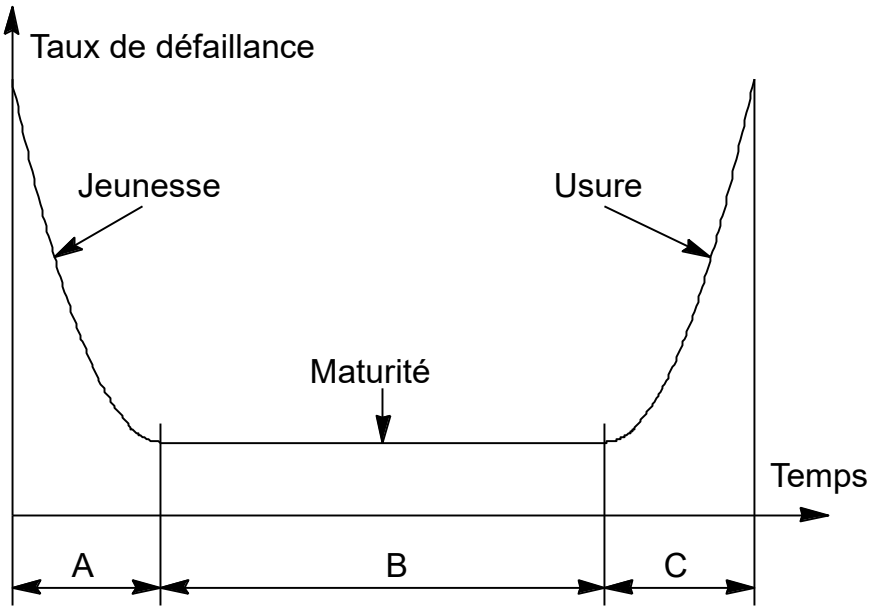


Figure- IV -1 : Courbe en baignoire : taux de défaillance en fonction du temps

A/ Période de jeunesse (Rodage) :

C ´est la période durant laquelle le dispositif est en rodage, les pannes (défaillances) ne sont pas graves, le taux de défaillance décroit en fonction du temps ; elle s´explique par des points fragiles causés par la mauvaise fabrication, un contrôle insuffisant de qualité ; défaut de montage ……etc

B/ Période de maturité (Aléatoire) :

C´est la période qui correspond à la maturité du dispositif durant laquelle, les défaillances sont dites accidentelles. Ce sont les défaillances causées par l´usure progressive, elles ne peuvent pas être éliminées par la technique de mise à l´épreuve, elles surviennent à des intervalles aléatoires de façon irrégulière. Les défaillances apparaissent lorsqu´il y a une certaine accumulation de contraintes lors de l´utilisation normale, ou l´influence des facteurs extérieurs dépassent les limites prévues dans les conditions d´exploitation. Le taux de défaillance est sensiblement constant.

C/ Période de vieillesse (Usure) :

C´est la période durant laquelle le taux de défaillance augmente rapidement à cause du processus de dégradation. Le taux de défaillance est croissant, c´est la période où il faut surveiller le matériel, cela correspond aux phénomènes de fatigue, d´usure mécanique …etc., par conséquent une maintenance préventive conditionnelle peut-être mise en œuvre. [24].

IV.3. Paramètres de fiabilité :

IV. 3.1. Variable aléatoire :

On appelle variable aléatoire X une variable qui prend des valeurs différentes, et à chaque valeur on peut associer une probabilité.

IV. 3.2. Densité de probabilité :

En fiabilité elle est généralement noté f(t), elle représente la probabilité de défaillance juste au temps (t).

IV.3.3. Fonction de répartition :

Elle est notée :

$$F_{(t)} = \int_0^1 \boldsymbol{f(t)dt} \qquad \text{IV-1}$$

Elle représente la probabilité de défaillance dans l´intervalle de temps [0, t]. [23], [24]

IV.3.4.Fonction de fiabilité :

Elle est notée :

$$R(t)=1-F(t) \qquad \text{IV-2}$$

Elle représente la probabilité de bon fonctionnement dans l´intervalle de temps [0,t] ,elle est la complémentaire de la fonction de répartition F(t) .

IV.3.5.Taux de défaillance :

La taux de défaillance correspond à la probabilité d´avoir une défaillance au temps (t+ Δt) ; la note λ(t)= (ni/N Δt) ou (ni : Nombre de pannes pour une période de classe (temps ti)) . [27],[28]

IV.3.6.MTBF : Temps moyen de bon fonctionnement :

C´est l´espérance mathématique des défaillances qui représente la moyenne des temps des temps entre deux défaillances.

$$MTBF=m\text{-}E(t) \qquad \text{IV-3}$$

IV.4. Principales lois utilisées en fiabilité :

On emploi de diverses lois de probabilité pour représenter et donner la nature et la durée de vie des équipements.

Parmi ces lois qu´on pour le calcul de fiabilité on cite :

- La loi normale ;
- La loi exponentielle ;
- La loi de weibull ;

IV.4.1. La loi normale :

La loi normale (appelée aussi loi gaussienne) est la plus ancienne et la plus connue des lois de probabilité, elle s´ajuste à la fiabilité des matériaux soumis à l´usure et au vieillissement. Une variable aléatoire " t " de moyenne " m "et d´écart type "σ " suit une loi normale si sa fonction si sa fonction de densité est : [24]

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{pour } t>0 \qquad \text{IV-4}$$

L´intégration de cette fonction f(t) nous donne la fonction de réparation.

$$\mathbf{F}(t) = \int_0^t f(t)\, dt = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}} \qquad \text{IV-5}$$

C´est une fonction tabulée.

- **Représentation graphique :**

Cette fonction est symétrique par rapport à la moyenne.

$$f(m-t) = f(m+t) \qquad \text{IV-6}$$

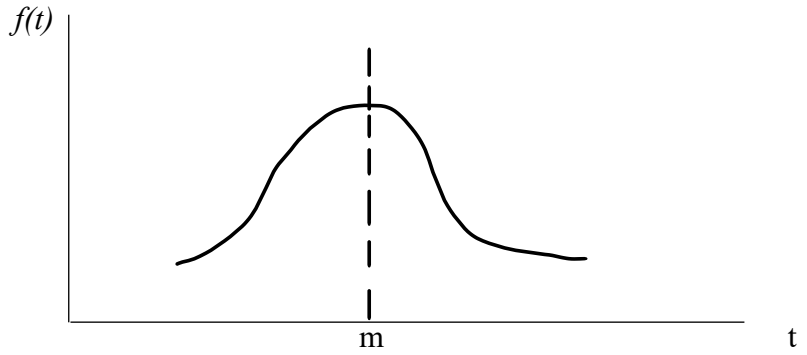
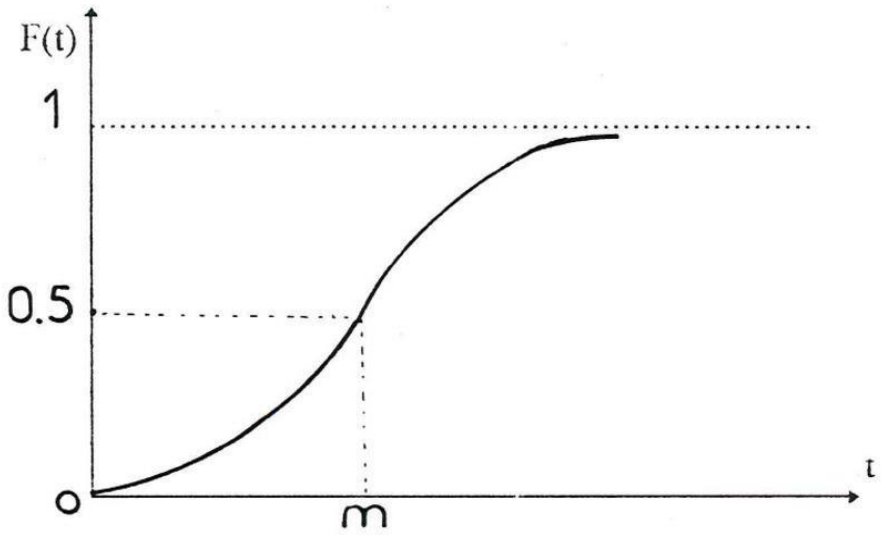


Figure- IV -2 : Courbe de GAUSS

-Sa fonction de répartition est représentées comme suit :

$$F(t) = \int_0^t f(t)\, \boldsymbol{dt} = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, \boldsymbol{e}^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}}\, dt \qquad \text{IV-7}$$



IV.4.2.La loi exponentielle :

Elle décrit les pannes accidentelles, elle est caractérisée par un taux de défaillance constant. C´est un modèle particulièrement utilisé en fiabilité électronique.

Sa fonction de densité de probabilité est : [29]

$$f(t)= \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{avec} \quad 0 \leq t \leq +\infty \qquad \text{IV-8}$$

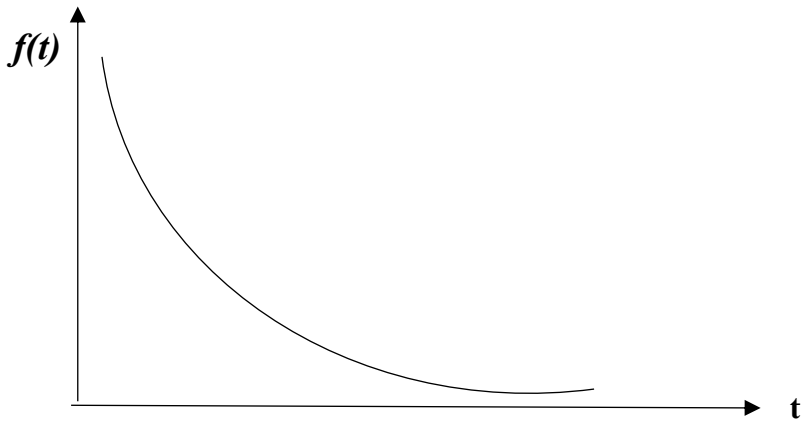
λ : paramètre de loi exponentielle .

-Sa fonction de répartition :

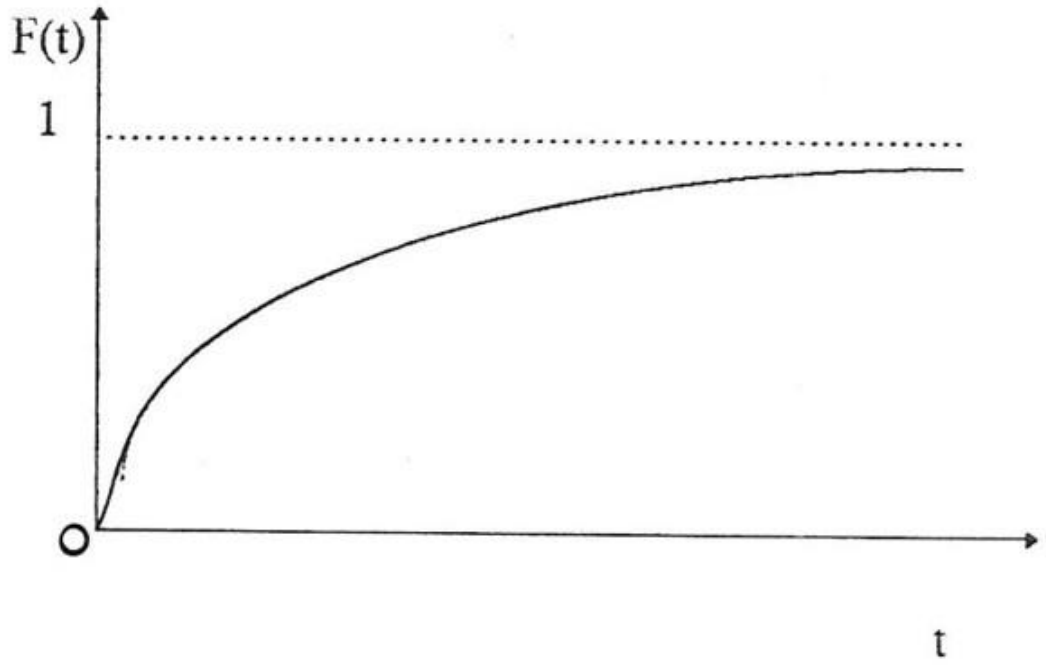
$$F(t)=\int_0^t \mathbf{f(t)}\, dt=\int_0^t \lambda\, e^{-\lambda t} \qquad \text{IV-9}$$

$$F(t)=1-e^{-\lambda t} \qquad \text{IV-10}$$

- **Représentation graphique de la fonction de densité** *F(t)*



- **L´allure de la fonction de répartition** *F(t)*



IV.4.3.Loi Weibull :

Il s´agit d´une loi très simple car elle à trois paramètres, elle est souvent utilisée en fiabilité et en particulier dans la mécanique.

Une loi de Wei bull est caractérisée par sa fonction de densité de probabilité **:**

$$\mathbf{F}\ (t) = \frac{\beta}{\mu}\left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^{\beta-1}\ e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^{\beta}} \qquad \text{avec } (t\text{-}\gamma) > 0 \qquad \text{IV-11}$$

où : β : Paramètre de forme (sans unité)

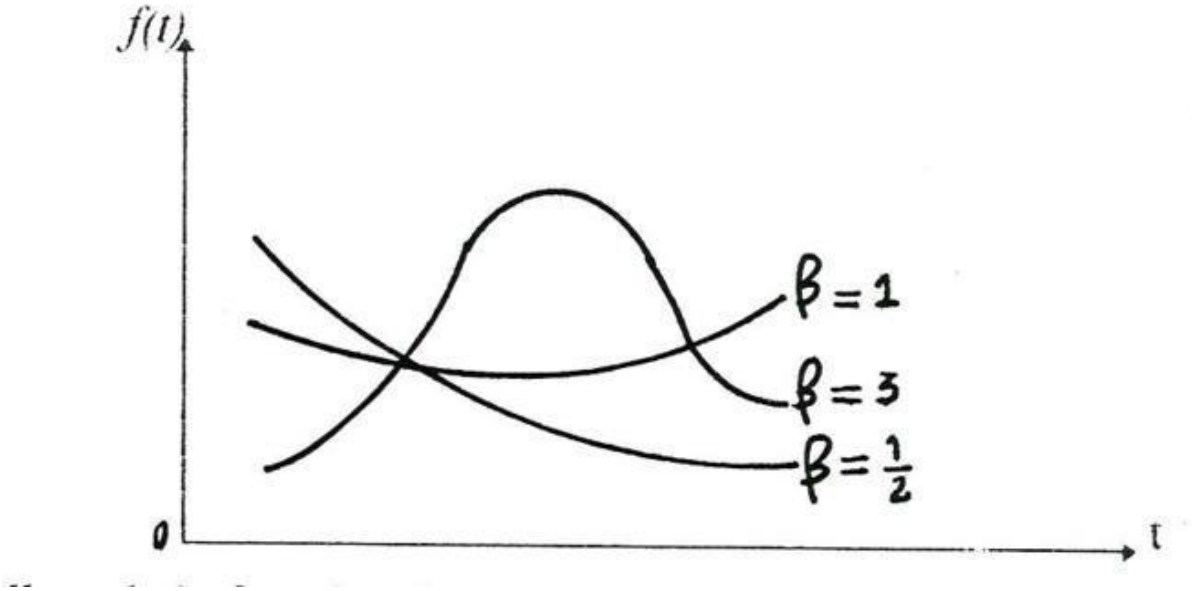
γ : Paramètre de position (unité de temps)

μ : Paramètre d´échelle (unité de temps)

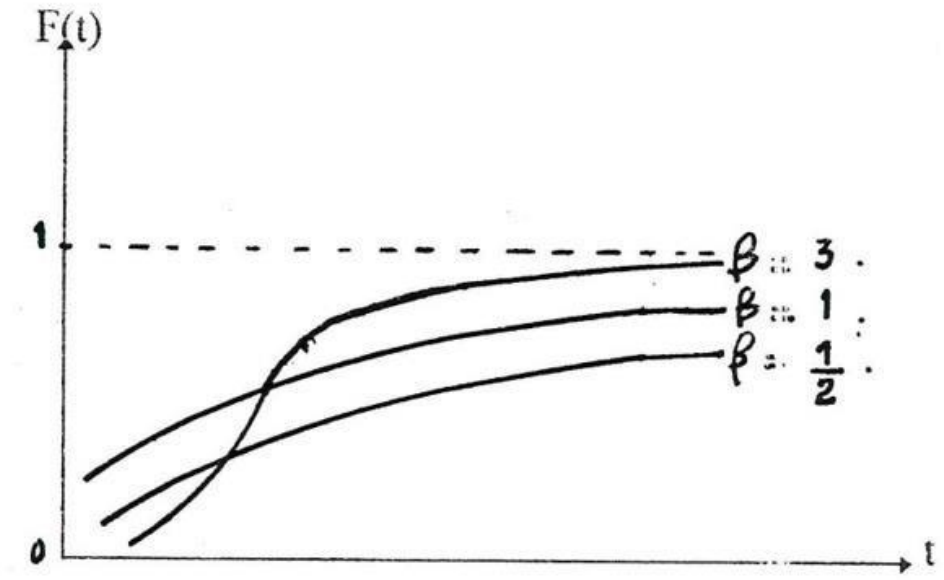
- Sa fonction de répartition :

$$F(t) = \int_0^t \mathbf{f(t)}\ \boldsymbol{dt} = \mathbf{1}\text{-}e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^{\beta}} \qquad \text{IV-12}$$

- **Représentation graphique de la fonction de densité** *f(t)* L´allure de f(t) pour quelques valeurs de **(** $\beta = 1/2$ **;** $\beta = 1$; $\beta = 3$)



- **L ´allure de la fonction de réparation** *F(t)*



IV.5.CALCUL DE FIABILITÉ :

Dans ce calcul on détermine le taux de défaillance λ(t)

IV.5.1.Détermination du nombre de classe r :

Nous déterminons r afin de tracer l'histogramme des pannes $r= 1 + 3.33 \log(\sum Ni)$ ou $r = \sqrt{N}$

ou N : nombre total de panne .

Nombre de pannes N1	1	2	3	4	5	6	7
les TBFi	1224	1402	1704	1792	2424	2520	3312

Ni	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Les TBFi	4416	5736	5912	8112	10848	10896	14904	15612	21960

D'après le tableau nous avons N=16

Calculons r :

$r= 1 + 3.33 \log N$ $r= 1 + 3.33 \log(16) = 4,97 \cong 5$

$$r = 5 \text{ classes}$$

Détermination des intervalles entre les classes Δt :

Δt est le rapport entre TBF_{MAX} et le nombre de classe r

$$\Delta t = \frac{TBFMAX}{r} = \frac{21960}{5}$$

$$\Delta t = 4392\ h$$

IV.5.2.Regroupement en classes :

Nombre de classe	Période entre pannes	Pannes cumules
1	0……...…….4392	7
2	4392……..…..8784	4
3	8784……13176	2
4	13176……..17568	2
5	17568……..21960	1

Traçons l'histogramme des pannes

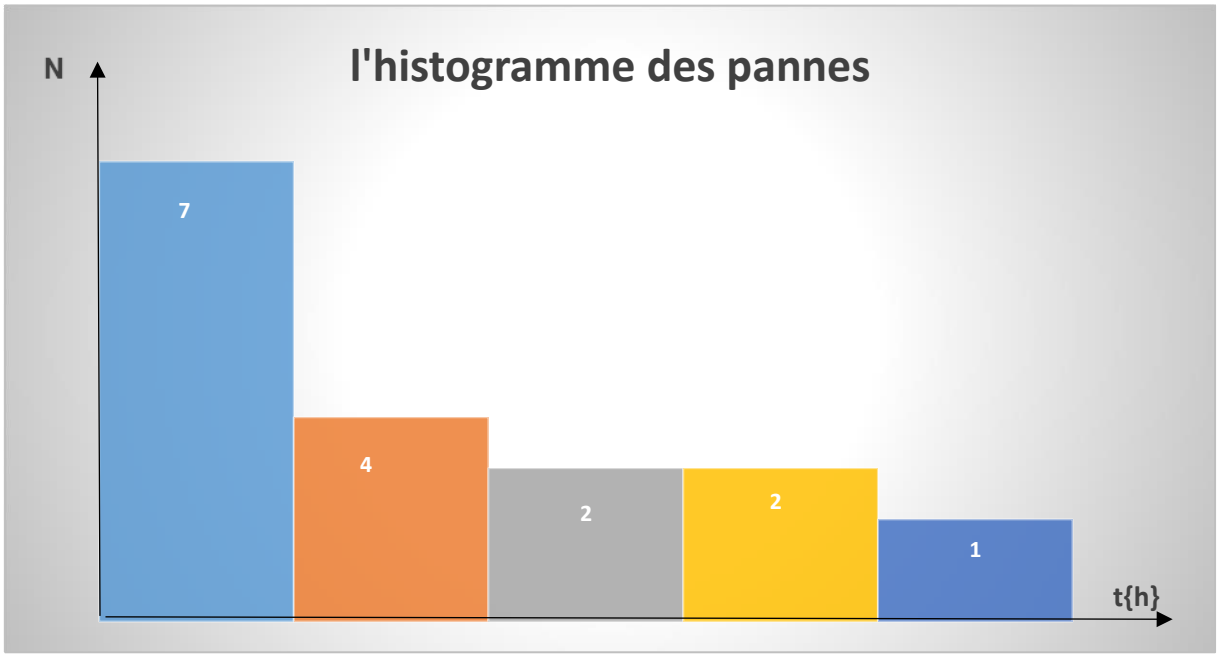


Figure.IV.5: L'histogramme des pannes

D'après l'histogramme on remarque que le compresseur suit un modèle exponentiel on peut vérifier cette hypothèse par un test d'adéquation .

IV.5.3.Calcul de fonction de fiabilité $R(t)$:

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

$R(t)=1-n_i/N_0$

n_i : Nombre de pannes jusqu'au temps t_i

N_0 : Nombre total de pannes.

$R(t_0)= 1-(n_0/N_0)$ ⟶ $R(0)= 1-(0/16)=1$

$R(t_1)=1-(n_1/N_0)$ ⟶ $R(4392)=1-(8/16)=0,50$

$R(t_2)=1-(n_2/N_0)$ ⟶ $R(8784)=1-(11/16)=0,31$

$R(t_3)=1-(n_3/N_0)$ ⟶ $R(13176)=1-(13/16)=0,18$

$R(t_4)=1-(n_4/N_0)$ ⟶ $R(17568)=1-(15/16)=0,06$

$R(t_5)=1-(n_5/N_0)$ ⟶ $R(21960)=1-(16/16)=0$

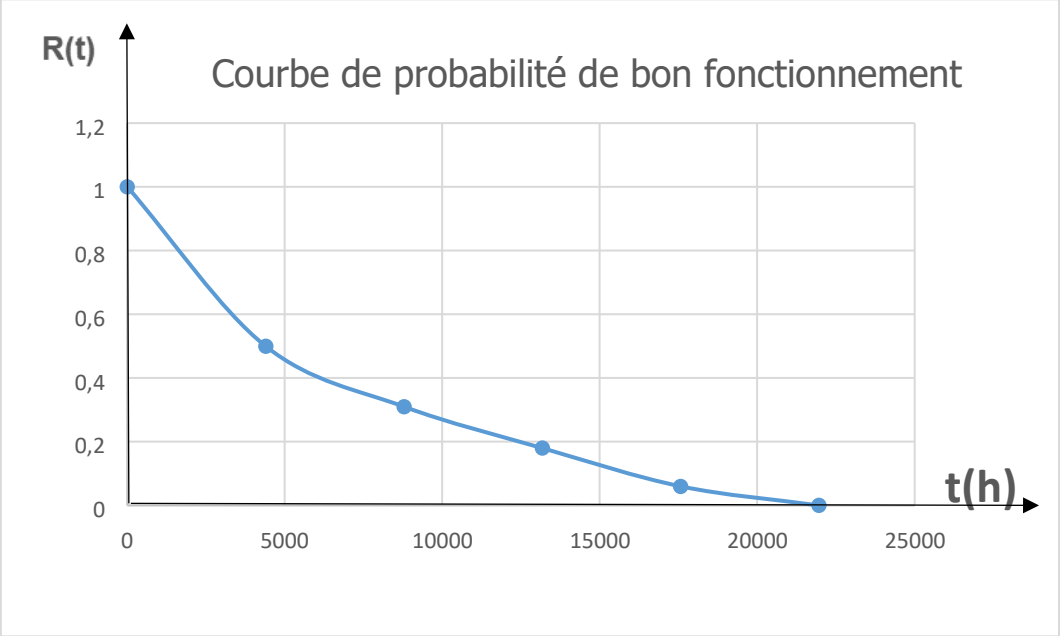


Figure- IV -6: Courbe de probabilité de bon fonctionnement

IV.5.4.Calcul de la probabilité de défaillance F(t) :

$F(t)=n_i/N_0$

$F(0)=0/16 = 0$

$F(4392)=8/16 = 0,500$

$F(8784)=11/16 = 0,650$

$F(13176)=13/16 = 0,810$

$F(17568)=15/16 = 0,937$

$F(21960)=16/16 = 1,000$

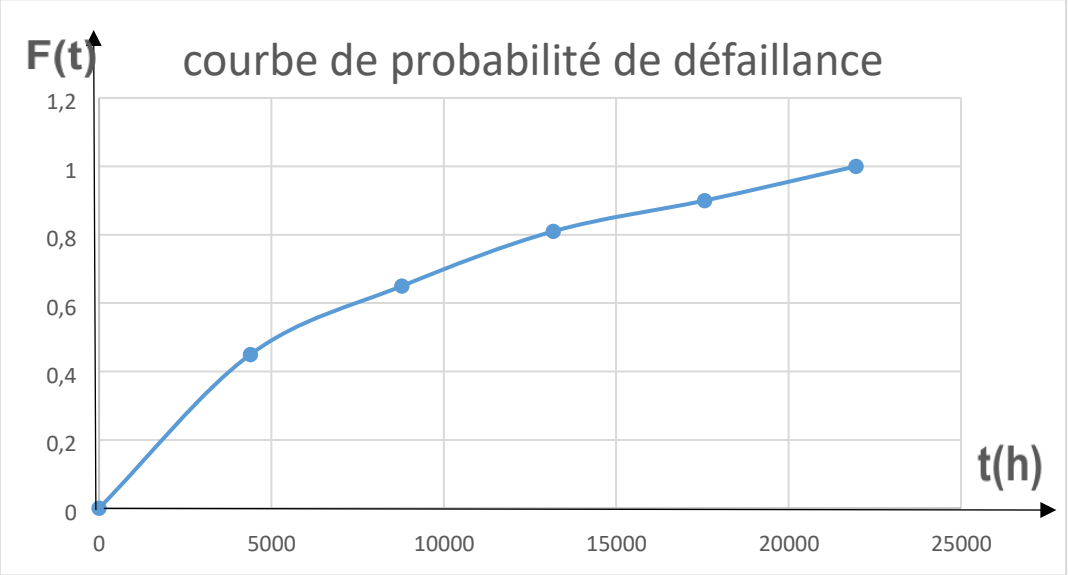


Figure- IV -7: Courbe de probabilité de défaillance

IV.5.5.Calculdu taux de défaillance λ(t) :

On le détermine par la formule suivante

$\lambda(t) = (ni/N.\ \Delta t)$

n_i : Nombre de pannes jusqu'au temps t_i

N : $N_0 - \sum n_i$: Nombre total de panne (pannes cumulées)

Δt : Période entre classes

$\lambda_1(t) = (n_1/N_1.\ \Delta t) = (8/16*4392) = 1{,}3*10^{-4}h$

$\lambda_2(t) = (n_2/N_2.\ \Delta t) = (3/8*4392) = 0{,}85*10^{-4}h$

$\lambda_3(t) = (n_3/N_3.\ \Delta t) = (2/5*4392) = 0{,}91*10^{-4}h$

$\lambda_4(t) = (n_4/N_4.\ \Delta t) = (2/3*4392) = 1{,}51*10^{-4}h$

$\lambda_5(t) = (n5/N5.\ \Delta t) = (1/1*4392) = 2{,}2*10\text{-}4h$

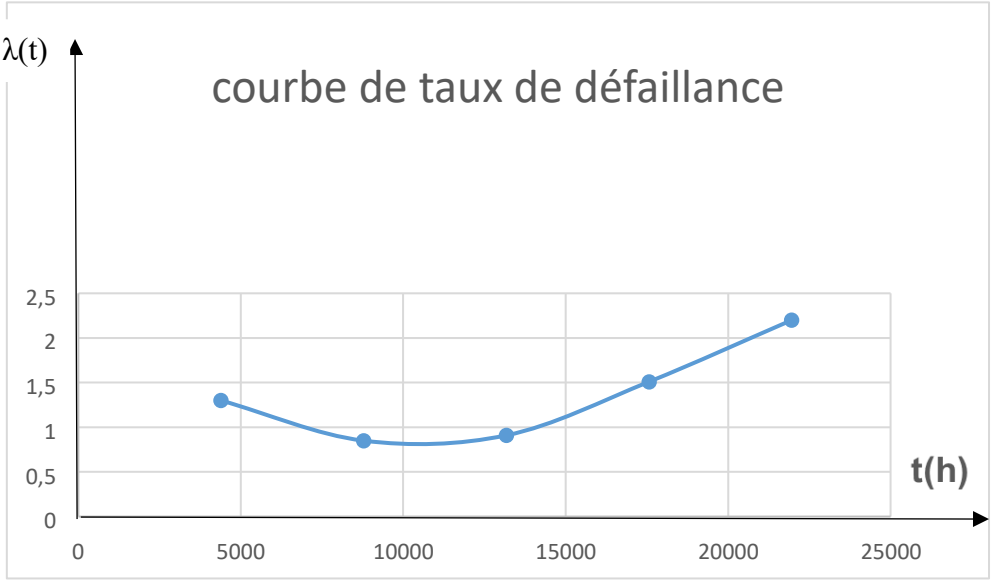


Figure- IV-8: Courbe de taux de défaillance

IV.5.6.Calcul de la MYBF :

$$MTBF = (\sum TBF_i) / (\sum n_1) = (112834/16$$

$$MTBF = 7052{,}125 \text{ h}$$

Ce qui correspond à une année environ .

IV.5.7.La test d'adéquation :

La test de $\ll KOLOMOGOROV - SMIRNOV \gg$est appliqué dans ce cas puisque le nombre d'échantillon n est inférieur à 50 ($n < 50$)

Ce test nous permet de comparaitre l'erreur absolue donnée par la différence entre la fonction réelle et la fonction théorique avec $\Delta_n = |F_i - F_{th}|$ l'erreur de référence $\Delta_{n,\alpha}$.

La condition du test d'adéquation :

$\Delta_{ni} < \Delta_{n,\alpha}$

Δ_{ni} : Différence maximum entre F_i et F_{th}

F_i : Fonction réelle $F_i = [\ (i - 0{,}3\ )/(N + 0{,}4\ )\ ]$
F_{th} : Fonction théorique $F_{th} = 1\text{-}e^{-\lambda t}$

$\lambda = (1/MTBF) = (1/7050{,}125)$

$$\lambda = 1{,}418 \cdot 10^{-4}$$

Tableau de comparaison :

Ni	TBFi	Fi	Fth	$\Delta_n = \lvert F_i - F_{th} \rvert$
1	1224	0,042	0,159	**0,116**
2	1402	0,103	0,180	0,076
3	1704	0,164	0,214	0,050
4	1792	0,225	0,224	0,001
5	2424	0,286	0,290	0,004
6	2520	0,347	0,300	0,047
7	3312	0,408	0,374	0,033
8	4416	0,469	0,465	0,004
9	5736	0,530	0,556	0,026
10	5912	0,591	0,567	0,023
11	8112	0,652	0,683	0,031
12	10848	0,713	0,785	0,071
13	10896	0,774	0,786	0,012
14	14904	0,835	0,819	0,043
15	15672	0,895	0,891	0,0043
16	21960	0,957	0,955	0,001

Détermination de $\Delta_{n,\alpha}$:

$\Delta_{n,\alpha}$ est déterminé à l'aide d'un tableau

n : Nombre de données : n=16

α : le risque d'erreur , on admet α =5 %

D'après le tableau o a $\Delta_{n,\alpha} = 0{,}328$

On voit que $\Delta_{n,max} = 0{,}116 < \Delta_{n,\alpha} = 0{,}328$

Donc, nous acceptons le modèle théorique. C'est-à-dire le compresseur suit modèle exponentiel.

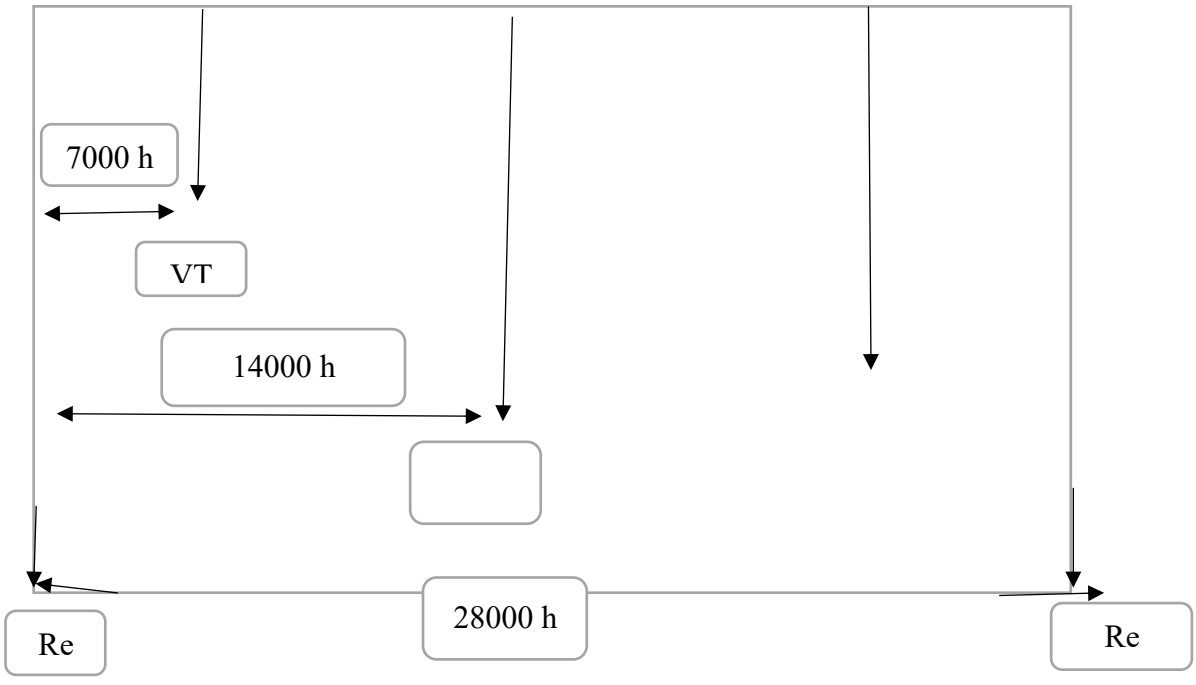
Conclusion :

Les résultats du calcul nous montrent que le compresseur suit une loi exponentielle , donc il est en période de maturité ou les pannes sont soudaines et accidentelles .

Sur la base des résultats de ce calcul (MTBF= 7052,125 h) nous proposons de prolonger le cycle de réparation du compresseur au lien du cycle existant .

Nous optons pour un cycle de réparation complété de 28000 heures au lien de 16000 heures , avec une réparation partielle de 14000 heures au lien de 8000 heures et une visite technique périodique chaque 7000 heures au lieu de 2000 heures . [24].

Donc le cycle de réparation sera comme suit :



Chapitre V

Sécurité de compresseur BCL 405/C

Introduction :

La sécurité a été prise en considération les débuts des études de développement du champ de Hassi R'mel en conformité avec les normes internationales. Des organes de sécurité à fonctionnement automatique sont installés au fond et au tètes des puits.

Les unités sont dotées de systèmes de sécurité approprie pour le contrôle et la prise en charge de toute anomalie. En plus des sécurités de processus, de moyens d'intervention fixes et mobiles sont prévus pour faire face à toute éventualité. Des procédures et méthodes de travail ont été mises en place pour le suivi et le contrôle des installations.

L'application de ces méthodes est rendue facile par le niveau de formation relativement élevé du personnel opérationnel. Le service de sécurité est très nécessaire pour les entreprises industrielles surtout dans l'industrie de gaz et de pétrole ou la matière inflammable est toujours présente. La station de Compression sud est dotée d'un système de sécurité basé en priorité sur la prévention et le respect des précautions à prendre pour éviter les accidents liés à l'inflammation.

La sécurité assure le gardiennage de la station, surveille l'entrée et la sortie des agents et le mouvement du matériel et sensibilise les travailleurs pour l'application des mesures de sécurité.

La Station de Compression nord est équipée de système anti- incendie fixe et d'équipements mobiles selon l'importance de la zone à protéger.

V.1. Définition de La Sécurité :

La sécurité industrielle est l'ensemble de mesure et de moyens techniques et d'hygiène dont la finalité est de créer des bonnes conditions en limitant l'influence des factures industriels dangereux provoquant des avaries.

Elle étudie les dangers industriels, les maladies professionnelles et les accidents professionnels et met en évidence des méthodes de réduction des accidents dont de but est d'augmenter la production et le rendement.

C'est la protection de l'être humain et du patrimoine national. Son action est assurée par un ensemble de moyens techniques aux quel vient s'ajouter un état d'esprit. [24]

V.2. Place de la sécurité dans l'entreprise :

La sécurité est une fonction générale dans l'entreprise, elle est une des nombreuses préoccupations, la direction pour cela elle est rattachée directement à la direction et n'a de responsabilité qui vis de celle-ci c'est un des services d'état-major de l'entreprise.

V.3.Mission de la sécurité :

Elle assure deux fonctions principales :

V.3.1. Prévention :

C'est l'ensemble de mesures qui ont pour but de réduire l'incidence d'un comportement ou d'un événement dangereux on distingue :

a. La prévention passive :

La sécurité ne s'improvise pas elle est basée sur l'étude des faits. A la base de la prévention, il faut la connaissance de la l'accident. Il faut donc analyser :

- Les dangers présentés par les produits manipulés et par les moyens d'exploitation misen-œuvre
- Les conditions de travail.
- Les accidents déjà survenus.

b. La prévention active :

Les renseignements réunis de l'action passive permettent d'établir les règles de sécurité, de déterminer les moyens matériels et humains à mettre en œuvre et toutes les mesures sa prendre| propres à parvenir et réduire l'importance des accidents qui proviennent malgré toutes les précautions.

La mission de la sécurité ne peut réussir que seulement si un véritable esprit de sécurité soit créé.

V.3.2. Intervention :

Une fois l´accident ou l´incendie se produit, la sécurité doit posséder tous les moyens matériel et humains pour faire face é ce danger. L´efficacité de lutte contre l´incendie dépend de :

a. La rapidité de l´intervention.
b. La technique d´attaque.

V.4. Incendies :

Les incendies peuvent être dus à une imprudence, à une négligence des ouvriers aux consignes de sécurité ou d'autres causes. Les produits et matériaux présentant des dangers d'inflammation doivent être conservés dans des endroits spécialement aménagés à cet effet. En

cas où l´incendie se produit il faut alerter immédiatement le service anti-incendie, néanmoins il faut essayer d´intervention est rapide et inhérente plus les dégâts sont moindres et moins importants.

V.4.1. Différents types de feux :

Les feux sont évidemment divers que sont nombreux, le différent corps combustible est inflammable susceptible d´alimenter un incendie, mais l´expérience à montrer qu´un pouvait les classer en un petit nombre de catégories.

Tous les feux d´une même catégorie étant justiciable d´un même agent extincteur.

- **Classe A. Feux dits Secs :**

Bois ; textile ; papiers ; paille ….etc. . Apparemment simple.

Les feux secs peuvent être difficiles à combattre dans la mesure où il se forme une combustion lente avec braise.

- **Classe B. Feux dits Gras :**

Matière grasse ; et hydrocarbures, huiles, graisses ; pentures, essences .. ect .

En général ces feux ne présentent pas de combustion lente, la disparition des flammes correspond à la fin de l´incendie.

- **Classe C. Feux dits électriques :**

Très dangereux, ils peuvent, soit avoir des origines électroniques soit survenir à proximité d´appareils électriques, sans aucune origine électrique.

- **Classe D. Feux dits spéciaux :**

Films cinématographiques, magnésium, uranium…ect

Heureusement ces feux sont très peu répondus car ils nécessitent pour leur extinction un matériel et des techniques particulières.

V.5.Relation entre la maintenance et la sécurité :

La relation qui existe entre la maintenance et la sécurité est mutuelle car chacune complète l'autre au cours de leur déroulement.

Le point fort de cette relation est que les deux systèmes interviennent pendant la même période de fonctionnement des équipements, seulement ils différent de la façon d'intervenir. La maintenance agit du point de vue production c'est-à-dire pour assurer le bon fonctionnement des équipements. Pour une production meilleure. Par contre la sécurité agit du point de vue risques d'accident. C’est-à-dire la sécurité de l'équipement et du personnel exploitant.

V.6.Sécurité au niveau de l'unité de compression :

V.6.1. Règle de sécurité à l'intérieur des installations :

a. En général, il est interdit de :

- Fumer à l'intérieur des installations.
- D'exécuter des travaux sans autorisation.
- D'introduire des matériels ou des produite non autorisés.
- D'effectuer des réparations ou d'intervention pendant la marche des équipements.
- Démonter tout appareil, avant de s'être assuré qu'il est isolé mis et maintenu à la pression atmosphérique. - D'abandonner des outils ou des objets dont la chute peut provoquer des accidents, etc.

b. Il est obligatoire de :

- D'utiliser les équipements spéciaux de sécurité, le personnel effectué à la conduite des appareils de service doit notamment être muni de casque, de chaussures de sécurité et des gants.

Protection des voies respiratoires :

Ils comportent un filtre destiné à protéger les muqueuses et les poumons des poussières de tout ordre. Ces masques doivent être utilisés en particulier dans les travaux suivants : Manipulation ou manutention de catalyseur et criblage, tous les nettoyages développant d'abondantes poussières, etc….

Protection de la tête :



Les blessures à la tête peuvent provenir de chutes d'objets, de projection d'objets, de chocs contre un objet fixe, à la suite d'une chute ou d'un faux Mouvement. Un casque assure la protection dans tous les cas. Il n'est ni lourd ni gênant et il est recommandé de le porter pendant la durée de travail.

Protection des mains :

Les mains parmi les parties du corps les peuvent exposées, leur protection est assurée par le port des gants.

Protection des yeux :

Les yeux, une des parties les plus importantes du corps humain, demandent une attention toute particulière, leur protection est assurée par le port des lunettes.

Protection des pieds :

Les pieds se trouvent naturellement sur le chemin de l'objet laissé tomber et les pièces reçues peuvent être très lourds, par exemple les brides, etc... C'est pour cette raison que le port des chaussures de sécurité possède une coquille en acier pour la protection des orteils est vivement recommandé et obligatoire pour certains poste de travail .

- Munir le personnel de survêtements imperméables et de lunettes de production dans tous les cas ou des projections sont à craindre en particulier ; le port des lunettes à écrans de protection est obligatoire lors de la manutention des liquides chauds ou corrosifs. Si la présence d'atmosphère polluée est possible des détecteurs de gaz et des équipements respiratoires correctement adoptés sont mis à la disposition du personnel
- Maintenir propres et dégagés de tout obstacle les passages personnels, échelles et escaliers.
- Munir d'un éclairage efficace les emplacements ou les ouvriers sont appelés à travailler la nuit.



Figure-V-1 : les équipements de protection individuelle (E.P.I).

Lors des travaux de manutention :

Il est obligatoire de :

- Former et informer les travailleurs sur les risques.
- Vérifier le bon état de l'outil de levage
- Vérifier l'état des élingues
- Prévoir une seule personne pur diriger les manœuvres de levage.
- Baliser le lieu de travail.
- Ne rester jamais sous la charge .

V.7. La sécurité des compresseurs centrifuges 405 / C :

Les incendies peuvent être dus à une imprudence, à une négligence des ouvriers aux consignes de sécurité ou d'autres causes. Les produits et matériaux présentant des dangers d'inflammation doivent être conservés dans des endroits spécialement aménagés à cet effet.

V.7.1. Système anti-incendie :

Les incendies peuvent être dus à une imprudence, à une négligence des ouvriers aux consignes de sécurité ou d'autres causes. Les produits et matériaux présentant des dangers d'inflammation doivent être conservés dans des endroits spécialement aménagés à cet effet.

Les sites de traitement comportent plusieurs machines telle que la turbine à gaz, le compresseur servant à comprimer le gaz pendant son fonctionnement, pour le bien de ces équipements plusieurs systèmes anti-incendie sont disposés.

Parmi ces systèmes, on applique le système anti-incendie à eau et d'autres systèmes, on applique le système extincteur au gaz carbonique (CO2).

A. Le système anti-incendie à eau :

Ce système se compose essentiellement d'un grand réservoir d'eau et d'un ensemble de pommes centrifuges pour l'alimentation du réseau d'eau anti-incendie. Les pompes sont entraînées par des moteurs électriques, d'autres pompes sont entraînées par des monteurs diesels en cas de rupture du réseau électrique.



Figure-V-2: Le système anti-incendie à eau

B. Le système extincteur au gaz carbonique CO2 :

Ce système extincteur au CO2 éteint le feu en réduisant la teneur en oxygène dans le compartiment de la proportion normale de 21 % à moins de 15 % une concentration insuffisante pour permettre la combustion.

Le gaz CO2 est fourni par un groupe bouteilles à haute pression ou par un groupe crado à basse pression à un système de distribution amenant le gaz CO2 à des buses de décharge situées aux divers compartiments du groupe.

Le mécanisme de décharge ouvrent les bouteilles du gaz CO2 est actionné automatiquement par un signal électrique provenant de détecteurs d'incendie sensible à la chaleur, installés à des emplacements judicieux dans les divers compartiments du groupe.

Le système peut être également actionné manuellement en cas de pannes l'électricité.

La mise en marche de ces deux systèmes provoque le déclenchement de la turbine.

Pour que le système de gaz carbonique soit efficace, les panneaux des compartiments doivent être en place et les portes doivent être fermées. Il y'a suffisamment de gaz CO2 dans le système pour compenser les fuites par les ouvertures de ventilation inévitables dans le

calorifugeage du groupe, mais il n'y a pas assez pour qu'on puisse tolérer la perte non contrôlée par les panneaux.



Figure-V-3: Le système extincteur au gaz carbonique CO2

Avertissement

Le gaz CO2 à une concentration suffisante pour produire l'extinction d'un incendie et établit une atmosphère. Il est extrêmement dangereux d'entrer dans un compartiment à la suite d'une décharge de gaz carbonique.

Toute personne ayant perdu connaissance par suite d'exposition au gaz CO2, doit être secourue aussi rapidement que possible et faire l'objet d'une réanimation par respiration artificielle.

La nature et le type des précautions, ainsi que possible et faire l'objet d'une réanimation par respiration artificielle.

La nature et le type des précautions, ainsi que l'avertissement au personnel qui seront particulières à chaque installation.

Il est recommandé que le personnel ait reçu une formation approprié sur la conduite à suivre dans tel cas d'urgence.





Figure-V-4: Bouteilles CO2 SKID FOR TURBO COMPRESSOR AND POWDER

C. Système anti pompage :

La protection anti-pompage est un système qui devrait assure dans tous les cas un débit minimal dans le compresseur au moyen d'une régulation commandant une vanne de recyclage dite vanne anti pompage, elle permet d'éviter des dégâts matériels très grave.

V.7.2. Instruments de contrôle et de sécurité :

En plus des systèmes anti-incendie il existe des instruments installés sur les compresseurs fait l'objet de garder les machines en bon état de fonctionnement et en toutes sécurité cela en les faisant surveiller de façon continue.

Tous les instruments de contrôle doivent-être réglés précisément pour obtenir un fonctionnement sûr.

a. Les capteurs de déplacement axial :

Les butées en caisse une certaine poussée axiale, cette dernière entraînera une assure du palier se traduisant par un déplacement axial.

Les capteurs sont placés sur le corps du compresseur et ils sont chargés de détecter un déplacement maximum du compresseur de façon à éviter des frottements entre les parties de contact.

b. Les capteurs de vibrations :

Pour les vibrations radiales ; des sondes sont placées au voisinage du palier porteur, leur rôle est de surveiller les vibrations radiales en continu, et d'évite la destruction de la machine.

c. Les capteurs de températures :

Ces capteurs sont placés au niveau des paliers porteurs et de palier de butée afin d'éviter le surchauffent des pièces ce qui provoque le déclenchement de l'unité.

La température de l'huile à la sortie du dispositif d'étanchéité est mesurée à l'aide des thermomètres placés sur la conduite de drainage de celle-ci.

d. Les capteurs de Gaz :

Pour détecter le gaz, des détecteurs de gaz sont placés et leur rôle est de surveiller en permanence le gaz gaspillé pour éviter les accidents.

V.8.Exemple réel d'un accident de travaille dans une installation de compression :

Une chute libre d'un vérin et du moufle suite au cisaillement du câble s'est produit lors l'opération du remontage au cours d'une révision niveau 2 d'un compresseur centrifuge dans l'installation de station de Réinjection centre à Hassi R'mel.



Figure-V-5 : Réel d'un accident de travaille

V.9.Quelques dangers que nous puissions trouver dans nos installations :

- Travailler avec des outils et des machines.
- Travail en hauteur.
- Travaux électriques.
- Exposition au bruit ou aux vibrations.
- Supporter des charges à des hauteurs élevées. [3]

Conclusion :

Ce chapitre a mis en lumière l'importance cruciale de la sécurité dans l'exploitation du compresseur BCL 405 C. En examinant les différents aspects de la sécurité, depuis la prévention des accidents jusqu'à la mise en place de mesures de protection efficaces, nous avons souligné l'impératif de maintenir des normes rigoureuses pour assurer la sécurité des opérateurs, de l'équipement et de l'environnement. Les analyses approfondies des risques potentiels et des protocoles de sécurité ont permis de mieux appréhender les défis spécifiques rencontrés dans l'utilisation de ce compresseur. En intégrant ces connaissances dans nos pratiques opérationnelles, nous sommes mieux équipés pour prévenir les incidents et garantir un fonctionnement optimal et sécurisé de l'équipement. Les recommandations formulées dans ce chapitre offrent des pistes concrètes pour renforcer encore davantage la sécurité du compresseur

BCL 405 C, contribuant ainsi à la préservation de la santé et de la sûreté des travailleurs et à la protection de l'environnement.

Conclusion générale

Conclusion générale

La durée de vie des équipements en cours d'exploitation est largement conditionnée par la maintenance, étant donné que la fiabilité opérationnelle de ces derniers repose sur les procédures de maintenance mises en place : une maintenance régulière entraîne une fiabilité opérationnelle accrue.

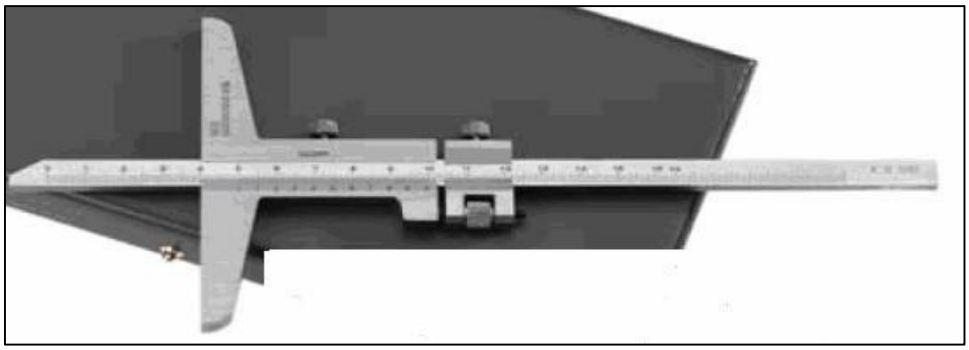
À travers le calcul de la fiabilité du compresseur, nous avons pu établir la distribution de ses défaillances et estimer ses paramètres de fiabilité tels que la probabilité de bon fonctionnement, le taux de défaillance et le MTBF. Les résultats obtenus ont indiqué une loi exponentielle, signifiant que le compresseur se situe dans la phase de maturité de la courbe en baignoire, suggérant ainsi qu'une maintenance corrective accompagnée d'une maintenance préventive systématique selon les recommandations du constructeur est appropriée.

Sur la base de ces calculs, nous proposons de prolonger les intervalles de maintenance du compresseur, passant de 16000 heures à 28000 heures pour une réparation complète, de 8000 heures à 14000 heures pour une réparation partielle, et de 2000 heures à 7000 heures pour les visites, dans le but de réduire les interventions sur le compresseur.

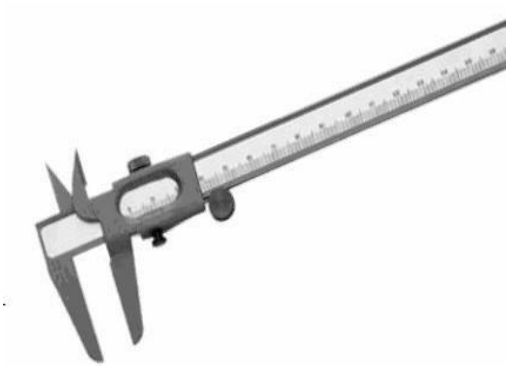
Étude de la sécurité du compresseur BCL 405 C met en évidence l'importance cruciale de maintenir des normes rigoureuses pour assurer la sécurité des opérateurs, de l'équipement et de l'environnement. Les évaluations des risques potentiels et l'élaboration de protocoles de sécurité permettent une meilleure compréhension des défis spécifiques rencontrés dans l'utilisation de ce compresseur. En intégrant ces connaissances dans nos pratiques opérationnelles, nous sommes mieux préparés pour prévenir les incidents et garantir un fonctionnement optimal et sécurisé de l'équipement. Les recommandations fournies dans ce chapitre offrent des orientations concrètes pour renforcer la sécurité du compresseur BCL 405 C, contribuant ainsi à la préservation de la santé et de la sûreté des travailleurs, ainsi qu'à la protection de l'environnement. Cette étude a également enrichi nos connaissances théoriques sur les compresseurs centrifuges, ce qui nous permettra d'améliorer nos pratiques dans l'industrie pétrolière algérienne.

Annexe

Annexe-1



Jauge profondeur



Pied à coulisse



Jeu de cale



Comparateur à cadran



Micromètre extérieur "Palmer "

Annexe-2 Kolmogorov-Smirnov table

n\α	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	$\frac{1.94947}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.62762}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.51743}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.35810}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22385}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.13795}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07275}{\sqrt{n}}$

Bibliographie

[1] : BELGHARBI Akram et BOUCCEREDJ Aymen ; Instrumentation et Automatisation du four H101 sous YOKOGAWA CS3000 ; MEMOIRE ; Université Guelma ; 2021/2022.

[2] : Documentation interne SONATRACH.

[3] : Mr. AMOURA FAOUZI ; REVISION N2 D'UN COMPRESSEUR RC8-7B ET PROCEDURE DE REMONTAGE DE LA GARNITURE SECHE DE TYPE « Eagle Burgmann » ; En vue d'obtention du diplôme de technicien supérieur spécialisé en maintenance des compresseurs ; SONATRACH ; Direction Régionale Hassi-R'mel Direction Maintenance Service Maintenance des compresseurs ; 2015/2017

[4] : ZERROUKI Salah-eddine ; La maintenance préventive du compresseur BCL 606 A "03K-901-A " de la station boosting nord MPPIII ; Rapport du Stage d'induction ; SONATRACH ; Direction Régionale Hassi-R'mel Direction Maintenance Service Maintenance des compresseurs ; Mars2017.

[5] : SONATRACH ; Documentation mémoire achevé ; Manuellement.

[6] : BENIKHLEF Mohamed et MOHAMMEDI Ahmed Razqi ; ETUDE RENOVATION DE TURBINE A GAZ MS5002C DE HASSI RMEL ; MEMOIRE de Mastère ; Université Abou BakrBelkaid Tlemcen 2013/2014.

[7] : Ouldamer salim ; Etude et régulation du phénomène de pompage dans lecompresseur centrifuge BCL405/C avec implémentation de l'algorithme anti-pompage sur automate S7/300‹‹Station Nord de Hassi R'mel›› ; Mémoire de fin d'études Présenté en vue de l'obtentiondu Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique ; UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU ; 2008/2009.

[8] : DJEBLI Abdelhamid ; Etude de la poussé axiale des compresseurs centrifuges BCL 606 A de la Station de Boosting Centre « S.B.C » ; Mémoire de Fin de Formation/Induction d'Ingénieur ; SONATRACH ; 2017.

[9] : ABAIDI ADEL ; Étude d'amélioration de productivité du compresseur CD301A au niveau de l'unité d'OHANET ; Mémoire de mastère ; Université KASDI-MERBAH Ouargla ; 2021/2022.

[10] : SONATRACH ; Maintenance préventif de compresseur centrifuge BCL 405/C ; Documentation ; Manuellement.

[11] : httpsdspace.univ-guelma.dzjspuibitstream1234567895741Cours_FRIHI_Djamel.pdf

[12] : memoire-finale-MAHFOUD-BRAHIM.pdf (univ-annaba.dz)

[13] : cours maintnance industielle univ medea

[14] : http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/12286

[15] : http://dspace.univ-medea.dz/handle/123456789/1853

[16] : Ghilani Houssam Eddine et Krama Imad Eddine ; Etude de maintenance et entretien d'un compresseur centrifuge ; MEMOIRE de Mastère ; UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET ; 2018/2019 .

[17] : https://www.ifptraining.fr/maintenance-des-compresseurs.html

[18] : ADA BOUDJEMA et HAMEL HAMIDA ; ETUDE TECHNICO ECONOMIQUE D'UN RENOUVELEMENT DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION d'une TURBINE à gaz MS5002C ; Mémoire de fin d'études de Master ; UNIVERSITE DE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU ; 2015/2016.

[19] : MOSLI HASSENE et BEN SEDDIK DJAMAL EDDINE et BRAHIMI SMAIL ; Etude de turbine à gaz MS5002b ; Mémoire MASTER PROFESSIONNEL ; UNIVERSITE Kasdi Merbah – Ouaregla ; 2012/2013.

[20] : SONATRACH ; maintenance préventive de compresseur BCL 405c ; Documentation ; Manuellement.

[21] : AMOURA Faouzi ; REVISION N2 D'UN BCL405C ; Rapport d´activité ; SONATRACH ; 2016.

[22] : R. Lesobre, "Modélisation et optimisation de la maintenance et de la surveillance des systèmes multi-composants Applications à la maintenance et à la conception de véhicules industriels". Thèse de Doctorat, Université Grenoble Alpes, France, 2015.

[23] : A. G. Mihalache, "Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué,". Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 2007

[24] : Mr SLIMANI MOKRANE ; Etude et maintenance d´un compresseur centrifuge du type BCL 405/C BOOSTER ; Mémoire fin d'études du diplôme de D.E.U.A EN ; Institut national des hydrocarbures et de la chimie BOUMERDES ; 1993.

[25] : AFNOR, "Terminologie relative à la fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité. X NF, 60- 500," 1988.

[26] : S. Wang, M. Tomovic, and H. Liu, “Comprehensive Reliability Design of Aircraft Hydraulic System,” Elsevier, 2016

[27] : J. C. Francastel, “Externalisation de la maintenance : Stratégies, méthodes et contrats,” Dunod, Paris, 2003.

[28] : A. Bouzouada, “Etude et application des techniques de l'intelligence artificielle d'optimisation pour la maintenance des réseaux électriques dans le cadre de la MBF (Maintenance basée sur la fiabilité) ,”. Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2021.

[29] : O. Tebbi, “Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés,”. Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 2005.

[30] : R. Lesobre, K. Bouvard, C.Bérenguer, V. Cocquempot et A. Barros, “Politique de maintenance dynamique pour un système multi-composant intégrant les informations de surveillance Dynamic maintenance policy for a multi-component system integrating the monitoring information,” in 19e Congrès de Maîtrise des Risques et Sûreté de Fonctionnement - 21-23 octobre, 2014, pp. 1–10.

[31] : A. M. Razali, A. A. Salih, A. A. Mahdi, A. Zaharim, K. Ibrahim and K. Sopian, “On Simulation Study of Mixture of Two Weibull Distributions,” in Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING (ICOSSSE ’08), ISSN: . 181., 2008, pp. 1790–2769.

[32] : E. Carlucci and and L. Tognarelli, “Mixed Weibull distribution as best representation of forced outage distribution to be implemented in blocksim,” Proceedings of the ASME 2014 Power Conference, Baltimore, Maryland, USA , 2014.

[33] : J. C. Francastel, “Ingénierie de la maintenance : de la conception à l’exploitation d’un bien,” DUNOD, 2003.

[34] : J. Berthon, “Nouvelle approche de la fiabilité opérationnelle,”. Thèse de Doctorat,” Université de Bordeaux 1 France. Birnbaum, 2008.