



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *électromécanique*

Spécialité : *maintenance industriel*

Par : GHORMA Ibrahim

AMRAOUI Aissa

Thème

**Maintenance et Révision Générale d'un Compresseur
Centrifuge BCL 504 du Centre RHOURDE NOUSS**

Soutenu publiquement le 03/10/2020

Devant le jury :

BOUKHARI Hamed	MCB	Univ.Ghardaïa	Président
ZITANI Ibrahim	MAA	Univ.Ghardaïa	Examineur
MOSBAH Abde Alkarime Charef	MAB	Univ.Ghardaïa	Examineur
MOUATS Sofiane	MAA	Univ.Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions notre Dieu qui nous a donné la force et la volonte de réaliser ce modeste travail.

d'abord, nous tenons à remercier messieurs les membres du jury pour leurs collaborations durant l'examen de ce travail et leurs participations à la soutenance.

Nous adressons tout particulièrement notre reconnaissance à notre promoteur MR: **MOUAT Sofiane pour la direction de cette thèse , pour ses conseils et son aide. Sans oublier les enseignants de la faculté des Maintenance Industrielle.**

Nos remerciements tous les techniciens de *SONATRACH*, Pour leurs orientations, leurs précieuses aides et leur suivi permanent durant toute la période du stage .

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

**GHORMA Ibrahim
AMRAOUI Aissa**

Dédicaces

Je dédis ce modeste mémoire :

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

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

A mes frères et sœurs ;

A tous mes amis sans exception ;

*A toute l'équipe de Rhourde-Nouss qui m'ont
aidé pendant la durée du stage.*

Et à la fin on dédie très chaleureusement : Mr.

MOUATIS Sofiane

BRAHIM

DÉDICACES

JE DÉDIS CE MODESTE MÉMOIRE :

À MA MÈRE, FATIMA BELMABROK QUI M'A ENCOURAGÉ

D'ALLER EN AVANT ET QUI M'A DONNÉE TOUT

SON AMOUR POUR REPRENDRE MES ÉTUDES ;

À MON PÈRE AHMED AMRAOUI QUI M'A DONNÉ SON

SOUTIEN PERMANENT DURANT TOUTES MES ANNÉES D'ÉTUDES ;

À MES FRÈRES ET SŒURS ;

À MA TANTE ALAMRAOUI MARIEM

À TOUTS MES AMIS (TALHA , AZOZ , ABDORAHMAN , RAMDAN ,

BILAL , BRAHIM)

À TOUTE L'ÉQUIPE DE RHOURDE-NOUSS QUI M'ONT

AIDE PONDANT LA DURÉE DU STAGE.

AISSA

Lise de tableau

Tableau I.1: Capacité de traitement de l'unité Rhourde Nous.....	7
Tableau II.1. type d' installation et gaz traité	20
Tableau III .1 Paramètres de fonctionnement	48
Tableau III .2 Les caractéristiques du gaz	50
Tableau III .3. paramètre d' aspiration et refoulement.....	51
Tableau III .4 Les résultats de calcul de pression	55
Tableau III.5 Les résultats de calcul de température	56
Tableau III.6 Liste des contrôles pour entretien.....	59
Tableau III.7 cause et remède de panne.....	60

Lise de figure

Figure. I.1: Situation géographique de la région	2
Figure I-2 : L’organigramme de la région de Rhourde-Nouss.	4
Figure I-3: L’organigramme de la division Maintenance.	6
Figure I.4: Schéma Réseau collectes des puits producteurs de Phase A.	8
Figure I.5: Schéma simplifié de puits injecteurs de gaz.	9
Figure I.6: Schéma Réseau collectes des puits producteurs (QH).	9
Figure I.7: Réseau collectes des puits d’huile.	10
Figure I.8: Schéma simplifié du procédé Phase A et B, CSC, CPF.	12
Figure I.9: Schéma simplifié de la phase « A » et « B »	12
Figure II.1 schéma d’un compresseur centrifuge	21
Figure .II.2. Diffuseur et volute.....	22
Figure .II.3. Diffuseur et volute.....	22
Figure II.4. Stator à plan de joint vertical	24
Figure II.5 rotor de compresseur BCL 504	25
Figure II.6 Le diaphragme BCL 504	27
Figure II.7 Les différents types de roues	28
Figure II.8 Principe de fonctionnement d'une roue	29
Figure II.9 le tambour d’équilibrage	30
Figure II.10 Collet du palier de butée	30
Figure II.11 Palier de butée	32
Figure II.12 Palier porteur	33

Figure II.13 Garnitures à labyrinthe	34
Figure II.14 Garnitures d'étanchéités d'huile	35
Figure II.15 Garniture mécanique	36
Figure II.16 champ de régulation d'anti pompage d'un compresseur centrifuge	39
Figure III-1 le diagramme (h, s)	43
Figure III-2 le diagramme (p, v)	44
Figure III.3 Déposer le cache accouplement.....	65
Figure III.4 Repérer tous les boulons de la bride de tête	66
Figure III.5 uniformément pour faire sortir la bride... ..	67
Figure III.6 le dispositif d'extraction du paquet diaphragme	67
Figure III.7 dévisser les vis d'assemblage	68
Figure III.8. Soulever avec précaution le rotor bien équilibré	68
Figure III.9. Démonter les diaphragmes et les déposer sur des madriers	69
Figure III.10. Nettoyer tous les éléments de l'aérodynamique	69
Figure III.11 Inspecter l'état des patins paliers (porteurs et butées)	70
Figure III.12. Faire un contrôle dimensionnel de l'arbre	70
Figure III.13 Remontage des diaphragmes	71
Figure III .14 Mettre en place les nouveaux labyrinthe	71
Figure III.15 Centrage d'un rotor du compresseur	71
Figure III.16 Assembler l'aérodynamique	73
Figure III.17 Monter l'ensemble des étanchéités à l'huile	74
Figure III.18 Monter le collier de butée	74
Figure III.19 Monter le palier de butée active	75
Figure III.20 Mesurer le déplacement axial final	75

Nomenclature

Abréviation	Signification
RNS :	Rhourde-Nouss
UTG :	Usine Traite le Gaz
HEH :	HAOUDH ELHAMRA
QH- CPF :	Centre de traitement de gaz Quartzite de Hamra
CSC :	Centre de compression et de séparation
GR4 :	gazoduc du réseau de transport
BCL :	barrel close diffuseur libres
HP :	HAUTE PRESSION
MP :	Moyenne pression
BP :	Basse pression
MN :	Maintenance
Q :	la quantité de chaleur
W :	le travail
Ω :	Vitesse d'angulaire du gaz
m :	La masse
h :	l'énergie cinétique
η :	le rendement

Résumé

Ce travail est basé sur la manière d'effectuer une maintenance générale sur le terrain ou une révision de la machine compresseur BCL504 en cas de dysfonctionnement ou de détection d'un défaut après son processus d'inspection ou si elle atteint le seuil d'alarme tel que température élevée due à l'exploitation semi-permanente dans les sociétés extractives en appliquant la méthode utilisée dans la société Sonatrach. B Calcul de la thermodynamique de ce compresseur .

Mots clé : maintenance, révision , compresseur, inspection , thermodynamique .

ملخص

يرتكز هذا العمل على كيفية القيام بصيانة أو مراجعة عامة بطريقة ميدانية لآلة الضاغط BCL 504 في حالة إذا حصل له عطل أو اكتشاف خلال بعد عملية تفتيشه أو في حال بلوغه إلى عتبة التنبيه كارتفاع درجة الحرارة نظرا للاستغلال شبه الدائم في الشركات الإستخراجية بتطبيق الطريقة المتبعة في شركة سونا طراك مرفق بحساب الديناميكا الحرارية الخاصة بهذا الضاغط .

الكلمات المفتاحية : صيانة ,مراجعة ضاغط, تفتيش, ديناميكا الحرارية .

Abstract

This work is based on how to perform general field maintenance or overhaul of the BCL504 compressor machine in case of malfunction or detection of a fault after its inspection process or if it reaches the alarm threshold. such as high temperature due to semi-permanent exploitation in extractive companies by applying the method used in Sonatrach company. Attached with Calculation of the thermodynamics of this compressor .

Key words: maintenance, overhaul, compressor, inspection, thermodynamics .

Sommaire

Liste des Tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	IV
Résumés	V
Sommaire	VI
INTRODUCTION GENERALE	01

Chapitre I : champ de Rhourde-Nouss

Introduction	02
I.1. Situation géographique	02
I.2. Historique	03
I.3. Principaux champs de la région.....	3
I.4. Organisation et structure de la région	4
I.4.1. Missions Division Maintenance de la direction régionale de RNS.....	5
I.4.2. Mission De Service Mécanique Industrielle.....	6
I.5. Description du complexe de Rhourde-Nouss.....	7
I.5.1. Capacité de traitement de l'unit.....	7
I.5.2. Réseaux de collecte.....	8
I.6. Les différents complexes de la région.....	10
I.6.1. La phase A (UTG)	10
I.6.2. La phase B (GPL)	11

I.6.3. Centre de compression et de séparation (CSC).....	11
I.6.4. Centre de traitement de gaz (QH) (CPF).....	11
I-7-Présentation de la division maintenance	13
I-7-1- Mission de service Mécanique Industriel.....	13
I-7-2- Mission de service Turbo-Machine.....	14
I-7-3-Mission de service d'Electricité Industriel.....	14
I-7-4-Mission de service instrumentation.....	15
I-7-5-Mission de service inspection et corrosion.....	15
I-7-6-Mission de service méthode.....	16
Conclusion	17

Chapitre II : les compresseurs BCL504

Introduction	19
II.1.Définition de compresseur centrifuge	19
II-2-Utilisation des compresseurs centrifuges dans les domaines industriels	19
II-3-Constitution des compresseurs centrifuges.....	20
II.4.Principe de fonctionnement du compresseur centrifuge.....	21
II-5-Etude d'un compresseur centrifuge « BCL 504/A »	23
II-5-1-Identification	23
II-5-2-Caractéristiques de construction des compresseurs centrifuge (BCL).....	24
II.5.3.Types de Garnitures.....	34
III .6.Phénomène de pompage.....	37
III.6.1. Définition	37
III.6.2.Les causes possibles de pompage dans un compresseur centrifuge sont	37
III.6.3.Conséquences du pompage	37

III.6.4. Les symptômes du pompage	38
III.6.5. Protection contre le pompage.....	38
III.6.6. Régulation d'anti pompage.....	39
Conclusion.....	40

Chapitre III : calcule et Maintenance

1^{er} PARTIE: CALCUL

III-1-Etude thermodynamique de la compression du gaz.....	41
III .1.1.but du calcul thermodynamique	42
III-1-2-Travail de compression des gaz	45
III-1-3-Rendement thermodynamique d'un compresseur	47
III-2-Masse molaire du mélange gazeux.....	51
III-3-Détermination des grandeurs nécessaires au calcul thermodynamique.....	51
III-4- Calcul de différents travaux	53
III-4-1-Travail adiabatique.....	53
III-4-2-Travail polytropique.....	53
III-4-3-Travail réel	54
III-5-Calcul des rendements.....	54
III-5-1-rendement adiabatique.....	54
III-5-2-rendement polytropique.....	54
III-5-3-rendement global	54
III-6-Calcul des pressions intermédiaires.....	54
III-7-Calcul des températures intermédiaires.....	56

2^{ème} PARTIE : Maintenance

Révision générale d'un compresseur centrifuge BCL 504

Introduction.....	57
III.8. Maintenance préventive Programmée	57
III.9.Maintenance préventive conditionnelle	61
III.9.1.Recherche des pannes	62
III.10.Etapes de la révision	64
III.10.1. Moyens nécessaires	64
III.10.2.Travaux de préparation	65
III.10.3.Démontage.....	65
III.10.4.Nettoyage et inspection	69
III.10.5.Remontage	70
III.10.6.Test de démarrage	76
Conclusion	76
Conclusion général.....	77

Introduction général

Actuellement l'Algérie se trouve en force de grands changements dans l'économie nationale. Le développement de différentes industries (lourde, légère, de l'énergie, de la chimie et de la pétrochimie, etc ...) ainsi que l'économie de l'agriculture exigent un système d'appareillage qui permet d'améliorer le travail, accélérer les rythmes de productivité, augmenter le volume des produits finis.

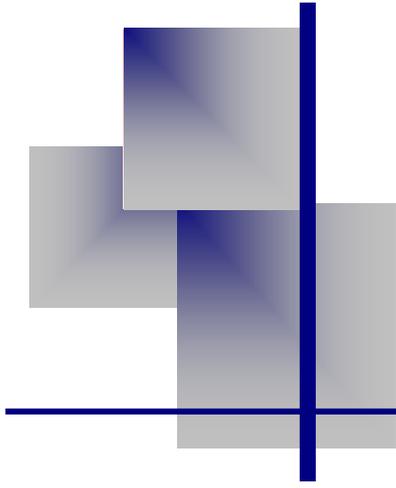
Donc l'industrie pétrolière, l'exigence permanente de la qualité des produits finis et les impératifs ont obligé la **SONATRACH** à investir gros dans la poursuite et l'intensification des efforts d'exploitation des zones dites à gaz et l'amélioration du taux de récupération des réserves en place, et pour garantir la continuité de la production, la SONATRACH à récemment adopté une nouvelles politique de partenariat étranger en vue d'une amélioration de la production afin d'acquérir une bonne maîtrise des technologies nouvelles apportées par ces compagnies pétrolières.

Le thème de notre projet est initiation au calcul du compresseur centrifuge de type BCL 504, élaboration d'un plan de maintenance, les objectifs visés sont établir un calcul de performance du compresseur BCL504 et vérification de ces paramètres caractéristique, les étapes de l'étude seront décrire comme suit :

Dans un **premier chapitre**, on présentera d'une façon détaillée le champ de RHOURDE-NOUSS .

Dans **le second**, on s'intéressera d'une façon générale sur compresseurs centrifuges BCL504 et Phénomène de pompage .

Le troisième chapitre on va faire le calcul des performances du compresseur (calcul thermodynamique) avec la performance de la0 révision .



Chapitre I

Présentation de la Région

Université Ghardaïa

2019 /2020

Introduction :

Dès sa découverte en Algérie, le pétrole a pris une grande importance dans l'économie nationale vu ses revenus d'exportation. L'Algérie a investi sur plusieurs champs où le champ de Rhourde Nouss était deuxième des premiers champs exploités. Dans le cadre du développement des gisements de pétrole, la SONATRACH a récemment adopté une nouvelle politique de partenariat étranger en vue d'une amélioration de la production destinée à plus de 84% à l'exportation afin d'acquérir une bonne maîtrise des technologies nouvelles apportées par des compagnies pétrolières telles que ANADARCO, ARCO, BRITISH PETROLEUM etc. . .

I.1. Situation géographique :

La région de Rhourde-Nouss fait partie de la Willaya d'ILLIZI. Elle est située à 350 Km au Sud/Sud-est de OUARGLA, à 1200 Km au Sud/Sud-est d'ALGER et à 270 Km au Sud/Sud-est de HASSI MESSAOUD. Elle est reliée à la route nationale N3 (OUARGLA-ILLIZI) par une bretelle de 30km goudronnée. [1]

- La Direction Régionale de RHOURE-NOUSS se trouve à la lisière de l'ERG ORIENTAL avec une alternance de HAMADA (ou GASSI) et d'ERG (ou SIOUF) de direction généralement Nord/Sud.
- L'altitude moyenne est située à 275m par rapport au niveau de la mer.
- Son climat est désertique (sec avec un très faible taux d'humidité).
- Ecart important de température entre l'hiver et l'été (-5°C à 55°C).
- Elle enregistre une pluviométrie très faible (2 à 4 mm/an).
- Terrain accidenté vu la position de la région (limite de l'erg oriental).
- Fréquence importante des vents de sable.

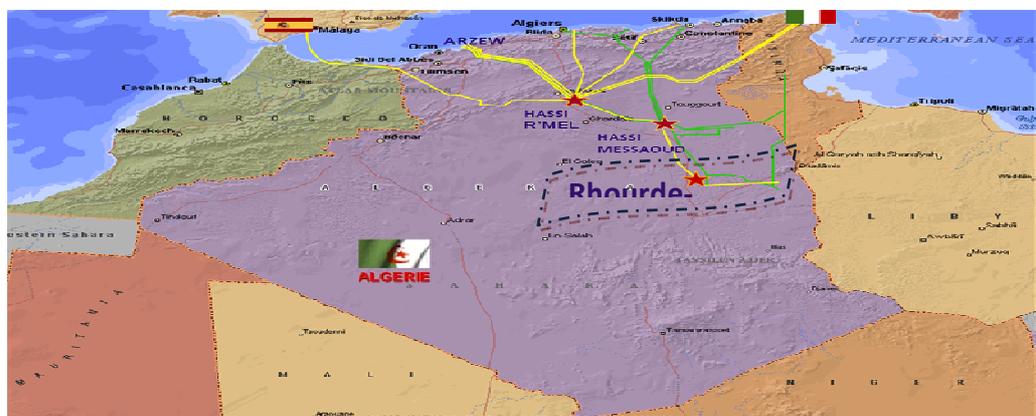


Figure. I.1: Situation géographique de la région

I.2. Historique :

Le gisement pétrolier de RHOURE NOUSS est subdivisé géographiquement en plusieurs zones nord-est, sud-est, sud-ouest, Rhourde-chouff, Rhourde-adra, Rhourde-Hamra et Hamra. La découverte du gisement remonte au 1956 suite au forage du puits RN1 qui a mis en évidence la présence d'un gaz riche en condensât à travers plusieurs réservoirs. La découverte de l'huile sur le puits RN4 en 1966 a encouragé l'exploitation du gisement qui a été traduite par la construction de deux centres de productions :

- **10-Mai-1966** : Mise en service du Centre de traitement d'huile
- **28-Jan-1988** : Démarrage de l'usine phase A
- **14-Juin-1989** : Mise en service de Rhourde Adra
- **24-Avril-1992** : Mise en service de Rhourde Hamra
- **29-Mai-1992** : Mise en service de Rhourde Chouff
- **16-Juin-1995** : Démarrage de l'usine de HAMRA
- **23-Mai-1996** : Première expédition de GPL (HAMRA)
- **13-Août-1999** : Mise en service du Cinquième train.
- **24-Fév-2000** : Démarrage Usine GPL.
- **06-Mars-2000** : Première expédition de GPL (Rhourde-Nouss)
- **2009** : Accident dans GPL (éclatement d'un train 200).
- **2011** : Installer une nouvelle unité de compression ou niveau de la phase A (U59)
- **2011** : Démarrage de l'unité CSC (centre de séparation et compression) a pour but de séparer l'huile.
- **2014** : Le lancement de l'usine CPF.

I.3. Principaux champs de la région :

Les principaux champs mis en exploitation sont :

- RHOURE-NOUSS centre ;
- RHOURE-NOUSS Nord-est ;
- RHOURE-NOUSS sud-est ;
- RHOURE-NOUSS sud-ouest ;
- RHOURE-CHOUFF ;
- RHOURE-ADRA ;
- RHOURE-HAMRA ;
- HAMRA.

D'autres champs, de moindre importance, ont été découverts et seront développés dans le futur, il s'agit de :

- Champ de Rhourde Hamra Sud-est ;
- Champ de Rhourde-Nouss 3 ;
- Champ de Mouilah ;
- Champ de Meksem ;
- Champ de Draa Allal ;
- Champ d 'Elketaia.

I.4. Organisation et structure de la région :

La région de Rhourde Nouss est subdivisée en neuf (09) divisions. Chacune d'elles, est composée de différents services qui assurent leurs différentes tâches. Une section Informatique et un secrétariat sont rattachés directement à la Direction Régionale. [1]

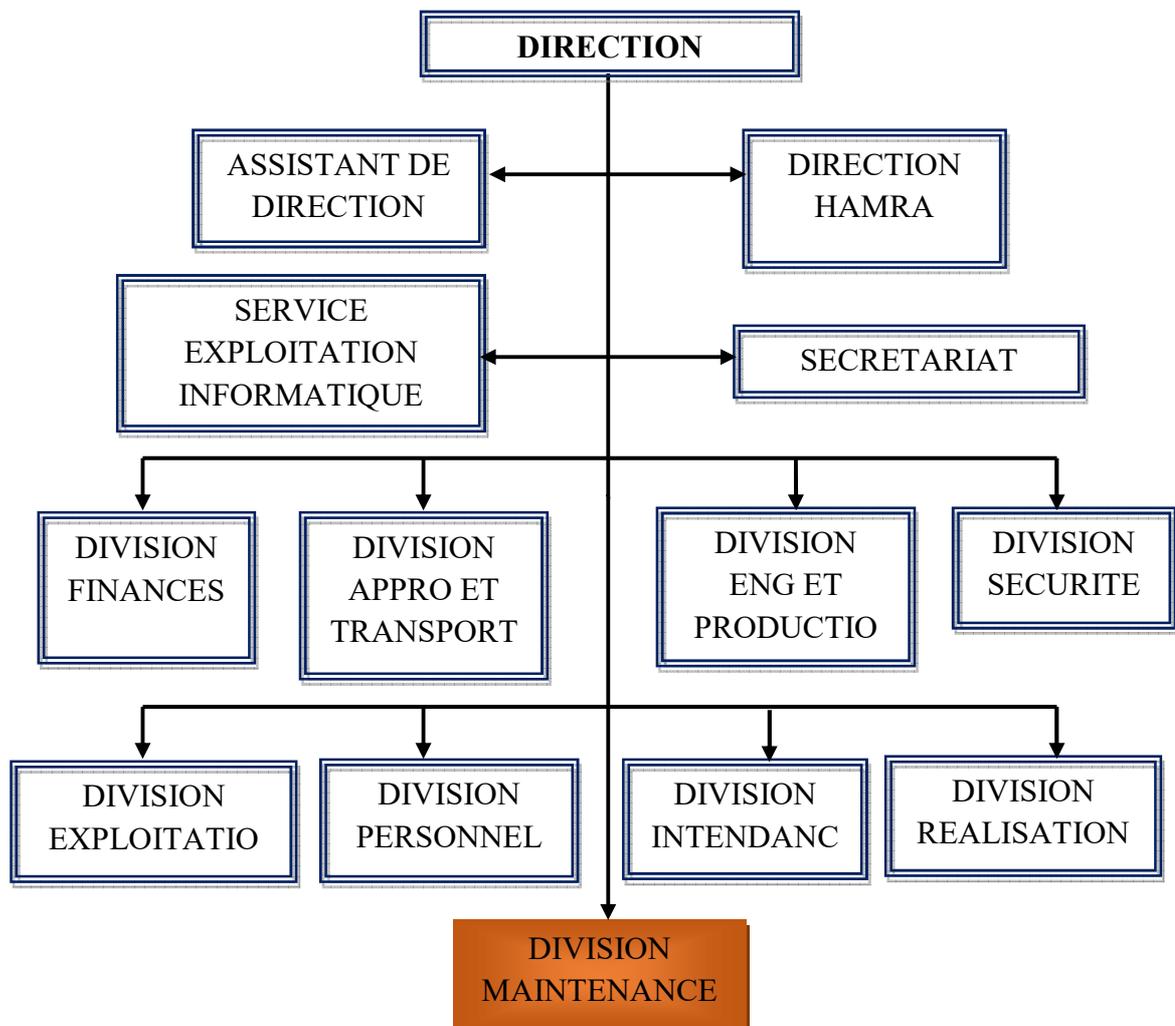


Figure I-2 : L'organigramme de la région de Rhourde-Nouss.

I.4.1. Missions Division Maintenance de la direction régionale de Rhourde-Nouss

La mission principale de la Division MN c'est de veiller à assurer le bon fonctionnement des équipements et machines des installations à travers les tâches suivantes :

- Exécution des programmes de maintenance préventifs et curatifs relatifs aux entretiens mécanique, électriques et d'instrumentation.
- Elaboration de cahiers des charges et contrats pour la préconisation en pièces de rechanges et assistance technique pour l'exploitation des systèmes de contrôle.
- Etude et analyse des pannes fréquentes sur équipements stratégiques ayant un impact direct sur la production et proposition de modification à réaliser pour une réduction du nombre d'interventions
- Suivi des fonctionnements des machines et équipements et suggestion des solutions d'amélioration en vue d'exploitation rationnelle pour un régime optimum.
- Suivi et analyse des produits bruts des différents champs.
- Suivi de l'injection et comportement des inhibiteurs de corrosion.
- Suivi et analyse vibratoire des machines tournantes.
- Suivi de la gestion des stocks des PR.
- Suivi des mesures d'épaisseurs des installations de surface et points critiques des unités de traitement dans le cadre de la lutte contre la corrosion.
- Suivi et analyses des prises de potentiel de protection cathodique.
- Maintenance des systèmes de contrôle des paramètres d'exploitation des unités de traitement et réseau anti-incendie.
- Etalonnage des instruments de contrôle, synchronisation des vannes de régulation et tarage des soupapes de sécurité.
- Elaboration et suivi la réalisation des grands travaux de maintenance].
- Exploitation d'une centrale électrique par la production et distribution d'énergie.
- Participation à la réalisation des objectifs prévisionnels de la direction régionale par l'exécution des grands travaux relatifs aux :
 - ✓ Arrêts partiel et ou général pour inspections réglementaires [triennales et ou décennales] des APG, des appareils de levage et équipements électriques [Transformateurs et mise à la terre].
 - ✓ Programmes Prévisionnels de révision des machines stratégiques [Turbines – Compresseurs – pompes d'expédition – Turbo-expanders].
 - ✓ Projets de revamping et développements du site.

- Enrichissement, actualisation ainsi élaboration des anciennes et nouvelles procédures de maintenance. [2]

ORGANIGRAMME DE LA DIVISION MAINTENANCE.

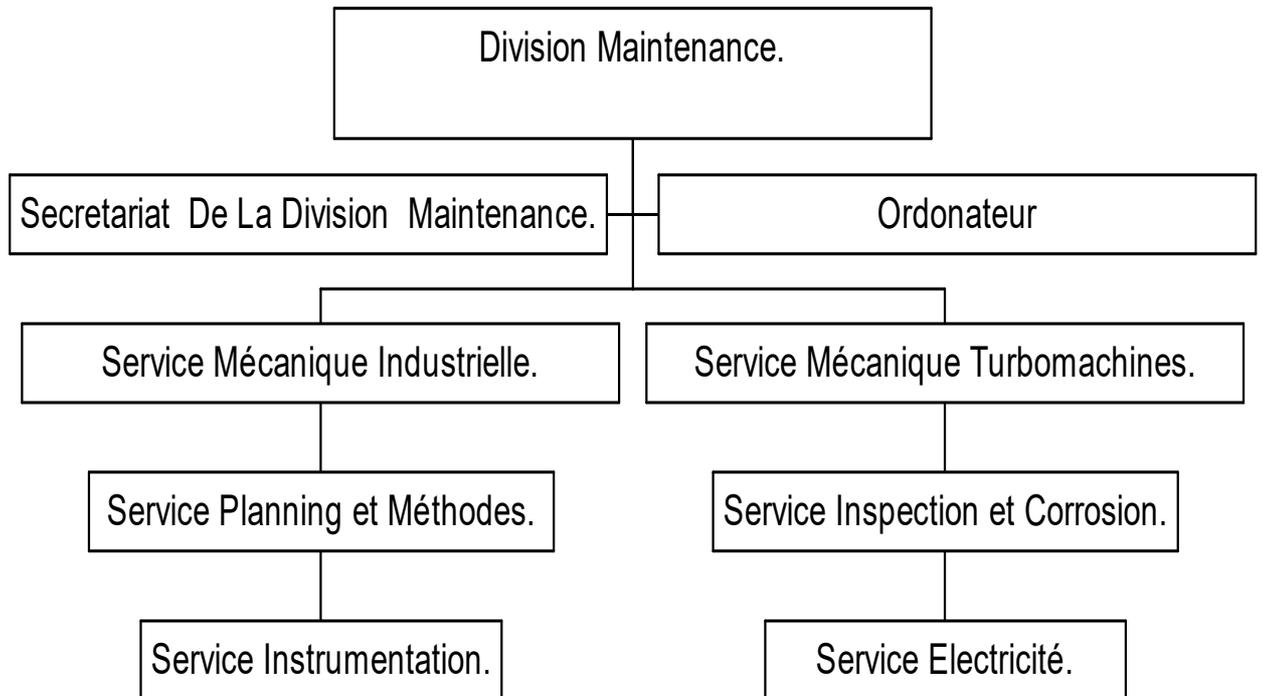


Figure I-3:L'organigramme de la division Maintenance.

I.4.2. Mission De Service Mécanique Industrielle :

- Exécution des programmes de maintenance préventive et curative des équipements statistiques et de machines tournantes des installations.
- Exécution des travaux d'usinage de fabrication mécanique de soudure et chaudronnerie pour toutes les structures et tiers.
- Exécution des travaux de calorifugeage sur les installations.
- Exécution des programmes de maintenance préventif et curative, des groupes électrogènes et moto-machine mobile.
- Participer à la réalisation des objectifs de la direction régionale à savoir :
 - ✓ Suivi des réalisations de travaux mécaniques relatifs aux inspections triennales et décennales des APG.

- ✓ Suivi et réalisations des travaux mécaniques d'arrêt partiel ou général.
- ✓ Suivi et réalisation des travaux de modification et rénovation sur les installations et approuvées par la direction régionale.
- Participation aux études d'analyses et propositions des solutions aux problèmes rencontrés sur les équipements stratégiques.
- Participation à l'élaboration des dossiers des équipements budgétaire pour le service.
- Participation et suivi des inventaires consommables et amortissables du matériel affecté au service. Elaboration des rapports d'interventions réalisées sur les installations. [2]

I.5. Description du complexe de Rhourde-Nouss :

I.5.1. Capacité de traitement de l'unité :

La capacité globale de traitement de l'unité RHOURE NOUSS est donnée dans le tableau ci-dessous : [3]

Tableau I.1: Capacité de traitement de l'unité Rhourde-Nouss.

Gaz brut	51 millions SM ³ /j
Réinjection	75%environ, soit 32 millions SM ³ /j gaz sec
Gaz commerciale	20 millions SM ³ /j
GPL	3986T/j
Condensât	3600 T/j
Pétrole brut	700T/j

I.5.2. Réseaux de collecte :

Cette production est assurée par un certain nombre de puits producteurs et injecteurs de gaz, un ensemble de collectes et manifolds :

- Puits producteurs de gaz : 83 puits ;
- Puits injecteurs de gaz : 36 puits ;
- Puits d'huile : 37 puits ;
- Collectes : 780 Km linéaire (diamètre de 4 à 20) ;
- Manifolds : 37.

I.5.2.1. Puits producteurs phase "A" :

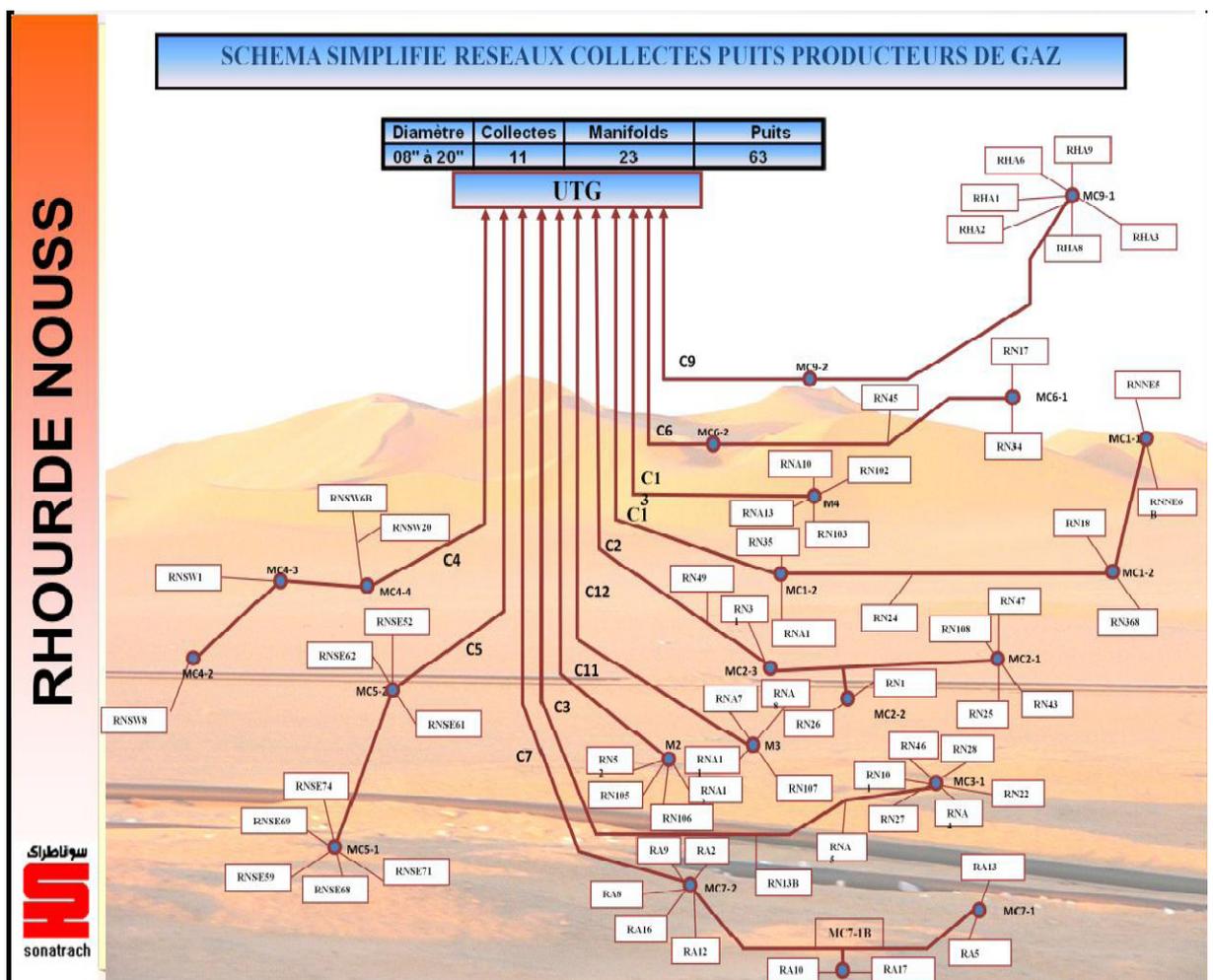


Figure I.4: Schéma Réseau collectes des puits producteurs de Phase A.

I.5.2.2. Puits ré injecteurs :

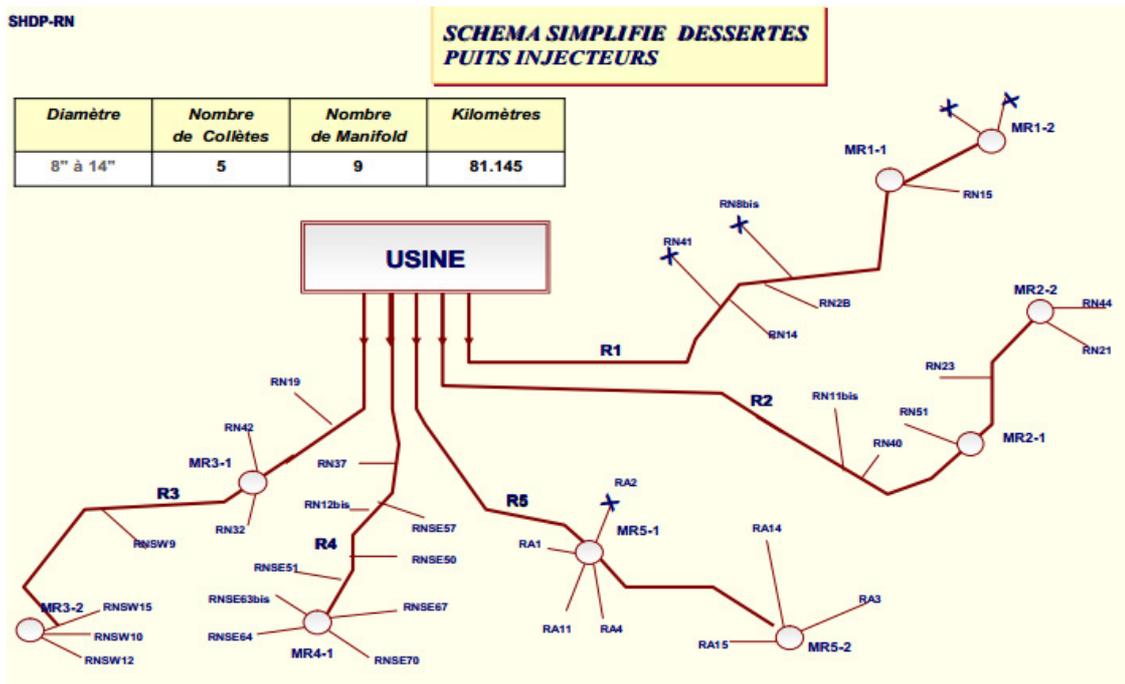


Figure I.5: Schéma simplifié de puits injecteurs de gaz.

I.5.2.3. Réseau collectes des puits producteurs (QH) :

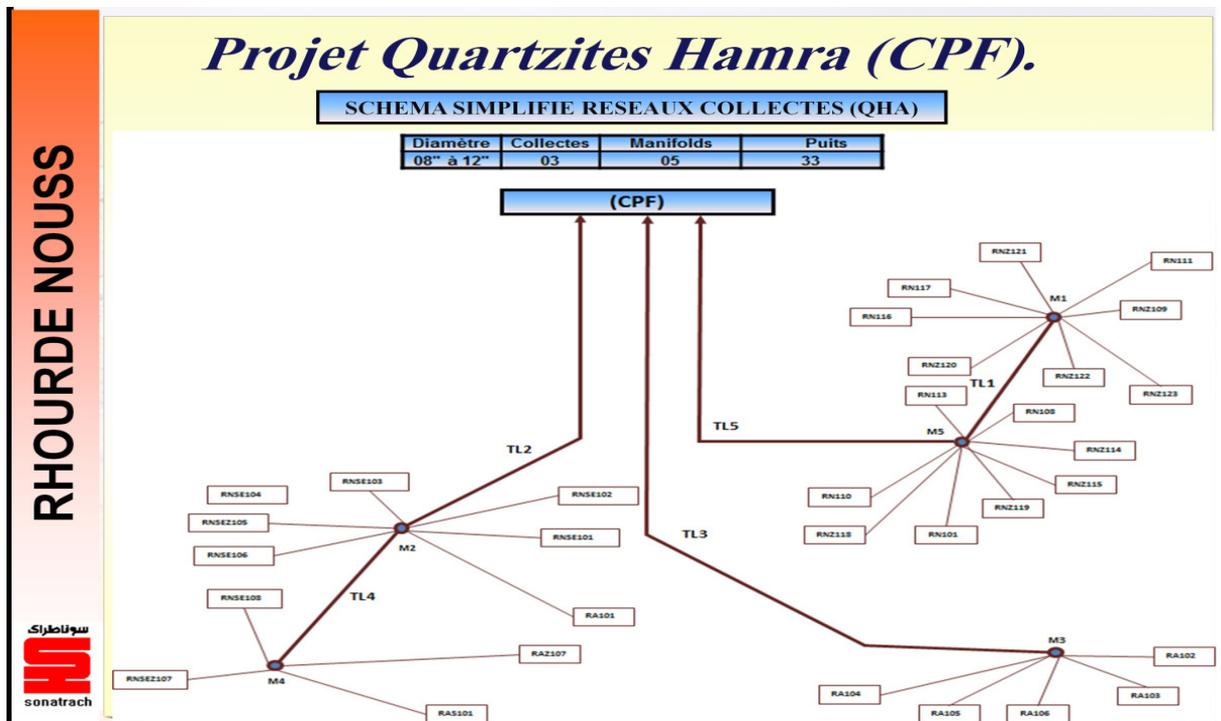


Figure I.6: Schéma Réseau collectes des puits producteurs (QH).

actuellement une charge de 51 million sm³/j de gaz brut avec une production de 3600T/j du condensât.

I.6.2. La phase B (GPL) :

Les installations de cette usine sont conçues pour récupérer le GPL contenus dans le gaz de vente produit par l'usine (phase A). Le GPL produit est envoyé dans un pipeline vers HAOUDH ELHAMRA (HEH), le condensat résultant du fractionnement est renvoyé vers la phase A et le gaz résiduaire est aussi renvoyé aux installations de la phase A pour être dirigé vers la vente et la réinjection. En ce moment, l'usine de GPL a rencontré beaucoup de mouvement à l'occasion de projet de la réhabilitation du « train 200 » ou il y a eu un incident dû à une explosion au niveau de ce dernier en décembre 2009.

I.6.3. Centre de compression et de séparation (CSC) :

Elle produit sa propre énergie électrique au moyen d'une centrale électrique de 21MW et un apport à partir de HAMRA (ligne de 60KM). Le Centre de Séparation et de Compression (CSC) a pour but de séparer l'huile, l'eau et le gaz provenant des 33 puits dans l'unité 500.

Ils sont regroupés suivant leur niveau de pression et sont connectés à trois séparateurs pour séparer le gaz et le condensat. Les gaz provenant de la ligne de tête des trois séparateurs de différentes pressions (MP, BP, TBP) sont comprimés dans le système de compression pour obtenir la pression de batterie à l'usine de gaz Rhourde Nouss, qui est de 83 bars.

Les condensats récupérés au séparateur TBP sont expédiés au dessaleur de brut, et puis sont envoyé vers la colonne de stabilisation ; après le traitement, le brut dessalé et stabilisé provenant de la colonne est stocké dans le bac de stockage de brut dans le système 22 avant expédition. L'objectif prioritaire de cette installation est la production d'huile.

I.6.4. Centre de traitement de gaz (QH) (CPF) :

Appelé méga train ou sixième train, cette nouvelle installation de traitement de Quartzite de Hamra (QH) est conçue pour traiter du gaz (base sèche) provenant de 33 puits de production dans quatre (4) champs, dans la région de Rhourde Nouss. L'usine a une production nominale de 10 millions Sm³/jour et produit du gaz résiduaire sec et un contenu de CO₂ inférieur à 2 % molaire après séparation. Le gaz d'exportation est envoyé vers le gazoduc GR4 du réseau de transport.

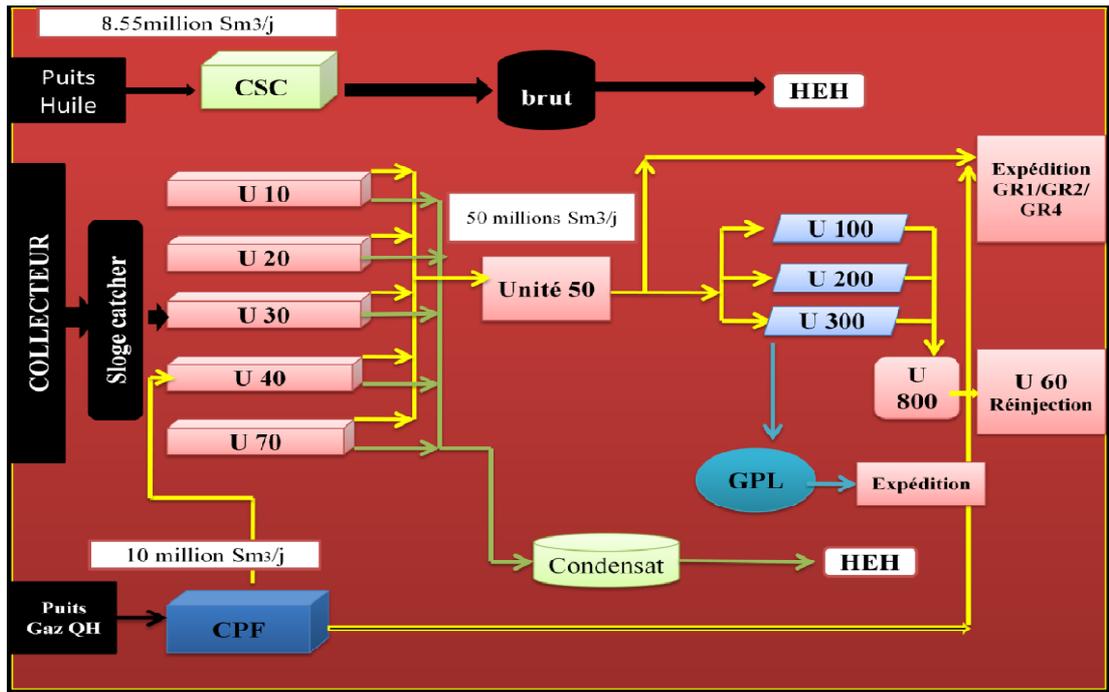


Figure I.8: Schéma simplifié du procédé Phase A et B, CSC, CPF.

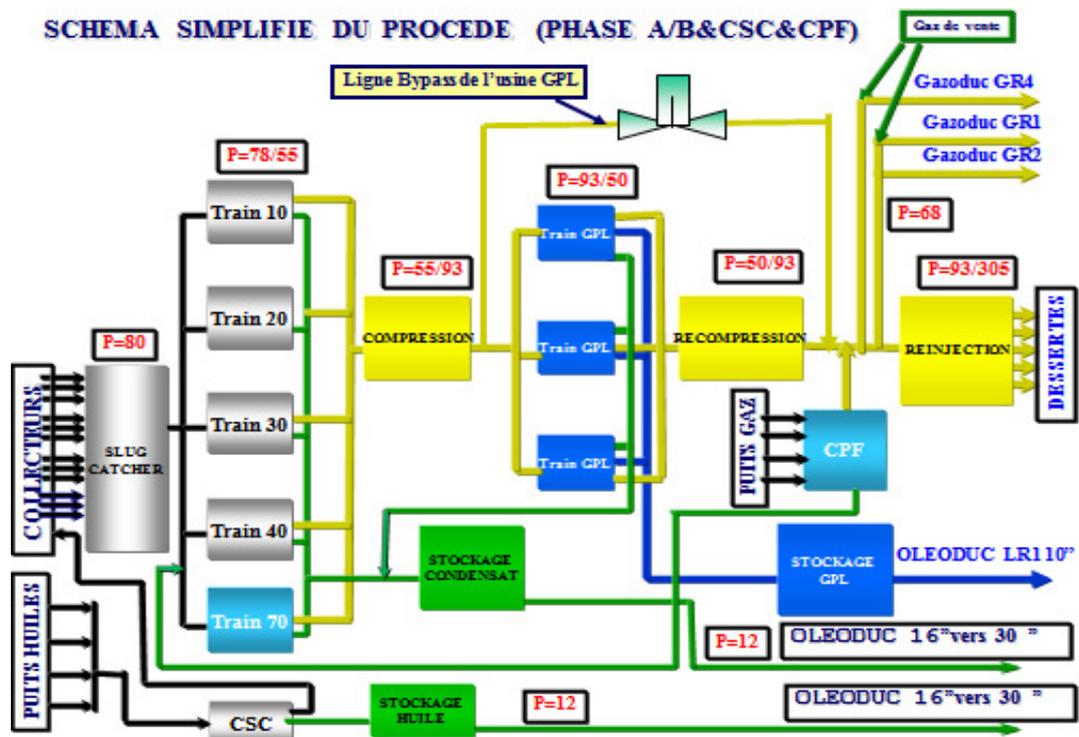


Figure I.9: Schéma simplifié de la phase « A » et « B »

I-7-Présentation de la division maintenance :

C'est une structure technique composée d'un ensemble de service, les tâches de maintenance sont réparties en fonction des spécialités, coordonnées et préparés par le service Méthodes.

Le rôle de la division maintenance est de maintenir les équipements en bon état de fonctionnement et d'assurer les capacités normales de production d'équipement[5]

La division maintenance est composée six (06) services qui sont les Suivants :

- 1. Service Mécanique Industrielle**
- 2. Service Turbo Machine.**
- 3. Service Electricité.**
- 4. Service Instrumentation.**
- 5. Service Inspection – Corrosion.**
- 6. Service Méthodes.**

I-7-1- Mission de service Mécanique Industriel :

- Exécution des programmes de maintenance préventive et curative des équipements statistique et de machines tournantes des installations.
- Exécution des travaux d'usinage de fabrication mécanique de soudure et chaudronnerie pour toutes les structures et tiers.
- Exécution des travaux de calorifugeage sur les installations.
- Exécution des programmes de maintenance préventif et curative, des groupes électrogènes et moto-machines mobiles.
- Participer à la réalisation des objectifs de la direction régionale a savoir :
 - Suivi la réalisation des travaux mécanique, relatifs aux inspections triennales et décennales des APG.
 - Suivi et réalisations des travaux mécaniques d'arrêt partiel ou général.
 - Suivi et réalisation des travaux de modification et rénovation sur les installations et approuvées par la direction régionale.
 - Elaboration de rapport d'intervention réalisée sur les installations.

I-7-2- Mission de service Turbo-Machine :

Exécution des programmes de maintenance préventive et curative des équipements statiques et machines tournantes des unités de compression et réinjection et centrale électrique. Assurer le suivi de révision des turbines effectué par les prestataires.

Participer à la réalisation des objectifs de la direction régionale a savoir :

- Suivi de réalisation des travaux mécanique d'arrêt partiel ou général relatif aux inspections triennales et décennales des APG.
- Suivi et réalisation des travaux de modifications et rénovations sur les installations et approuvées sur la direction régional.

Participation aux études d'analyses et propositions de solution aux problèmes rencontrés sur les équipements stratégiques. Elaboration des rapports d'intervention sur les installations.

I-7-3-Mission de service d'Electricité Industriel :

Exécution des programmes de maintenance préventive et curative des équipements statiques et machines tournantes des installations et champ.

Réalisation de la maintenance de système de contrôle et automate programmable.

Gérer l'exploitation de la centrale électrique.

Participer à la réalisation des objectifs de la direction régionale a savoir :

- Suivi de réalisation des travaux d'électricité durant un arrêt partiel ou général.
- Suivi et réalisation des travaux d'électricité des modifications et rénovations approuvées par la direction régionale.

Participation aux études d'analyses et propositions de solution aux problèmes rencontrés sur les équipements stratégiques.

I-7-4-Mission de service instrumentation :

Exécution des programmes de maintenance préventive et curative des équipements statiques et machines tournantes des installations et champ.

Exécution des programmes de tarage des soupapes et étalonnage des instruments de contrôle.

Exécution et suivi des réalisations des travaux d'instrumentations sur puits relatifs à la télémétrie.

Suivi et réalisation des programmes de maintenance sur le système de contrôle et automate programmable.

Participer à la réalisation des objectifs des directions régionales à savoir :

- Suivi et réalisation des travaux d'instrumentations relatifs à l'arrêt partiel ou général pour inspection triennal et décennale.
- Suivi rechange outillages matériel.

Participer à la réalisation des objectifs de la direction régionale à savoir :

- Suivi de réalisation des travaux maintenance d'arrêt partiel ou général relatif aux inspections triennales et décennales.
- Suivi de réalisation des programmes de maintenance relatifs aux modifications et rénovation approuvées par la direction régionale.

Etudes d'analyse et proposition des solutions au problème rencontré sur équipements stratégiques.

Elaboration et suivi des cahiers de charge de contrat de projet de maintenance. Suivi des appels d'offres de la division maintenance.

Elaboration des rapports d'intervention hebdomadaire, mensuelle et annuelle des grands travaux de la division maintenance.

I-7-5-Mission de service inspection et corrosion :

Elaboration et suivi du programme d'inspection triennales ou décennales des APG et machines tournantes des installations.

Elaboration et réalisation des programmes de :

- Suivi de vibration des machines tournantes.
- Suivi des mesures d'épaisseurs des équipements statique et pipes.
- Suivi de la protection cathodique.
- Suivi et contrôle des anodes sacrificielles.
- Suivi des analyses et teste des inhibiteurs de corrosion.
- Suivi des analyses des échantillons de gaz GPL et Huile.
- Suivi des analyses d'huiles.

Exécution des inspections d'anomalies signalé par l'exploitant surtout les équipements statique ou machines tournantes.

Participer a la réalisation des objectif de la direction régional a savoir :

- Suivi des réalisations des travaux d'inspection des APG durant un arrêt partiel ou général programmé pour inspection et triennal ou décennal.
- Suivi de réalisation des travaux d'inspection des transformateurs et appareils d'élevage.

Etudes d'analyse et proposition des solutions aux problèmes de corrosion.

Elaboration et suivi des cahiers de charges relatifs inhibiteurs de corrosion.

Elaboration des rapports d'inspection et suivi de corrosion.

Coordonner les actions du comité de corrosion

Participation aux études d'analyse et proposition de solution ou problème rencontré sur les équipements stratégique.

I-7-6-Mission de service méthode :

Elaboration et suivi des programmes de maintenance préventive et curative des équipements statique et de machines tournantes des installations

La préconisation en pièce de rechange pour tous les équipements et machines tournantes des installations.

Elaboration et suivi des inventaires consommables et amortissable du matérielle affecté à la division maintenance.

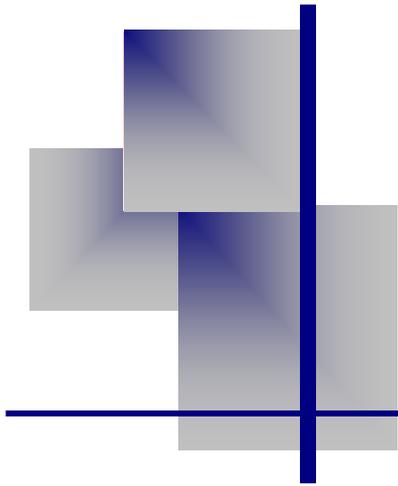
Elaboration et suivi des requêtes d'achat et de réparation.

Elaboration des cahiers de charges et suivi des Appels d'offre

Réception des commandes de relatif a l'approvisionnement en pièce de rechanges et matériel consommable et amortissable destinés à la division MN.

Conclusion :

Rhourde-Nouss c'est une région contient plusieurs les types de hydrocarbure .la raison pour laquelle il utilise de nombreuses machines pour extraire ces matériaux , les stocker ou les envoyer bien sûr, cela nécessite une maintenance.



Chapitre II

Les Compresseurs BCL / 504

Université Ghardaïa

2019 /2020

Introduction

Un compresseur est une machine qui a pour fonction d'élever la pression du fluide compressible qui le traverse. Son nom traduit le fait que le fluide se comprime (son volume diminue) au fur et à mesure de l'augmentation de pression. L'élévation de pression d'un gaz pour un compresseur est utilisée pour atteindre un niveau de pression déterminé par des processus tels que :

- Les réactions chimiques (pression convenable le catalyseur) .
- Le stockage dans les cavités .
- La liquéfaction ou la séparation .
- les cycles de réfrigération .
- L'alimentation des réseaux d'air comprimé

II.1.Définition de compresseur centrifuge:

Le compresseur centrifuge est une machine dynamique qui utilise la force centrifuge 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 pression directement dans les roues[4]

II.2.Utilisation des compresseurs centrifuges dans les domaines industriels

Le compresseur centrifuge trouve beaucoup d'applications dans de nombreux secteurs de l'industrie, où les procédés demandent des gammes de travail très larges[6] . (Tableau II.1)

Tableau II.1 l'installation de gaz traite

Type d'installations	Gaz traité
Installations pétrochimiques	
Ammoniac	CH ₄ , air, H ₂ +N ₂ ,NH ₃ ,
Méthanol	CO,CO ₂ ,H ₂ ,CH ₄
Urée	CO ₂
Ethylène	
Compression gaz naturel	
Réinjection	Gaz naturel
Transport de gaz par pipeline	Gaz naturel
Liquéfaction de gaz (GNL)	Gaz naturel
Liquéfaction (GPL)	Propane

II.3.Constitution des compresseurs centrifuges

Le compresseur centrifuge est classifié comme dynamique par opposition à un déplacement positif (machine alternative).

Un compresseur centrifuge quelque soit sa forme géométrique, est constitué des éléments principaux suivants :

- **le diaphragme d'entrée** : a pour objet de guider l'écoulement dans la direction la plus favorable pour son admission dans la roue mobile.
- **la roue mobile** : est un dispositif constitué d'aubes régulièrement réparties autour de son axe de rotation, ces aubes transmettent l'énergie mécanique apportée à la machine par un moteur. A l'intérieur de cet organe, une partie de l'énergie introduite est transformée en pression, l'autre partie reste sous forme de vitesse (ou pression dynamique).
- **le diffuseur** : a pour rôle de transformer, par réduction de la vitesse du fluide la pression dynamique en pression statique.

L'ensemble de ces trois éléments constitue ce que l'on appelle un étage de compresseur. [8]

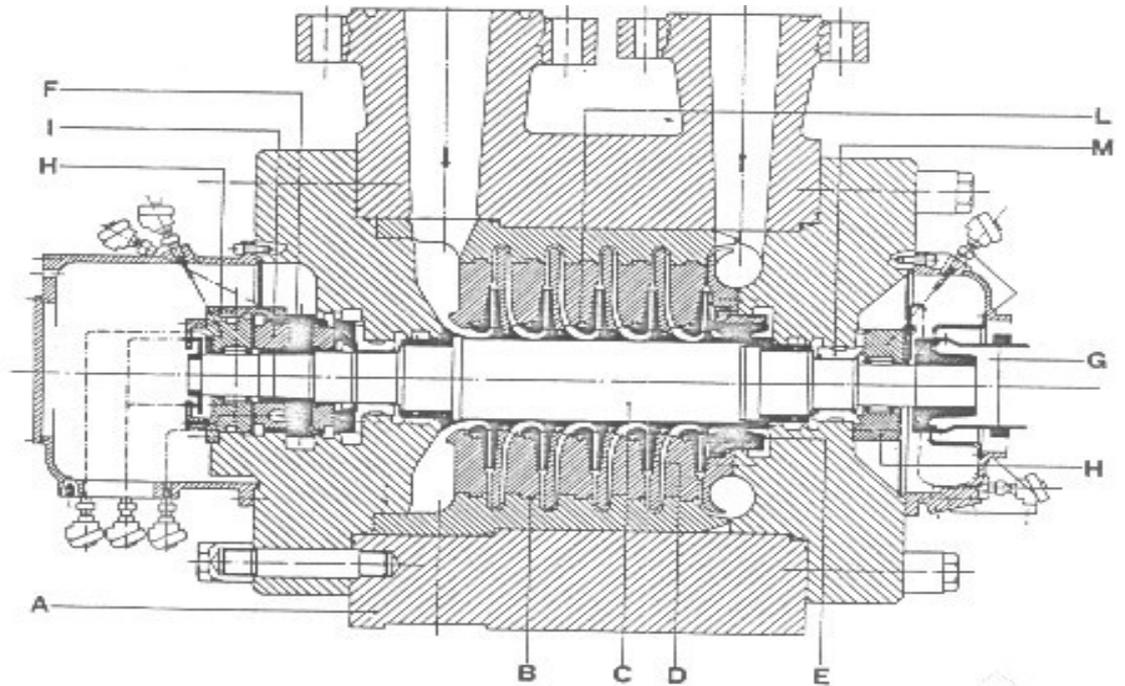


Figure II.1 schéma d'un compresseur centrifuge[6]

A- corps extérieur

B- diaphragmes

C- arbre

D- roues

E- piston d'équilibrage

F- collet du palier de butée

G- rotor

I- palier de butée

L- labyrinthe

H- palier porteur

II.4.Principe de fonctionnement du compresseur centrifuge :

Le compresseur centrifuge est classifié comme dynamique par opposition à un déplacement positif (machine alternative) . Il est constitué par:

- a) une roue à aubes tournant autour de son axe .
- b) un distributeur dans l'axe de la roue .
- c) un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute .

Le gaz arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et ensuite la force centrifuge, générée par la rotation de la roue à aubes, le projette vers l'extérieur de la roue. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans la volute où la section est croissante[7].

A l'entrée et la sortie de chaque roue le gaz est guidé par des pièces du stator qui sont constitué de:

- 1) **Le canal d'entrée** du gaz de la bride d'aspiration à l'entrée de la première roue .
- 2) **Le diffuseur** à la sortie de chaque roue. Dans le diffuseur se produit une augmentation de pression de gaz par ralentissement ; due à l'augmentation de section .
- 3) **Le canal de retour** qui guide le fluide a la sortie du diffuseur et l'amène à l'entrée de la roue suivante .
- 4) **La volute d'évacuation** du gaz vers la bride de refoulement .

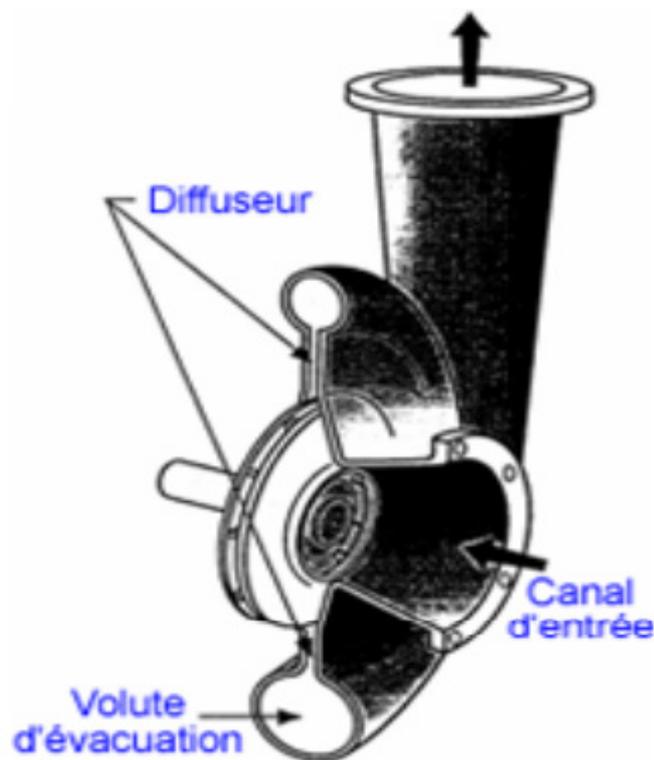


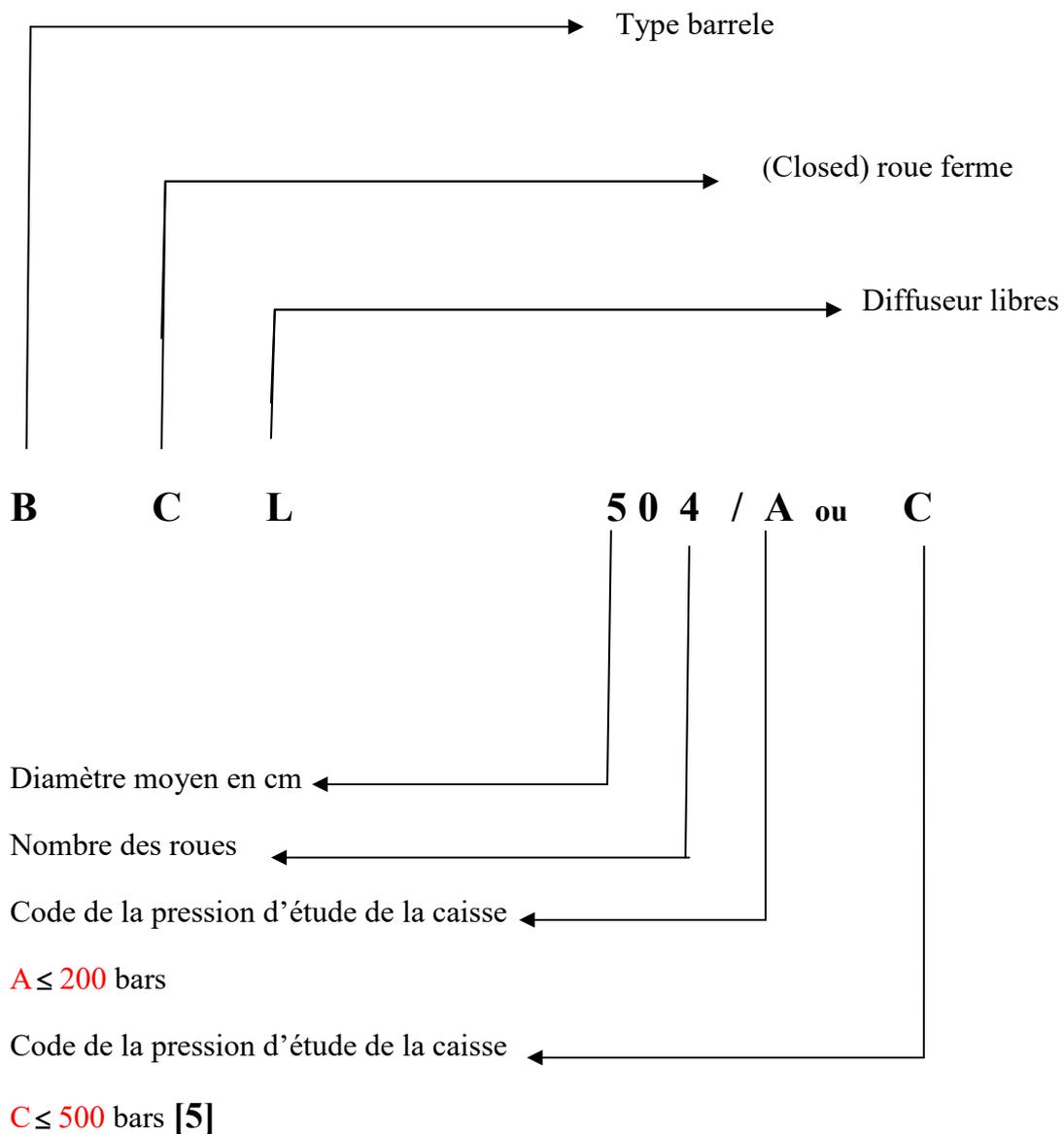
Figure .II.2. Diffuseur et volute

II.5. Etude d'un compresseur centrifuge « BCL 504/A »

II.5.1. Identification

- compresseur BCL / 504A de type barrele pour basse pression.
- compresseur BCL / 504C de type barrele pour haute pression.

La signification des symboles de code du compresseur **BCL 504/A** ou **C** est la suivante



II.5.2. Caractéristiques de construction des compresseurs centrifuge (BCL)

a) Corps ouverts verticalement (BCL)

Les enveloppes ainsi que les couvercles d'extrémités sont obtenus par forgeage afin de rendre le matériau plus homogène et donc plus résistant, au considération des pressions élevées auxquelles ces compresseurs travaillent.

Le choix du matériau dépend de la pression et de la température de fonctionnement, des dimensions, de la nature du gaz traité, et des limites imposées par les normes API

On utilise de l'acier au carbone **ASTM A105tu II** pour le corps cylindrique, les supports et les brides de fermeture. La teneur en carbone adoptée (0.2 – 0.25% au lieu de 0.35% comme prévu dans les tableaux) est suffisante pour obtenir de bonnes caractéristiques et en même temps pour conférer des caractéristiques de soudabilité.

Pour les compresseurs à très haute pression (BCL/c, BCL/a) on utilise au contraire un acier lié, ayant des caractéristiques mécaniques plus élevées.

Les bouches d'aspiration et de refoulement sont soudées au corps et forgées du même matériau. Dans les PCL, à cause de leur forme assez compliquée et donc non apte au forgeage elles sont coulées en matériau différent. [5]

b) Conception des stators

Stator à plan de joint vertical « barrel » : il est utilisé pour des pressions élevées.

Cette configuration est adoptée pour les compresseurs centrifuges haute-pression



Figure II.3 Stator à plan de joint vertical

c) Rotor :

Le rotor se compose d'un arbre sur lequel sont installés les impulseurs et les bagues d'écartement. Ces derniers sont montés à chaud sur l'arbre. Elles positionnent les impulseurs en direction axiale et protègent les sections de l'arbre, qui se trouvent entre les impulseurs, du contact avec le gaz.

L'impulseur est la partie du compresseur centrifuge destinée à faire augmenter la vitesse du gaz.

Les impulseurs sont du type fermé avec les aubages tournés vers l'arrière.

Ils sont montés à chaud et clavetés à l'arbre.

Avant d'être monté sur l'arbre, chaque impulseurs est soumis à un équilibrage dynamique et à un essai de vitesse 15% supérieure à la vitesse maximale continue.

Pendant le fonctionnement du compresseur, le rotor est soumis à une poussée axiale dirigée vers le coté aspiration, cette poussée est produite par la différencier de pression agissant sur le couvercle et le disque des impulseurs.

La poussée est presque totalement équilibrée par le tambour d'équilibrage.



Figure II.4 rotor de compresseur BCL 504

d) Diaphragmes BCL :

L'ensemble des diaphragmes, monté au tour de l'ensemble du rotor, constitue le composant statorique des étages de compression.

Les enceintes de diffusion sont constituées par des passages annulaires, c'est à travers les diaphragmes que l'énergie cinétique à la sortie des roues ou impulseurs est convertie en pression.

Les passages annulaires forment également les canaux des rotors qui acheminent efficacement, le gaz dans l'œil des roues ou impulseurs.

Les diaphragmes sont séparés selon un plan médian horizontal et sont montés à l'intérieur d'un contre corps, lui-même divisé selon un plan médian horizontal formant ainsi deux paquets séparés.

Pour de très hautes pressions, il est nécessaire de raidir la structure de l'ensemble des diaphragmes ; on a recours alors à une double caisse en acier forgé (ASTM A 182 F22).

La position des demi- diaphragmes supérieurs dans la moitié supérieure du contre corps est effectuée au moyen de vis de blocage, ce qui permet de soulever le contre-corps sans faire tomber les diaphragmes.

Les étanchéités à labyrinthe sont installées dans les diaphragmes à proximité de tous les points internes de dégagement dans le but de minimiser les fuites de gaz provenant des zones de refoulement et d'aspiration des roues ou impulseurs.

Des bagues d'étanchéité, installées dans des rainures sur le pourtour du contre corps, empêchent toute fuite de gaz vers des zones à pression inférieure.

Une série de rouleaux placés dans des refoulements du contre corps inférieur, facilite l'introduction de l'ensemble complet diaphragmes/rotor dans le corps ; cet ensemble est placé axialement et retenu par la tête d'aspiration.



Figure II.5 Le diaphragme BCL 504

e) Arbre :

L'arbre est constitué d'une partie centrale, à diamètre constant, où sont montées les roues et les douilles intermédiaires et de deux extrémités aux diamètres opportunément réduits où travaillent les paliers et les étanchéités d'extrémités.

L'arbre est dimensionné de manière à avoir la plus grande rigidité possible (en réduisant l'entraxe et en augmentant le diamètre) pour obtenir un comportement à la flexion le meilleur possible.

Dans la construction des arbres de n'importe quel type de compresseur, on utilise de l'acier 40 NICRMO7 UNI. En réalité cet acier a des propriétés mécaniques meilleures que celles demandées pour un service standard des arbres des compresseurs centrifuges.

Etant donné qu'on n'est pas intéressés à avoir des charges de rupture et de limite élastique très élevées, mais plutôt une bonne ténacité et ductilités, le revenu se fait alors à des températures plus hautes que d'habitude pour atteindre une charge de rupture plus grande que 100 kgf/mm^2 et une limite élastique de $65\text{-}75 \text{ kgf/mm}^2$. (Figure II.3)

f) Roues :

Les roues sont frettées sur l'arbre, des languettes ayant la fonction de transmettre le couple sont prévues sous les roues.

Pour leur construction, il faut un acier ayant des propriétés mécaniques élevées mais à faible pourcentage de carbone pour obtenir une soudure de bonne qualité des aubes. On utilise pour toutes les roues, sauf dans des cas particuliers, un acier à faible alliage de molybdène et de 0.13 à 0.17 % de carbone. [11]

La direction des contraintes dans les différentes parties d'une roue varie évidemment selon le type de roue.

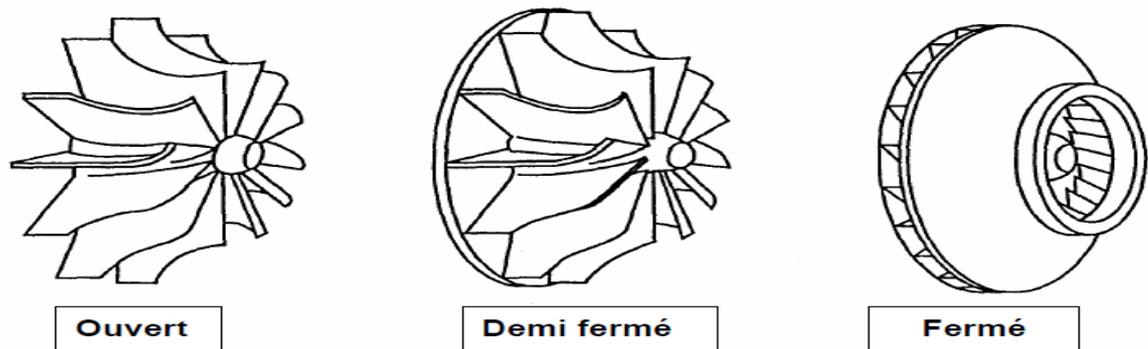


Figure II.6 Les différents types de roues [5]

- A. **La roue ouverte** est utilisée pour les débits moyens et les hautes pressions de refoulement. Elle est seulement utilisée dans les compresseurs à un étage.
- B. **La roue demi-fermée** est utilisée pour les grands débits. Ce type de roue peut aussi être utilisé pour équiper les compresseurs multi étages ou simple étage.
- C. **La roue fermée** est utilisée principalement dans les compresseurs multi étages.

Les roues permettent de comprimer la quantité voulue de gaz aux conditions de pression d'opération.

Ces roues sont montées sur un arbre, l'ensemble constituant le rotor dont la vitesse de rotation peut dépasser 20 000 t/mn

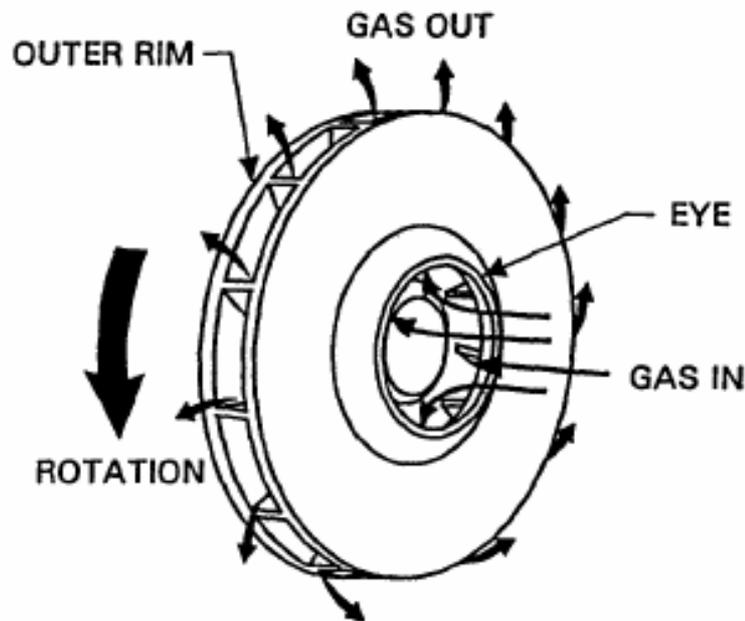


Figure II.7 Principe de fonctionnement d'une roue

g) Tambour d'équilibrage (BCL) :

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

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

Le tambour d'équilibrage et son étanchéité à labyrinthe forment, avec l'étanchéité à labyrinthe en bout d'arbre, la chambre d'équilibrage.

Soumettant la chambre d'équilibrage à une pression plus basse (approximativement égale à la pression d'aspiration), on crée un différentiel de pression en sens opposé aux roues. Ceci est obtenu en reliant cette chambre à l'aspiration du compresseur au moyen d'une tuyauterie de gaz d'équilibrage.

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

Le tambour d'équilibrage est fixé sur l'arbre. L'ensemble des roues, manchons-entretoises et tambour est fixé sur l'arbre au moyen d'un collier de serrage. Après avoir monté le tambour, le rotor sera à nouveau soumis à l'équilibrage dynamique. [8]

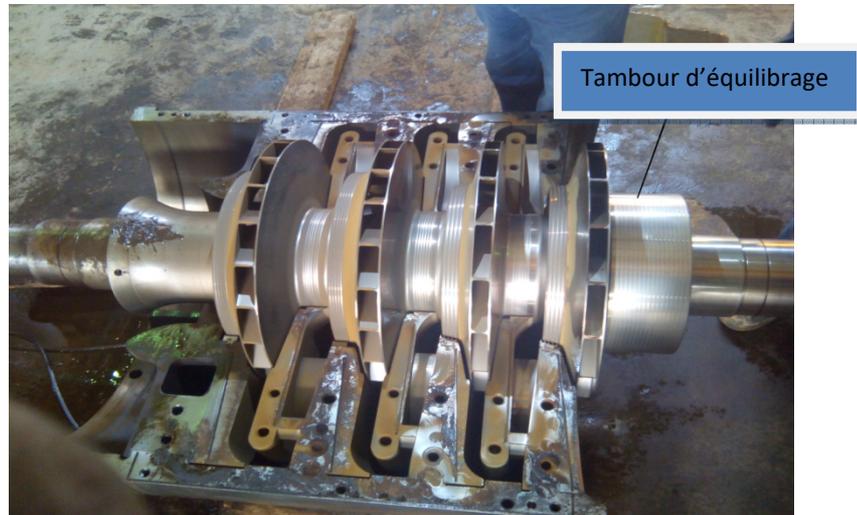


Figure II.8 le tambour d'équilibrage

h) Collet du palier de butée :

Le collet est construit en acier au carbone type C40, il est monté hydrauliquement par ajustement forcé.(Figure II.9)

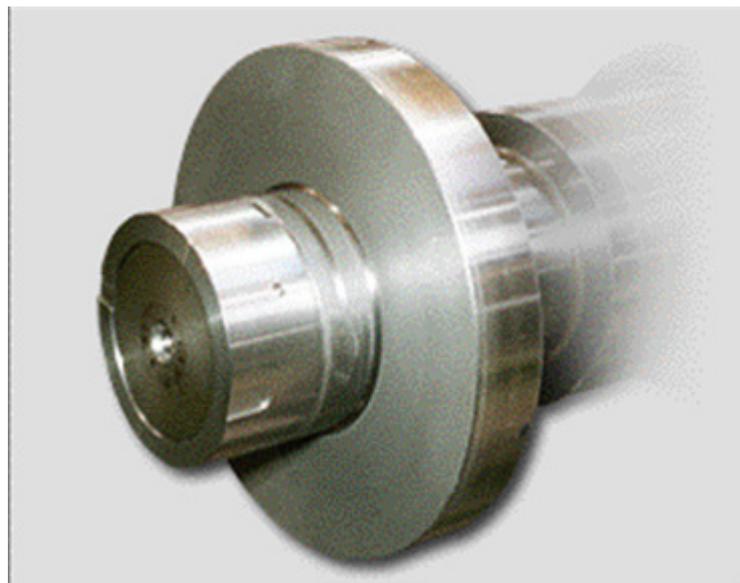


Figure II.9 . Collet du palier de butée[11]

i) Douilles intermédiaires :

Les douilles intermédiaires sont des manchons positionnés entre les roues ; elles ont un double but : le premier est celui de protéger l'arbre contre les fluides corrosifs (en général, elles sont en X15C13, un acier inoxydable contenant 0.15% de carbone et 13% de chrome), l'autre est celui de fixer la position relative d'une roue par rapport à l'autre.

Les douilles intermédiaires sont montées à force sur l'arbre avec tolérance négative de $0.5 \div 1$ ‰.

j) Douilles sous les garnitures d'étanchéités à huile :

Les douilles sous les garnitures d'étanchéité à huile sont en acier au carbone revêtu de matériau de dureté élevée. (600 Brinell).

Les douilles sont employées pour protéger l'arbre contre la corrosion et les rayures éventuelles et en outre, elles peuvent être remplacées facilement.

Pour des pressions élevées il faudra se passer des douilles en colmony étant donné que ces dernières ne peuvent pas être forcées au-delà d'une certaine limite ; dans ce cas, on emploie des douilles en acier 40 NiCrMo7 durci et revenu ($300 \div 350$ brinell).

k) Palier a butée :

Le palier a butée, monté sur l'une des extrémités du corps, est à double action. Il est logé sur les deux côtés du collet de butée du rotor.

Il est conçu de façon à absorber la poussée axiale agissant sur le rotor qui n'est pas entièrement équilibrée par le tambour d'équilibrage.

Il est muni d'une bande élastique de raclage d'huile (oil control ring ou O.C.R) afin de minimiser toute perte de puissance due à la turbulence de l'huile dans la cavité du palier à cause de la haute vitesse de fonctionnement. Dans d'autre cas un anneau porte-palier forme une chambre annulaire autour du collet ayant ainsi la fonction de O.C.R.

A l'extérieur du palier est montée une bague ayant un trou calibré dont le but est de régler la qualité d'huile pour le graissage. Les diamètres des paliers employés par Nuovo Pignone vont de 4 à 12 pouces

Les limites dans le choix du palier à employer sont imposées par la vitesse périphérique du collet qui ne peut pas dépasser 190m/s et par la charge sur le palier, qui ne doit pas dépasser 50% de la valeur maximal déclarée par le constructeur.

Du réservoir, l'huile est ensuite réintroduite dans le système ; celle sortie du coté haute pression est purgée par des purgeurs automatiques.

Les garnitures d'étanchéité à huile sont constituées d'une mince couche de métal blanc, ou de métal blanc sans cuivre lorsque ce dernier est incompatible avec le gaz comprimé.

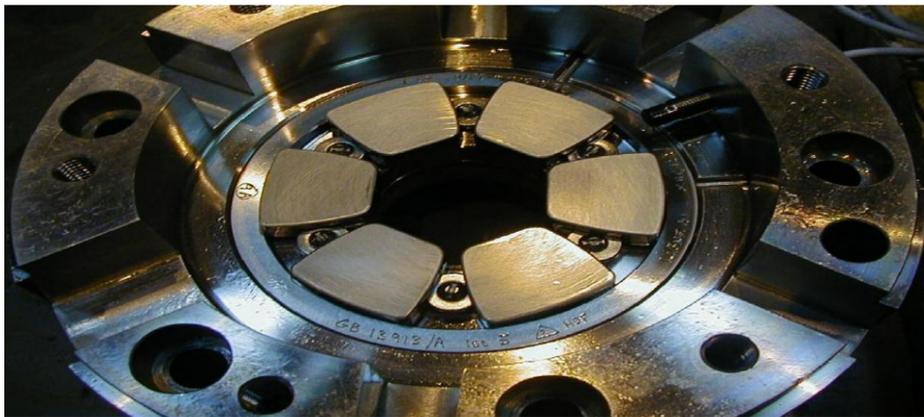


Figure II.10 Palier de butée [4]

L) Paliers porteurs :

Les paliers porteurs sont du type à patin 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 (A) sont réalisés en acier revêtu de métal blanc. Ils sont solidaires des taquets en acier (B) et sont en place dans des logements formés par le carter (C) et par deux bagues d'étanchéité d'huile (F).

Les patins peuvent osciller dans le carter aussi bien dans le sens radial que dans le sens axial afin d'atténuer aux maximum les vibrations radiales du rotor. La rotation des patins dans le carter est bloquée par des goujons qui dépassent des vis (D) fixées sur le carter.

Le palier est axialement positionné sur la bride de tête, ou sur le corps du compresseur grâce à des vis.



Figure II.11 Palier porteur [4]

m) Etanchéités :

Les étanchéités situées aux deux extrémités de l'arbre, ont pour but d'éviter ou de réduire au minimum la sortie du gaz comprimé ou l'entrée de l'air dans le corps du compresseur. Cette étanchéité peut être de trois types : à labyrinthe, à film d'huile ou mécanique.

n) Accouplement d'entraînement :

L'accouplement sert à transmettre la puissance de machine motrice au compresseur.

L'accouplement peut être direct ou moyennant multiplicateur de vitesse, suivant le type d'entraînement comme on verra ensuite.

En général, on emploie des accouplements dentés qui peuvent être à graissage continu ou à remplissage.

Dans la transmission d'un couple, un accouplement denté peut produire une poussée axiale.

$$M_t = 716 \frac{N}{n}$$

N: puissance de compresseur

n : nombre de tours

L'effort tangentiel transmis $F_t = M_t/R$

R : rayon de la circonférence primitive de la denture de l'accouplement

Etant donné que la gamme des coefficients de frottement des dents est : $0.15 < f < 0.3$ pour vaincre le frottement sur les dents il faut un effort axial :

$$F_a = F_t * f = 1074 \div 2148 \text{ Kgf.}$$

II.5.3.Types de Garnitures

1) Garnitures à labyrinthe :

La réduction au minimum des fuites vers l'extérieur est obtenue par des garnitures à labyrinthe, qui sont construites en alliage léger ou matériau résistant à la corrosion, de dureté inférieure à celle de l'arbre pour éviter des endommagements de ce dernier en cas de contacts accidentels. Les garnitures peuvent être extraites aisément. Le nombre des lames et le jeu, dépendent des conditions de fonctionnement. Dans le cas où les moindres fuites de gaz (gaz toxiques, explosifs etc.) ne seraient admises, les garnitures à labyrinthe seront combinées à des systèmes d'extraction ou d'injection.

Les garnitures à labyrinthe sont en alliage d'aluminium recuit (70-80 BRINELL), Si l'aluminium n'est pas compatible avec la corrosivité du gaz, on utilise des aciers inoxydables de la série 18% Cr-8% Ni. [8]

De toute les manières il n'y pas de limites à l'emploi d'autres matériaux tels que le bronze, etc.

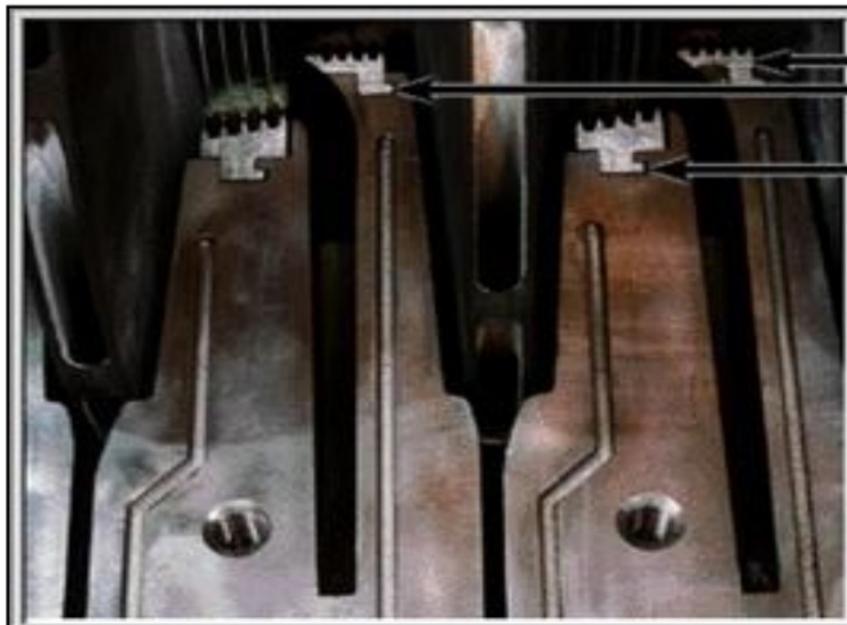


Figure II.12 Garnitures à labyrinthe[4]

2) Garnitures d'étanchéités d'huile :

Les garnitures d'étanchéité à huile sont constituées de deux anneaux flottants (de haute pression du côté H.P. et de basse pression du côté B.P) revêtus à l'intérieur de métal anti frottement. La figure II.13 illustrent un dessin typique de l'extrémité d'un compresseur équipé de plusieurs bagues d'étanchéité cotée basse pression.

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

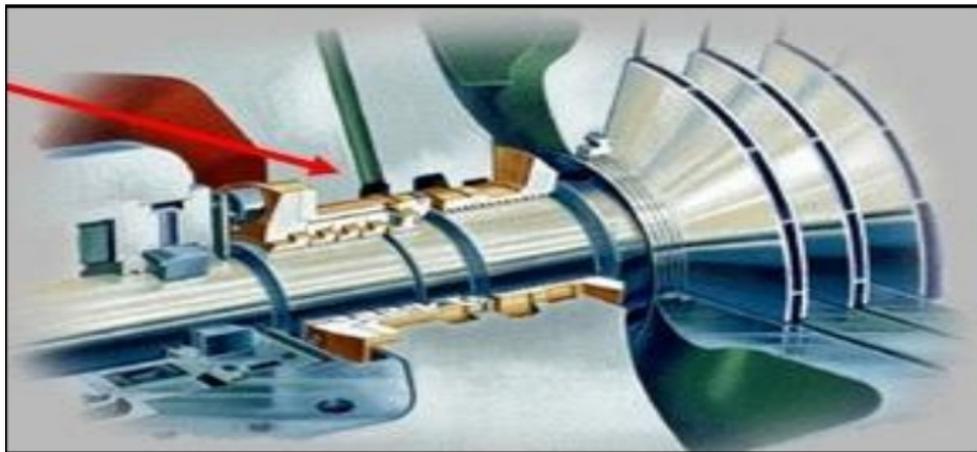


Figure II.13 Garnitures d'étanchéités d'huile [4]

3) Garnitures mécaniques :

La garniture mécanique est constituée fondamentalement d'une bague de charbon fixée et gardée en contact contre un collet d'acier tournant avec l'arbre du compresseur. Le contact est assuré par l'action combinée d'éléments élastiques (ressorts et soufflets) et par la distribution de la pression agissante sur la bague même.

Le contact entre le collet et la bague, produit de la chaleur qui doit être éliminée en refroidissant la garniture avec de l'huile. Pour garantir le graissage de l'interstice contenant le film de lubrifiant entre le collet et la bague il faut avoir une pression différentielle entre huile et gaz assez élevée (3÷5 atm). Pour garder ce ΔP il est nécessaire de créer une chambre de pression et donc il faut avoir une garniture B.P. entre l'huile sous pression et l'atmosphère.

Les garnitures mécaniques ne sont pas produites par le NuovoPignone. Mais par des fabricants extérieurs de premier ordre.

Chaque constructeur étudie des garnitures ayant des caractéristiques de construction particulières ; à titre d'exemple **la figure II-13** illustre une garniture du type Koppers : avec des éléments élastiques constitués par des bague flottantes de charbon.

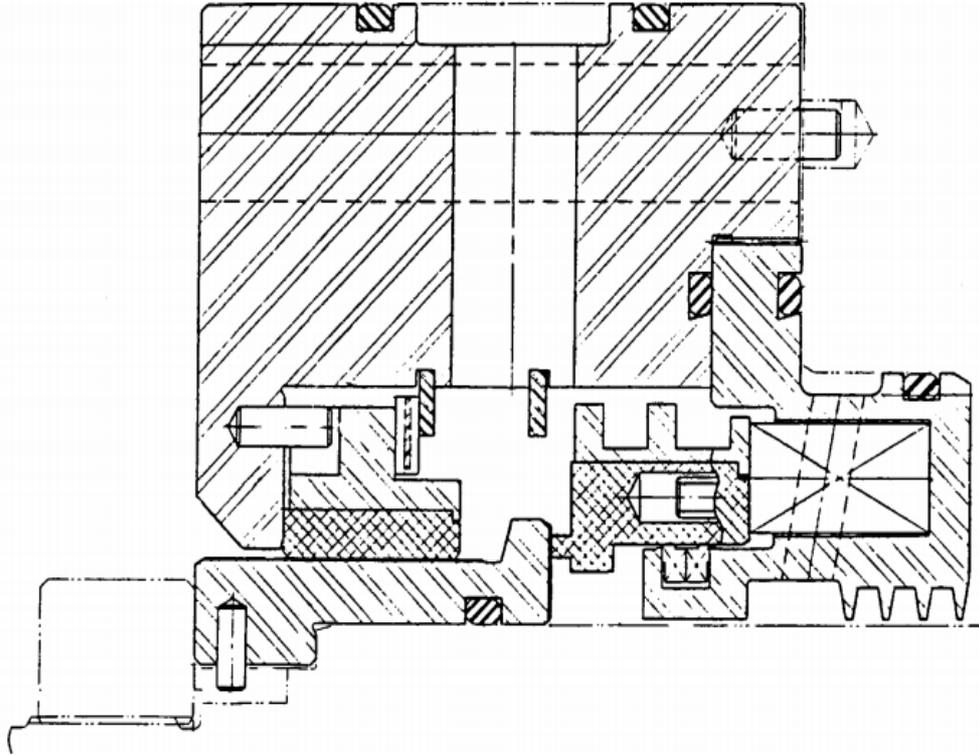


Figure II-14 Garniture mécanique

Les garnitures mécaniques sont employées surtout là où il est important de limiter au maximum la quantité d'huile pouvant polluer le gaz. En effet la perte d'huile de la bague H.P. est environ 5÷10 fois plus petite que les pertes des garnitures d'étanchéité à huile ordinaires.

En cas d'arrêt d'urgence du compresseur par manque d'huile, la garniture est à même de continuer à barrer le gaz, à la machine en arrêt (même si de manière imparfaite pour la présence éventuelle d'égratignures et d'usures localisées sur les surfaces de contact entre le collet et la bague).

II.6. Phénomène de pompage

Dans le fonctionnement d'un compresseur, il existe un phénomène destructeur qu'il est absolument impératif d'éviter : le ''pompage''.

II.6.1. Définition

Par principe, le compresseur est relié à deux réseaux aux pressions différentes, l'aspiration (basse pression) et le refoulement (haute pression).

Le pompage d'un compresseur se produit lorsque le réseau à haute pression du refoulement se vide dans le réseau à basse pression de l'aspiration par un débit à contre-courant dans le compresseur. Ce phénomène, qui peut avoir plusieurs causes, provoque une instabilité momentanée du réseau d'aération (cas où le gaz est de l'air). [5]

II.6.2. Les causes possibles de pompage dans un compresseur centrifuge sont :

- Réduction de la densité du gaz, par exemple, due à un changement du poids moléculaire du gaz, ou due à une hausse de température T_1 à l'entrée.
- Réduction de la vitesse de rotation Si la pression exigée par la charge ne peut pas être produite par le compresseur à la nouvelle vitesse de rotation.
- Augmentation de la pression requise par la charge ou par le processus industriel servi par le compresseur.
- Blocage de n'importe quelle chaîne d'écoulement, d'aspiration ou de refoulement.
- Déformation de la géométrie de la roue, par érosion, souillage, etc. ...

II.6.3. Conséquences du pompage :

- L'inversion de débit, lors d'un « coup de pompage », s'effectue en quelques centièmes de seconde
- Les variations de charge sur les aubages sont assimilables à un choc.
- Une instabilité du débit transféré .
- Du bruit.
- Une augmentation de la température au refoulement.
- Réduction de la durée de vie du compresseur

- Perte de rendement
- Réduction de la puissance du compresseur
- Dommages mécaniques des joints, des paliers, des ailettes, etc.

II.6.4. Les symptômes du pompage

- **de vibrations** des aubages des roues.
- **d'inversion des poussées** axiales du rotor.
- **de vibrations** de très basse fréquence de l'ensemble du compresseur (grondements sourds) qui sont bien sûr extrêmement préjudiciables à la bonne tenue mécanique de la machine. [11]

II.6.5. Protection contre le pompage

Les systèmes de protection contre le pompage comportent au moins des vannes, de l'instrumentation de mesure et un système de commande.

En cas de diminution du débit consécutif à l'augmentation du rapport de pression, ce dispositif a pour but :

- ✓ soit d'augmenter artificiellement le débit traversant la machine.
- ✓ Soit de diminuer le rapport de pression.

Toute régulation contre le pompage sera basée sur la mesure de débit traversant le compresseur et le rapport de compression, de sorte que la régulation adaptée puisse satisfaire les nécessités fondamentales suivantes :

- la ligne de régulation doit être la plus proche possible de la ligne limite de pompage déplacée parallèlement d'une quantité établie par rapport à l'axe du débit.
- La ligne de régulation, lorsque les conditions du fluide aspiré varient, ne doit pas s'approcher de la ligne de pompage relative aux conditions de fonctionnement du système anti-pompage.
- Le système doit protéger le compresseur dans toutes les conditions de fonctionnement, démarrage et arrêt possible.

II.7. Régulation d'anti pompage

Les éléments utilisés dans le système anti-pompage (vannes, tuyauteries, réfrigérant) ont également un impact sur le démarrage de l'installation, ou sur les pertes de charges.

Des tentatives récentes ont été menées pour augmenter la marge de stabilité d'un compresseur à l'aide de moyens actifs ou passifs, ou en déterminant avec une plus grande précision la marge de pompage. On néglige souvent les gains significatifs qui peuvent être réalisés par une meilleure compréhension de l'interaction entre le compresseur, les dispositifs anti-pompage (système de régulation, vannes), la disposition des conduites et les composants de l'installation (réfrigérant, épurateurs, clapets anti-retour). [5]

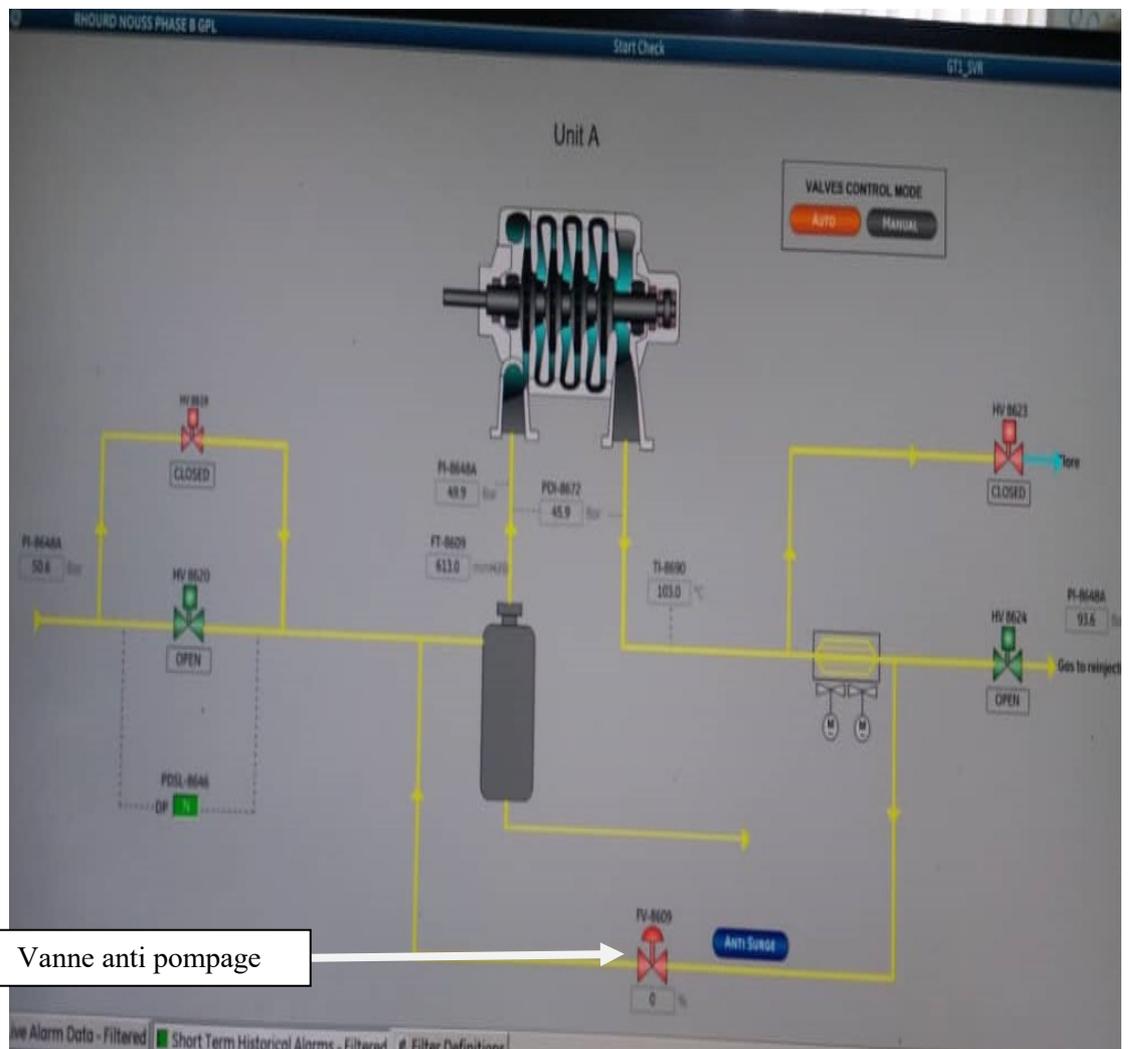
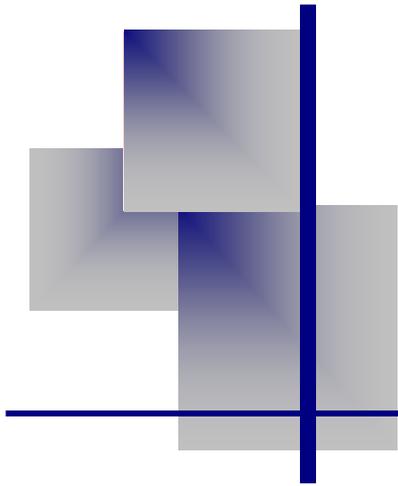


Figure. II.15 champ de régulation d'anti pompage d'un compresseur centrifuge

Conclusion

Dans ce chapitre, on a parlé sur les différents composants de compresseur à travers de ce chapitre nous pouvons conclure que le phénomène de pompage influe négativement sur le bon fonctionnement du compresseur et aussi sur la production. Pour remédier à ce genre de problème, un système anti pompage est interposé entre aspiration et refoulement aussi pour des opérations de maintenance systématique et conditionnelle.



Chapitre III

Calcul et Maintenance

Université Ghardaïa

2019 /2020

1^{er} PARTIE: CALCUL

III-1-Etude thermodynamique de la compression du gaz

III .1.1.but du calcul thermodynamique

Ce qui nous intéresse dans ce calcul est de déterminer le rendement " η " et la puissance consommée " P ", qui dépend des caractéristiques de compresseur et des caractéristiques du gaz comprimé et les conditions d'aspiration, à savoir : Température, Pression et Débit

D'après la thermodynamique, la quantité d'énergie fournie au gaz à savoir le travail " dW " et la quantité de chaleur " dQ " peuvent être exprimées par la variation de l'enthalpie " dh " et celle de l'énergie cinétique " $d(\omega^2/2)$ " pour l'unité de masse " $m = 1 \text{ kg}$ ".

$$dW + dQ = dh + d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) \text{ En [J/kg]} \quad (1)$$

ω : Vitesse de angulaire du gaz en [rad/s]

Cette équation représente une des formes de l'équation du premier principe de la thermodynamique relatif à l'écoulement du gaz.

La chaleur est toujours négative pour les compresseurs et la vitesse ($d\omega = 0$) car les vitesses du gaz à l'entrée et la sortie d'un compresseur sont approximativement égales et le travail nécessaire à la compression du gaz peut être calculé de la forme suivante:

$$\text{On a:} \quad d(\omega^2/2) = 0 \quad (2)$$

Et donc :

$$dh = dw + dq \quad (3)$$

$$dw = dh + dq \quad (4)$$

L'étude thermodynamique de la compression effectuée souvent à l'aide des diagrammes (h, s), permet de déterminer la variation de l'enthalpie ($\Delta h = h_2 - h_1$) dans le compresseur [9].

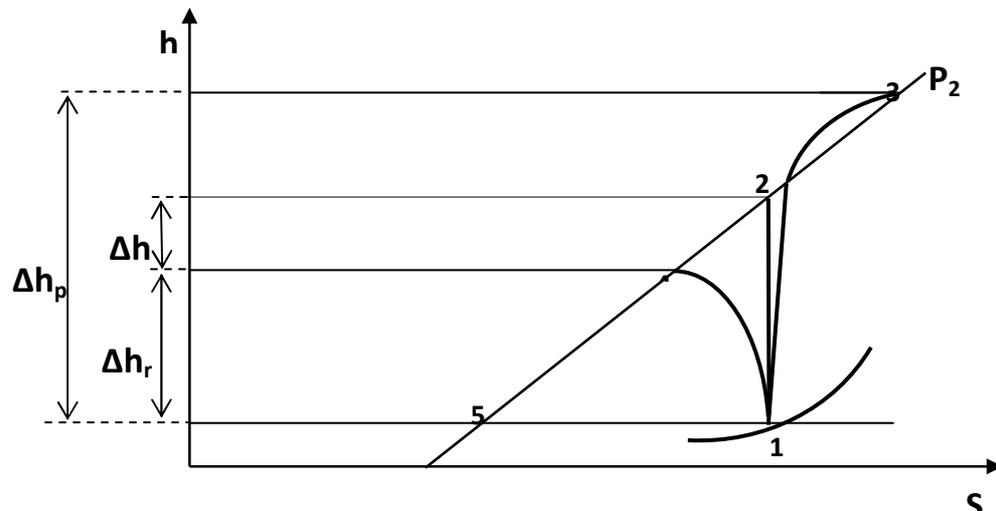


Figure III-1 le diagramme (h, s)

- ✓ la compression adiabatique réversible dans un compresseur idéal sans perte d'énergie est représentée par la droite (3-4) parce que dans ce cas ($Q = 0$) et la variation de l'enthalpie ($S_2 - S_1 = 0$).

$$\Delta h = W \quad \Rightarrow$$

- ✓ la compression réelle sans refroidissement a lieu suivant la courbe (1-3) et elle est toujours accompagnée des pertes Δh_p ainsi que l'augmentation de l'enthalpie ($dS > 0$).
- ✓ la compression avec refroidissement (1-4) pour laquelle d'après l'équation (2) $\Delta h = W - Q$.
- ✓ pour les gaz parfaits Δh se calcule à partir de la chaleur spécifique à pression constante C_p .

$$W = \Delta h = C_p (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Où:

- T_1 : température d'aspiration
- T_2 : température de refoulement

Il est plus commode parfois d'analyser le fonctionnement des compresseurs à l'aide d'un diagramme (P, V) parce que l'aire dans ce diagramme correspond à la valeur du travail.

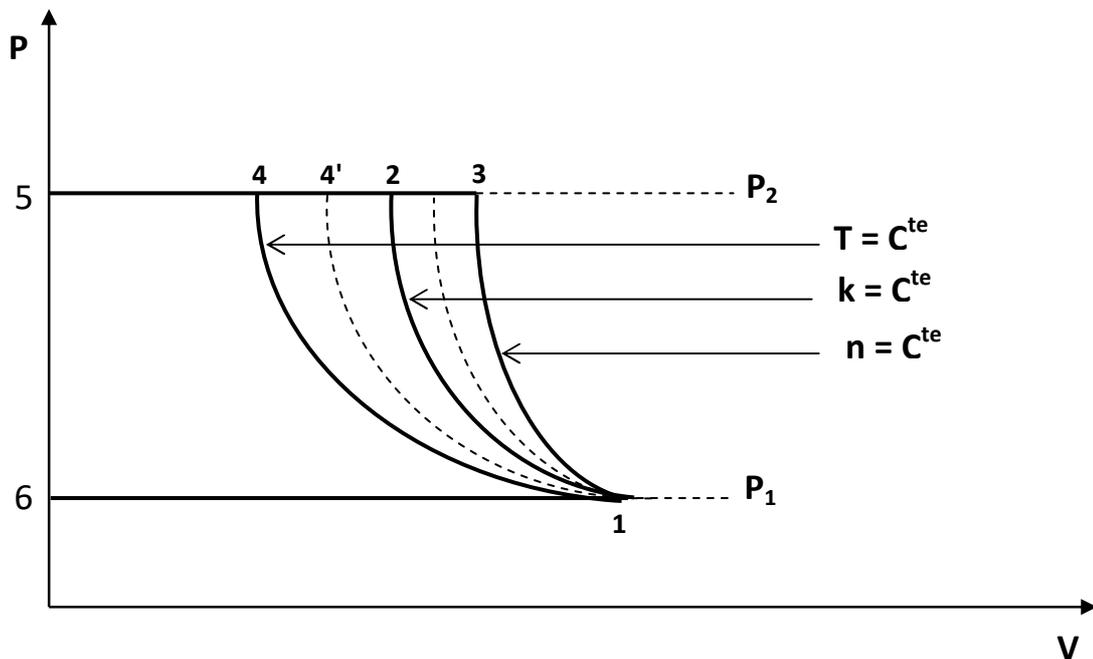


Figure III-2 le diagramme (p, v)

Afin d'exprimer le travail W en fonction de la pression P et du volume spécifique du gaz (V) on doit utiliser la relation pour l'enthalpie.

D'où:
$$h = U + Pv \quad (6)$$

$$dh = du + PdV + VdP \quad (7)$$

D'après l'équation du premier principe de la thermodynamique pour un système à volume variable telle que ($dP = 0$) ; pression constante.

On a :
$$dQ = dU + PdV \quad (8)$$

En rapportant (9) et (10) à (1) nous obtenons:

$$dW = VdP \quad (9)$$

$$W = \int VdP \quad (10)$$

Et donc le travail est représenté dans le diagramme ($P-V$) par l'aire qui est limitée par la courbe de transformation thermodynamique.

- ✓ pour la compression adiabatique ($1-2$) le travail (W) correspond à l'aire ($1-2-5-6-1$) qui se trouve entre l'adiabatique ($1-2$) avec l'exposant adiabatique ($K=const$) et les deux droites ($1-6$) et ($2-5$).

La compression réelle accompagnée des pertes interne est effectuée avec l'exposant polytropique.

- ✓ la compression isothermique est représentée par l'isotherme ($1-4$).

III-1-2-Travail de compression des gaz

Dans les turbocompresseurs, on utilise généralement la compression adiabatique sans refroidissement du corps de la machine, le travail adiabatique peut être calculé à partir de l'expression (3) pour les gaz parfaits.

Mais il est plus commande parfois d'exprimer la valeur de W en fonction de taux de compression qui est habituellement connu.

$$\mathcal{E} = \frac{P_2}{P_1} \quad (11)$$

Dans le cas de la transformation adiabatique on à:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1/k)} \quad (12)$$

En remplaçant l'équation (12) dans l'équation (3) on trouve :

$$W_{ab} = z \cdot C_p \cdot T \left(\mathcal{E}^{(k-1/k)} - 1 \right) \quad (13)$$

C_p : peut être calculé à partir de l'équation de MAYER:

$$C_p - C_v = R \quad (14)$$

R : constante de gaz en [kJ / kg.°k]

Et
$$K = C_p / C_v \quad (15)$$

$$C_p = (k / k - 1) \cdot R \quad (16)$$

En remplaçant l'équation (16) dans (11) on trouve :

$$W_{ab} = (k / k - 1) \cdot z \cdot R \cdot T_1 \left(\varepsilon^{(k-1/k)} - 1 \right) \quad (17)$$

Cette équation permet de calculer le travail adiabatique de la transformation réversible et sans pertes internes dit: " Travail isentropique ".

En remplaçant l'exposant adiabatique k par l'exposant polytropique " n " on peut utiliser toutes les équations adiabatiques pour calculer les transformations polytropique. Il en ressort que le travail polytropique d'une transformation réversible sans pertes d'énergie avec ($n = \text{var}$) se calcule à partir de l'équation:

$$W_p = \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot z \cdot R \cdot T_1 \cdot \left(\varepsilon^{(n-1/n)} - 1 \right) \quad (18)$$

Le travail adiabatique réel W_r d'une transformation irréversible avec ($n = \text{var}$) suivant l'expression (3) est égal à:

$$W = c_p (T_{2r} - T_1) \quad (19)$$

Où: Si l'on sait que l'exposant ($n = \mathbf{c}^{\text{te}}$) du polytropique (1-3) (fig.2) qui passe par le point 3 correspond à la compression réelle nous pouvons écrire:

$$\frac{T_{2r}}{T_1} = \left(\varepsilon^{(n-1/n)} \right) \quad (20)$$

T_{2r} : Température réelle de gaz au refoulement

Rapportant les équations (16) et (20) à l'équation (19) on obtient:

$$W_r = \left(\frac{k}{k-1} \right) z \cdot R \cdot T_1 \cdot \left(\varepsilon^{(n-1/n)} - 1 \right) \quad (21)$$

III-1-3-Rendement thermodynamique d'un compresseur

Afin de calculer le travail réel W_r nécessaire à comprimer (**1kg**) de gaz, on utilise un des rendements thermodynamiques du compresseur:

$$\eta^{th} = \frac{W_{th}}{W_r} \quad (22)$$

W_{th} : travail thermodynamique du compresseur

Il doit être adapté selon les particularités de la compression réelle. Pour les turbocompresseurs qui sont souvent dépourvus de refroidissement du corps, on emploie généralement le travail adiabatique W_{ad} et le rendement adiabatique.

$$\eta_{ad} = \frac{W_{ad}}{W_r} \quad (23)$$

$$\eta_{iso} = \frac{W_{is}}{W_r} \quad (24)$$

$$\eta_p = \frac{W_p}{W_r} \quad (25)$$

Ce rendement polytropique ne tient pas compte exactement des pertes réelles mais il caractérise seulement la différence entre le travail réel et le travail thermodynamique avec ($n = c^{te}$).

Des relations (14), (19) et (23) pour les compresseurs sans refroidissement on a:

$$\eta_{ad} = \frac{\left(\varepsilon^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} - 1\right)}{\left(\frac{T_{2r}}{T_1} - 1\right)} \quad (26)$$

D'après: (18), (21) et (25):

$$\eta_p = \left(\frac{n}{n-1}\right)\left(\frac{k-1}{k}\right) \quad (27)$$

Dans la pratique l'exposant polytropique n'est pas connu et il doit être remplacé par le taux de compression et la température réelle de refoulement T_{2r} à aide de la relation (20) on tire:

$$\left(\frac{n}{n-1}\right) = \frac{\log \varepsilon}{\log (T_{2r}/T_1)} \quad (28)$$

$$\eta_p = \left(\frac{k-1}{k}\right) \left(\frac{\log \varepsilon}{\log (T_{2r}/T_1)}\right) \quad (26)$$

Paramètres de fonctionnement :

Tableau III .1 Paramètres de fonctionnement

Paramètres	Valeurs
Pression d'aspiration ; en [bars]	$P_a = 49.7$
Pression de refoulement ; en [bars]	$P_r = 96$
Température d'aspiration ; en [°C]	$T_a = 54.9$
Température de refoulement ; en [°C]	$T_r = 102$
Débit volumique ; en [m ³ /h]	$Q_v = 16484$
Nombre de roues	$N = 4$
Coefficient de compressibilité	$Z = 0.924$
Chaleur spécifique; en [KJ/Kg.C°]	$C_p = 2.04$
Vitesse de rotation ; en [tr/min]	$n = 10750$

Puissance absorbée [KW]	$p = 25760$
1^{er} vitesse critique [tr/min]	$V_{cr} = 5300$
Vitesse continue max [tr/min]	$V = 8544$
Multiplicateur de vitesse :	
i. vitesse d'entrée [tr/min]	$V_{me} = 4670$
ii. vitesse de sortie [tr/min]	$V_{ms} = 10839$
iii. puissance [KW]	$P_m = 18150$

- le rendement mécanique du compresseur : **$\eta_{mec} = 0.95$**
- le rendement volumétrique du compresseur : **$\eta_{vol} = 0.98$**

Les caractéristiques du gaz :

Tableau III .2 Les caractéristiques du gaz [11]

<i>Composantes</i>	<i>Concentration moléculaire X%</i>	<i>Masse molaire (μ) [Kg/K°.mol]</i>	<i>Chaleur spécifique à pression constant Cp [KJ/Kg.K°]</i>	<i>Température critique [K°]</i>	<i>Pression critique [bars]</i>
<i>N₂</i>	0.109	28,02	1,621	126,2	33,92
<i>CO₂</i>	0.609	44,01	1,031	304,1	73,84
<i>CH₄</i>	85.34	16,04	2,204	190,56	45,96
<i>C₂H₆</i>	8.559	30,07	1,714	305,33	48,72
<i>C₃H₈</i>	3.329	44,09	1,624	369,85	42,48
<i>iC₄H₁₀</i>	0.839	58,12	1,678	407,85	36,41
<i>nC₄H₁₀</i>	0.799	58,12	1,620	425,16	37,97
<i>iC₅H₁₂</i>	0.21	72,15	1,625	460,4	33,82
<i>nC₅H₁₂</i>	0.109	72,15	1,601	469,7	33,70

III-2-Masse molaire du mélange gazeux

$$M = \sum M_i X_i \quad (27)$$

$$M = (0.109 \times 28,02 + 85.34 \times 16,04 + 0,609 \times 44,01 + 8.559 \times 30,07 + 3.329 \times 44,09 + 0,839 \times 58,12 + 0.799 \times 58,12 + 0,21 \times 72,15 + 0.109 \times 72,15) / 100$$

$M = 19.21 \text{ Kg/k}^\circ.\text{mole}$

Compresseur centrifuge BCL 504

Tableau III .3 Conditions d'aspiration refoulement

Compresseur	Conditions d'aspiration	Conditions de refoulement
Pression [bar]	48.7	94
Température [°C]	54.9	102
Poids moléculaire du gaze [Kg/K mol]	19.21	
Vitesse de rotation [tr/min]	10750	

III-3-Détermination des grandeurs nécessaires au calcul thermodynamique

❖ détermination de la constante spécifique du gaz

$$r = \frac{R}{M} = \frac{8,314}{19.21} \quad \Rightarrow \quad r = 0,43 [kj / kg.k^\circ]$$

❖ détermination de la chaleur spécifique de mélange

$$C_{pm} = \sum C_{pi} \cdot g_i \quad (28)$$

$$C_{pm} = 2.04 [KJ/Kg.C^\circ] \quad (29)$$

❖ calcul des coefficients adiabatiques

$$r = C_p - C_v \quad (30)$$

$$K = \frac{C_p}{C_p - r} \quad (31)$$

$$K = \frac{2.04}{2.04 - 0.43} = 1.26 \Rightarrow K = 1.26$$

✓ taux de compression

$$\varepsilon = \frac{P_r}{P_a} = \frac{94}{48.7} = 1.93 \Rightarrow \varepsilon = 1.93$$

✓ taux de compression de l'étage

$$\zeta = (\varepsilon)^{1/n} \quad (32)$$

$$= (1.93)^{1/4}$$

$$= 1.17. \text{ D'où } n = 4 \text{ impulser (roues).}$$

✓ coefficient polytropique

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\log \varepsilon}{\log \frac{T_r}{T_a}} \quad (33)$$

$$n = \frac{\log \varepsilon}{\log \varepsilon - \log \frac{T_r}{T_a}}$$

$$n = \frac{\log 1.93}{\log 1.93 - \log \frac{(102 + 273.15)}{(54.9 + 273.15)}} = 1.32 \Rightarrow n = 1.32$$

III-4- Calcul de différents travaux**IV-4-1-Travail adiabatique**

$$W_{ad} = \frac{K}{K-1} Z.r.T_a \left(\varepsilon^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right) \quad (34)$$

$$W_{ad} = \left(\frac{1,26}{1,26-1} \right) \times 0,924 \times 0,43 \times 328,05 \times \left(1,93^{\frac{1,26-1}{1,26}} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow W_{ad} = 91,78 \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

III-4-2-Travail polytropique

$$W_p = \frac{n}{n-1} Z.r.T_a \cdot \left(\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (35)$$

$$W_p = \frac{1,32}{1,32-1} \times 0,924 \times 0,43 \times 328,05 \times \left(1,93^{\frac{1,32-1}{1,32}} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow W_p = 92,90 \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

III-4-3-Travail réel

$$W_r = \frac{K}{K-1} Z.r.T_a \cdot \left(\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (36)$$

$$W_r = \frac{1,26}{1,26-1} \times 0,924 \times 0,43 \times 328,05 \times \left(1,93^{\frac{1,32-1}{1,32}} - 1 \right) = 109.15 [kj / kg]$$

$$\Rightarrow W_r = 109.15 \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

III-5-Calcul des rendements

III-5-1-rendement adiabatique

$$\eta_{ad} = \frac{W_{ad}}{W_r} \quad (37)$$

$$\eta_{ad} = \frac{91.78}{109.15} = 0,84 \Rightarrow \eta_{ad} = 84 \%$$

III-5-2-rendement polytropique

$$\eta_p = \frac{W_p}{W_r} \quad (38)$$

$$\eta_p = \frac{92.90}{109.15} = 0,85 \Rightarrow \eta_p = 85 \%$$

III-5-3-rendement global

$$\eta_g = \eta_{ad} \times \eta_{vom} \times \eta_{méc} \quad (39)$$

$$\eta_{méc} = (0,92 \div 0,96)$$

$$\eta_g = 0,84 \times 0,98 \times 0,95 = 0,78 \Rightarrow \eta_g = 78 \%$$

III-6-Calcul des pressions intermédiaires

Connaissant le taux de compression, on pourra calculer facilement les pressions intermédiaires par la formule suivante :

$$P_{i+1} = \zeta P_i \quad (40)$$

- i : numéro de l'étage;
- P_i : pression dans l'étage (i);
- P_{i+1} : pression dans l'étage (i+1);
- ζ : taux de compression;

$$\zeta = \sqrt[n]{\varepsilon_1} \quad (41)$$

$$\zeta = \sqrt[4]{1.93} \Rightarrow \zeta = 1,17$$

Les résultats de calcul sont portés sur le tableau ci-dessous :

Tableau III .4 Les résultats de calcul de pression

Pressions en [bar]				
P_{as}	P_1	P_2	P_3	P_{ref}
49.7	58.14	68.03	79.60	95.13

III-7-Calcul des températures intermédiaires

$$\frac{T_{i+1}}{T_i} = \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (42)$$

- T_{i+1} : température dans l'étage (i+1);
- T_i : température dans l'étage (i).

Les résultats de calcul sont portés sur le tableau ci-dessous :

Tableau III .5 Les résultats de calcul de température

Températures en [°C]				
T_{as}	T_1	T_2	T_3	T_{ref}
54.9	63.75	72.47	84.39	96.12

2^{ème} PARTIE : Maintenance

Révision générale d'un compresseur centrifuge BCL 504

Introduction

Le compresseur centrifuge, comme n'importe quelle autre machine rotative, doit comprendre un programme de maintenance en vue de la réparation et/ou du remplacement des pièces lorsque cela est nécessaire afin d'assurer une disponibilité et une fiabilité maximales de l'Unité.

Il est évident que ce programme de maintenance commencera par des opérations mineures, qui augmenteront à travers le temps et en fonction des conditions de fonctionnement, jusqu'à ce que l'on arrive à une inspection plus importante, en répétant la procédure de manière cyclique.

III. 8. Maintenance préventive Programmée

La maintenance programmée est exécutée lorsque les machines sont à l'arrêt puisqu'il faut démonter l'unité de sorte que les composants internes puissent être inspectés.

L'inspection commence à partir de la zone la plus critique et elle est poursuivie jusqu'à couvrir toute la machine.

les intervalles de maintenance des compresseurs centrifuges entraînés par des turbines à gaz sont programmées simultanément avec l'inspection de ces dernières, de la manière suivante :

A. Inspection Mineure :

Que faire après 16000h / chaque 21 jour. Exécutée simultanément avec **l'inspection des veines de gaz chaud** de la turbine (HGPI).

Cette inspection consiste à contrôler les deux extrémités en ouvrant les paliers de butée et radiaux, en vérifiant leurs états et dimensions et en veillant au remplacement si ceux-ci semblent endommagés.

Au cours de cette opération les garnitures mécaniques sont également désassemblées , inspectées et remplacées si nécessaire; au cours de cette inspection l'accouplement est également contrôler.

Les pièces soumises à l'usure tels que les O-rings, les joints d'étanchéité, etc. sont remplacées.

B. Inspection Majeure :

Que faire après 32000h / chaque 48 jour. Exécutée simultanément avec l'**inspection majeure** de la turbine (MI).

Cette inspection, outre à ce qui a été vérifié lors de l'inspection mineure, consiste à contrôler tous les composants fixes et rotatifs internes en ouvrant également les brides d'extrémité, les diaphragmes et en enlevant le rotor.

Au cours de l'opération comme pour l'inspection mineure les pièces tels que les labyrinthes sont remplacées.

Cette inspection est réalisée en quatre étapes :

- Démontage
- Nettoyage et inspection
- Remontage et alignement

Test de démarrage et vérification des paramètres de fonctionnement **[10]**

C. Inspection pour l'entretien :

Les principes d'inspection adoptés sont typique couvrent le domaine aussi vaste que des éléments intéressés.

Les limites de temps sont données uniquement à titre indicatif et ne sauraient exclure l'expérience de l'opérateur préposé à la conduite de l'installation, lequel pourrait établir un programme personnalisé.

Il sera de bon ton de dresser, pour chaque machine, un cahier sur lequel on notera à chaque fois les différentes interventions, la cause qui les a provoquées, le type d'opération effectuée, l'heure à laquelle l'inconvénient s'est manifesté et les contrôles éventuels qui seraient réalisés sur la machine à cette occasion. Cela permettra de connaître dans les détails le comportement de chaque élément et facilitera considérablement la rédaction d'un programme d'entretien, même s'il est différent de celui que nous préconisons ci-dessus. [12]

Tableau III.6 Liste des contrôles pour entretien

Liste des contrôles pour entretien						
Inspection portant sur	Période					But de l'inspection
	Fréquence					
	En service	A l'arrêt	Semestriel	Annuel	> à 1 an	
<p>A-compresseur centrifuge</p> <p>A1. Palier porteur et palier de butée.</p> <p>A2. Bague d'étanchéité d'huile.</p> <p>A3. Rotor.</p> <p>A5. Diaphragmes.</p> <p>A6. Bride des corps-tête.</p> <p>A7. Alignement.</p>				X°		<p>Contrôle de l'usure et des marques de surchauffe.</p> <p>Contrôle du déplacement axial du rotor.</p> <p>Contrôle de l'usure et de surchauffe.</p> <p>Contrôle l'état de garnitures.</p> <p>Après trois ans de service, Contrôle des dépôts, érosion et corrosion.</p> <p>Après trois ans de service, Contrôle des dépôts, érosion et corrosion.</p> <p>Contrôle l'état de labyrinthe à gaz.</p> <p>Substitution des garnitures.</p> <p>Nettoyer les brides de la tête.</p> <p>Contrôle.</p>

<u>B-Accouplements des compresseurs</u>					
B1. Boulons.				X	Contrôle les boulons et écrous desserrés. Contrôle si les diaphragmes sont rouillés ou corrodés. corrodés.
B2. Centre unité flexible (entretoise).				X°	Contrôle du déplacement axial.
<u>C-Système d'huile de graissage d'étanchéité</u>					
C1. Caractéristiques de l'huile.	X				Contrôle les propriétés physiques et chimiques. Contrôle du fonctionnement.
C2. Vanne de commande.		X			X Contrôle des auxiliaires. Après trois ans de service, contrôle de l'usure des éléments internes.
C3. Soupapes de sûreté.				X	Contrôle des réglages. (Tarage)
C4. Pompe.				X° X	Contrôle l'accouplement. Contrôle de l'état de propreté du filtre d'aspiration. Après trois ans de service, contrôle des éléments internes des pompes.
C5. Filtre.	X				X Contrôle du débit des pompes. Remplacer les cartouches lorsque la chute de pression à travers le filtre est supérieur à la valeur préconisés. Remplacer le cartouche au moins une fois par an, quelque soit la chute de pression. Contrôle du mouvement de l'ensemble
		X	X	X°	

					soupapes d'échange.
C6. Réservoir principal				X°	Contrôle et récurage du fond chaque fois que l'huile est vidangée.
<u>D-Instrumentation</u>					
D1. Indicateurs de pression, température, etc.	X			X°	Effectuer la mise au point si nécessaire.
D2. Transmetteur, régulateur.		X		X°	Effectuer la mise au point si nécessaire.
D3. Pressostat, thermostat et interrupteur de niveau	X			X	Vérifier la mise en marche de l'appareillage auxiliaire.
		X		X	Vérifier le fonctionnement des systèmes d'arrêt.
<u>Note:</u>					
Les interventions par (°) peuvent être reportées à une autre période plus favorable, si l'opérateur l'estime nécessaire, lorsque la machine a atteint une marche régulière.					

III.9.Maintenance préventive conditionnelle

Ceci consiste à enregistrer les principaux paramètres de fonctionnement. Les analyses ultérieures des données permettent d'établir les conditions générales de l'unité et des systèmes auxiliaires.

En fonction du résultat de ces analyses, nous pouvons déterminer le moment de la révision du compresseur.

Cette maintenance nous permet de minimiser les temps d'arrêt et la consommation de la pièce de rechange. C'est pour cela nous avons adopté cette politique de maintenance. [8]

III.9.1.Recherche des pannes :

Dans le tableau ci-dessous on a la liste des inconvénients les plus communs, avec les causes susceptibles des avoir entraînés et les mesures à prendre.

Tableau III.7cause et remède de panne

Inconvénient	Cause possible	Remède
Vibration ou bruits anormaux du compresseur.	Mouvais alignement.	Retirer l'accouplement faire fonctionner l'entraînement tout seul. S'il tourne sans produire de vibrations, la cause serait à recherche dans le mauvais alignement.
	Endommagement de l'accouplement.	Vérifier les conditions de l'accouplement.
	Balourd du rotor du compresseur.	Contrôler le rotor et s'assurer qu'il ne soit pas déséquilibré pour cause d'encrassement. Equilibrer de nouveau si nécessaire.
	Paliers usés par l'encrassement présent dans l'huile.	Contrôler les paliers et les substituer si nécessaire.
	Contraintes transmises au corps par les tuyauteries du gaz provoquant un mauvais alignement.	Les tuyauteries devraient être bien ancrées de manière à prévenir des contraintes excessives sur le corps du

<p>Endommagement des paliers lisses.</p>	<p>Balourd de l'accouplement.</p> <p>Pompage.</p> <p>Machines fonctionnant à proximité du compresseur.</p> <p>Mauvais graissage.</p> <p>Mauvais alignement.</p> <p>Jeu des paliers hors cotes.</p>	<p>compresseur.</p> <p>Il faut que les tuyauteries soient suffisamment élastiques pour permettre les dilatations thermiques.</p> <p>Démonter l'accouplement et vérifier son équilibrage.</p> <p>Ecarter les conditions de marche du compresseur des conditions de pompage.</p> <p>Isoler les fondations des machines respectives et augmenter l'élasticité des tuyauteries de liaison éventuelles</p> <p>S'assurer que l'huile utilisée soit du type recommandé. Vérifier régulièrement l'absence d'eau de l'encrassement dans l'huile.</p> <p>Vérifier l'alignement et le corriger s'il y a lieu.</p> <p>Vérifier l'alignement et le corriger s'il y a lieu.</p>
<p>Endommagement du palier de butée.</p>	<p>Poussée axiale excessive.</p>	<p>S'assurer que l'accouplement soit propre et qu'il soit monté de manière à ne pas transmettre une poussée excessive sur le compresseur.</p>
<p>Endommagement des bagues d'étanchéité à huile.</p>	<p>Encrassement de l'huile.</p>	<p>Contrôler l'état des filtres et remplacer les cartouches encrassées. Vérifier l'état</p>

	<p>Jeu des bagues hors cotes.</p> <p>Pression de l'huile insuffisante.</p>	<p>de propreté des canalisations.</p> <p>Contrôler le jeu et le corriger s'il y a lieu.</p> <p>S'assurer que la pression du gaz de référence ne baisse au-dessous de la valeur minimale préconisée.</p>
--	--	---

III.10. Etapes de la révision

1. Moyens nécessaires.
2. Travaux de préparation.
3. Démontage.
4. Nettoyage et inspection.
5. Remontage.
6. Test de démarrage.

III.10.1. Moyens nécessaires

a. Moyens humain :

- i. Un superviseur
- ii. Quatre (04) techniciens

b. Moyens matériel :

- i. Outillage ordinaire
- ii. Outillage spécifique (dispositifs de démontage et de remontage).
- iii. Pont roulant.

- iv. Moyens de transport (déplacement de l'aérodynamique pour inspection à l'atelier).
- c. Estimation du temps :
 - i. Dix (10) jours à raison de 8h/j

III.10.2.Travaux de préparation

- Faire une demande d'arrêt du compresseur
- Arrêt du compresseur
- Etablissement d'une autorisation de travail
- Dépressurisation et purge
- Consignation électrique des auxiliaires
- Isolement mécanique
- Déconnexion du système anti incendie

III.10.3.Démontage

- Déposer toutes les conduites qui peuvent gêner le démontage de la bride de tête côté aspiration .
- Déposer le cache accouplement et l'entretoise.(**Figure III.3**)



Figure III.3 Déposer le cache accouplement

- Vérifier l'alignement du compresseur en se référant aux spécifications.
- Déposer les couvercles d'extrémité des deux côtés.
- Extraire le moyeu d'accouplement monté à l'extrémité de l'arbre, pour cela utiliser le dispositif spécifique (voir schéma d'extraction).
- Vérifier le déplacement axial du rotor.
- Déposer le palier de butée active.
- Extraire le collier de butée, pour cela utiliser le dispositif spécifique .
- Déposer le palier de butée inactive.
- Déposer les paliers porteurs des deux côtes.
- Déposer les ensembles d'étanchéités à l'huile es deux côtés.
- Repérer tous les boulons de la bride de tête. **(Figure III.4)**



Figure III.4 Repérer tous les boulons de la bride de tête

- Dévisser les écrous des goujons filetés
- Mettre en place deux guides pour le démontage de la bride de tête
- Introduire les trois vis d'extraction dans la bride de tête et les visser
- uniformément pour faire sortir la bride hors du corps du compresseur **(Figure III.5)**



Figure III.5 uniformément pour faire sortir la bride

- Mettre en place deux élingues et bien centrer le crochet du pont roulant, extraire la bride et la faire descendre avec précaution en la déposant sur des cales en bois
- Mettre en place le dispositif d'extraction du paquet diaphragme, le faire sortir hors du corps de compresseur à l'aide d'un vérin hydraulique et le déposer moyennant le pont roulant. (**Figure III.6**)



Figure III.6 le dispositif d'extraction du paquet diaphragme

dévisser les vis d'assemblage, ensuite soulever la moitié supérieure du diaphragme.
(Figure.III.7)

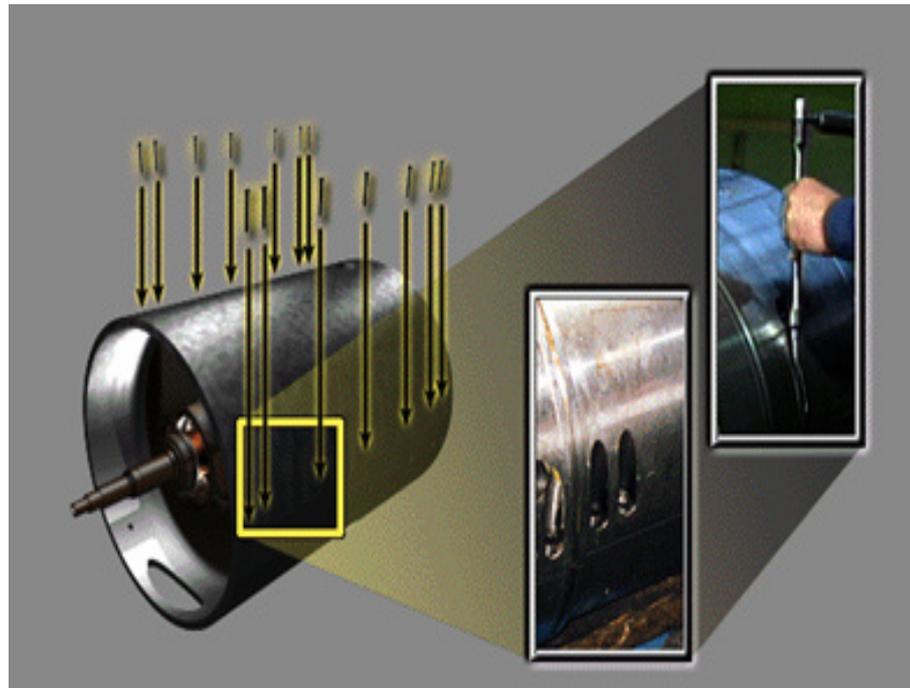


Figure III.7 dévisser les vis d'assemblage [1]

- préparer deux supports en bois de même hauteur
- Elinguer le rotor aux deux extrémités moyennant des cordes en soie
- Soulever avec précaution le rotor bien équilibré, le guidant à la main pour éviter d'endommager les labyrinthes d'étanchéité et le poser sur les supports (**Figure III.8**)



Figure III.8 Soulever avec précaution le rotor bien équilibré

- Extraire les labyrinthes des deux moitiés
- Démontez les diaphragmes et les déposer sur des madriers (**Figure III.9**)



Figure III.9 Démontez les diaphragmes et les déposer sur des madriers

III.10.4. Nettoyage et inspection

1. Nettoyer tous les éléments de l'aérodynamique à savoir : le rotor, les diaphragmes.
2. Nettoyer la surface interne du corps compresseur.
3. Nettoyer les paliers et les éléments d'étanchéités.
4. Inspecter les surfaces interne et externe des roues.
5. Inspecter l'état de surface des tourillons paliers et bagues d'étanchéités. (**Figure III.10**)



Figure III.10 Nettoyer tous les éléments de l'aérodynamique

- Inspecter l'état des patins paliers (porteurs et butées) (**Figure III.11**)

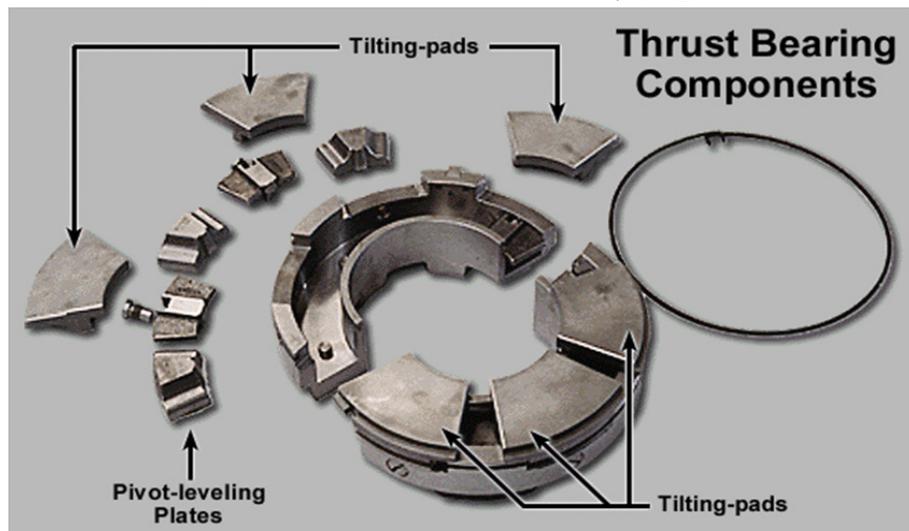


Figure III.11 Inspecter l'état des patins paliers (porteurs et butées) [1]

- Faire un contrôle dimensionnel de l'arbre, des paliers porteurs et des bagues d'étanchéités (HP et BP) (**Figure III.12**)



Figure III.12 Faire un contrôle dimensionnel de l'arbre

III.10.5.Remontage

Remontage des diaphragmes (**Figure III.13**)

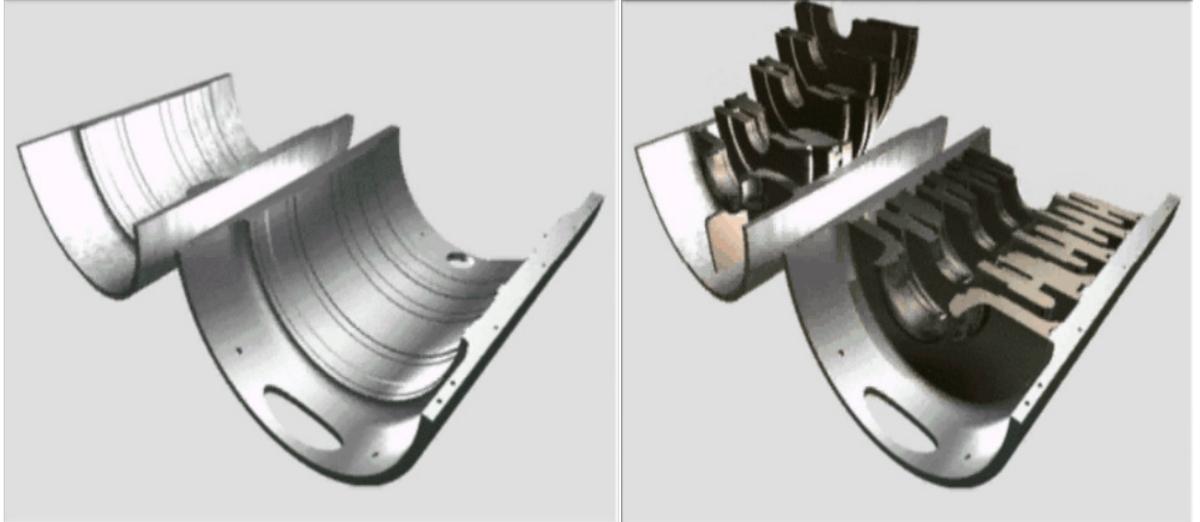


Figure III.13 Remontage des diaphragmes [11]

➤ Mettre en place les nouveaux labyrinthes (**Figure III.14**)



Figure III.14 Mettre en place les nouveaux labyrinthe [11]

- Faire le contrôle des jeux labyrinthes-rotor pour cela :
 - À l'aide du jauge d'épaisseur mesurer les jeux latéraux des labyrinthes d'étanchéités. prendre une valeur de chaque coté (coté droit et coté gauche), ensuite additionner ces deux valeurs et les comparer à celles spécifiées par le constructeur.
- Procéder au centrage du rotor dans la moitié inférieure de l'aérodynamique pour cela :
 - Abaisser lentement le rotor dans la moitié inférieure de l'aérodynamique en le guidant soigneusement pour ne pas endommager les labyrinthes d'étanchéités (voir photos précédente)
 - Déplacer axialement le rotor de façon à obtenir le meilleur alignement des lumières roues-canaux diaphragmes (**Figure III.15**)

Mesurer la distance entre l'extrémité de l'arbre et la surface latérale de l'aérodynamique coté aspiration (prendre deux valeurs à 180°)

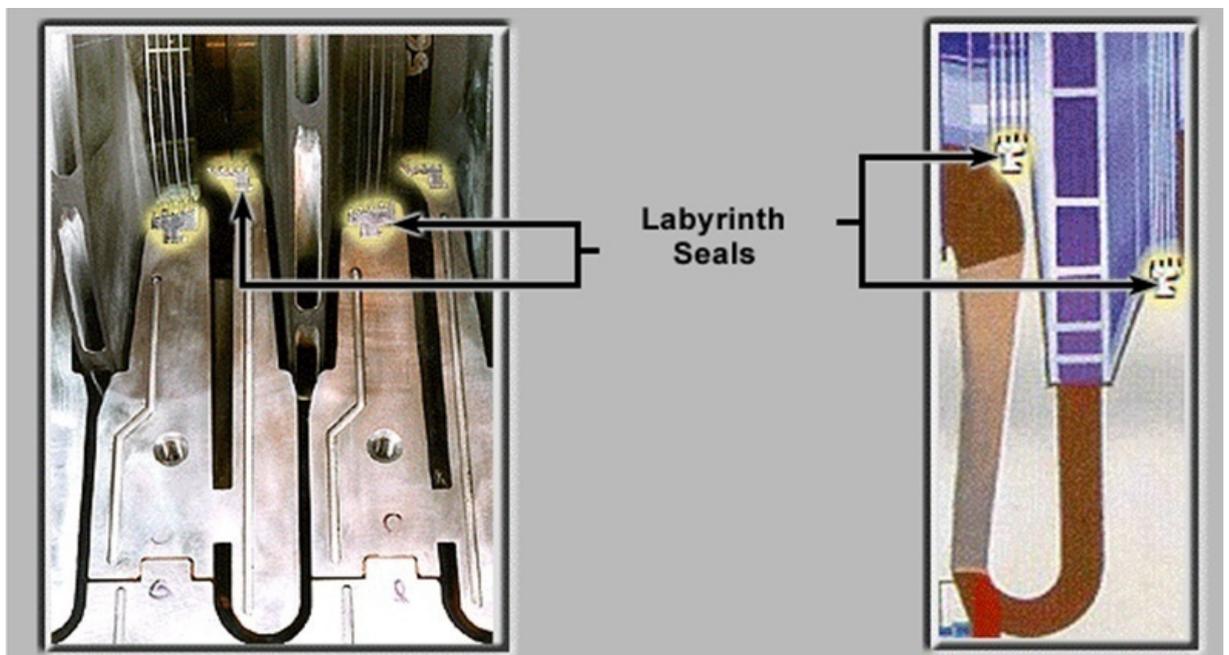


Figure III.15.Centrage d'un rotor du compresseur

- Assembler l'aérodynamique et l'installer dans le corps du compresseur pour cela utiliser le dispositif comme dans le cas de l'extraction (**Figure III.16**)

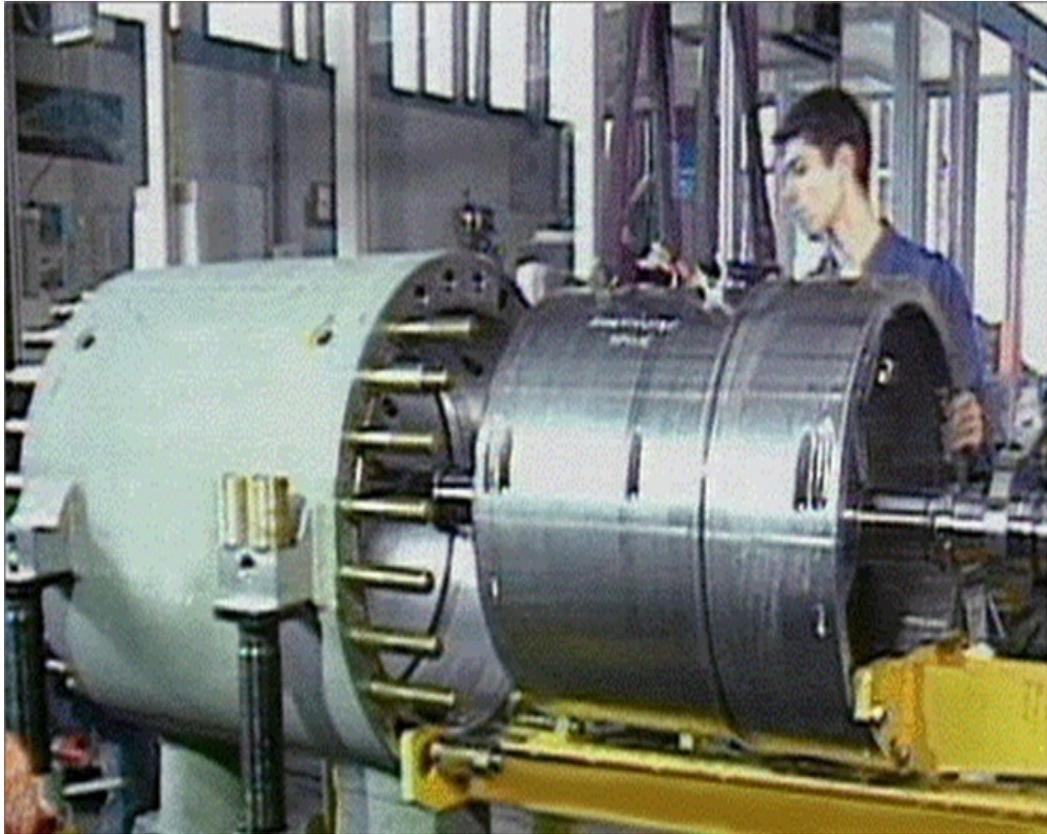


Figure III.16 Assembler l'aérodynamique [1]

- Positionner le rotor pour obtenir le centrage en utilisant la mesure prise entre le bout d'arbre et la surface latérale de l'aérodynamique, mesurer la distance entre le bout d'arbre et la surface latérale de la bride de tête coté refoulement.
- Mesurer le déplacement axial du rotor vers l'aspiration et le déplacement totale Mettre en place la bride de tête coté aspiration (toujours utiliser le dispositif de guidage) et serrer les écrous au couple.
- Monter l'ensemble des étanchéités à l'huile, les paliers porteurs et le palier de butée inactive (toujours verser de l'huile propre sur la zone de l'arbre où glisserons le palier porteur et les bagues d'étanchéités). (**Figure III.17**)

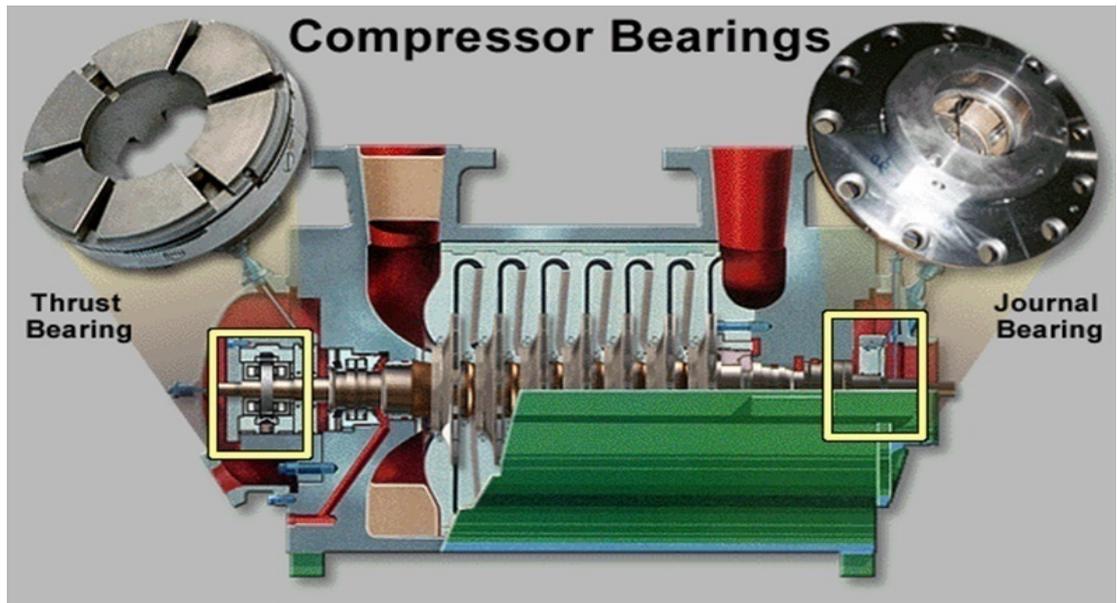


Figure III.17 Monter l'ensemble des étanchéités à l'huile [5]

- Monter le collier de butée (utiliser le dispositif de montage) (**Figure III.18**)



Figure III.18 Monter le collier de butée [11]

- Mesurer le déplacement axial du rotor et le comparer avec la valeur déjà prise précédemment (voir si nécessaire de rectifier la cale de la butée inactive)
- Monter le palier de butée active (**Figure III.19**)



Figure III.19 Monter le palier de butée active

- Mesurer le déplacement axial final qui doit être entre 0.25 à 0.35 mm (**Figure III.20**)

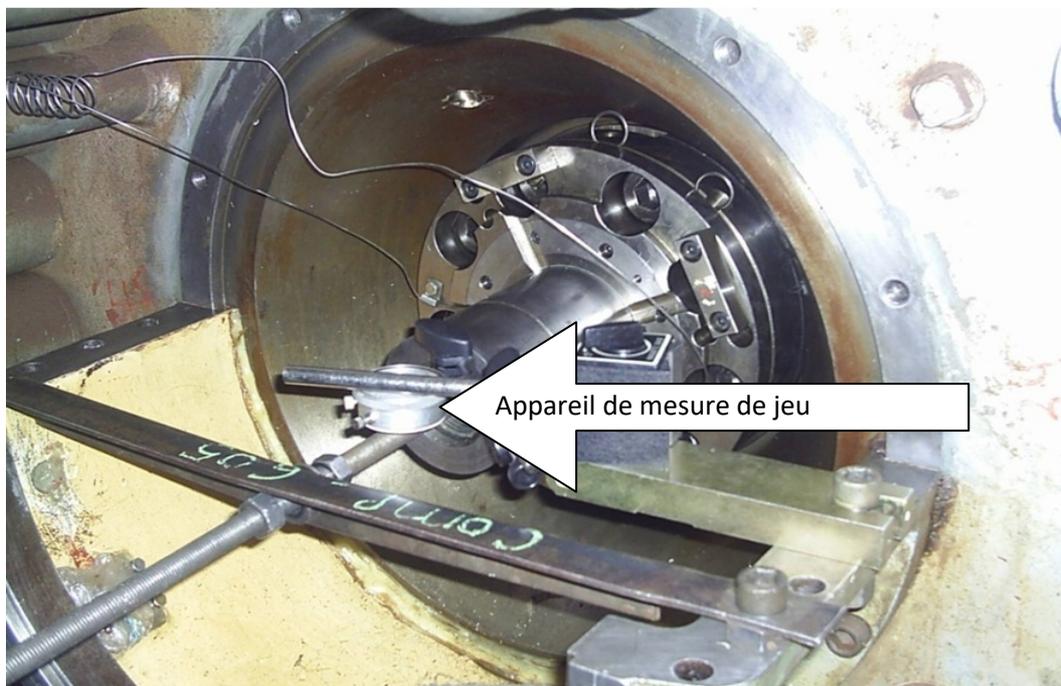


Figure III.20 Mesurer le déplacement axial final

- Monter le manchon d'accouplement (utiliser le dispositif de montage)
- Vérifier ou régler si nécessaire l'alignement.
- Monter l'entretoise (serrage au couple des boulons).
- Monter les caches des paliers et de l'accouplement.
- Monter les conduites
- NB : tous les joints (joint spiral, joint clingérite, o-ring, joint téflon) doivent être remplacés.

A la fin des travaux, mettre en ordre l'outillage utilisé, remettre à sa place le pont roulant et faire le nettoyage du lieu.

III.10.6. Test de démarrage

- Démarrer la pompe auxiliaire de l'huile de graissage
- Démarrer la pompe huile d'étanchéité
- Vérifier la circulation d'huile à travers les voyants
- Pressuriser le compresseur
- Vérifier s'il y'a des fuites d'huile et de gaz
- Démarrage du compresseur
- Relever les paramètres de fonctionnement à savoir :
 - Températures des paliers
 - Vibrations de l'arbre
 - Déplacement axial

Conclusion

Dans ce chapitre on trouve l'effet de pression de début sur le compresseur et refoulement de gaz et leur effet thermique .

Et dernière comment fait un maintenance et inspection général par un méthode précise pour la révision du compresseur .

Conclusion générale

Dans le conclusion de ce travaille ,notre formation induction nos prendre beaucoup des connaissances pour ma mise en situation professionnelle et la qualification d'occuper un poste de technicien maintenance au niveau de l'entreprise SONATRACH, et ceci revient en premier temps au personnels de SONATRACH qui nos fait comprendre plusieurs opérations et informations pratique et théoriques sur la maintenance notamment:

- Comprendre le rôle compresseur BCL et sa caractéristique .
- Intégration dans un groupe et le travaille d'équipe;
- Me faire comprendre la procédure de maintenance et la méthode d'intervention et la réparation des équipements;
 - Assister et intervenir a plusieurs interventions et révision des machines (turbine, compresseur)
 - Apprendre à être sociable, participer à l'animation du groupe et à la recherche de solutions aux problèmes;
 - La procédure et les étapes à prendre avant l'intervention sur site (sécurité ; outillage nécessaire ; permis de travail et la déconsignation des machines)

Bibliographique

- [1] Document formation des stagiaires cour 00, présentation de région .
- [2] technicien supérieur *Sahraoui aissa , hadj kouider youcef* mémoire de fin du formation « Echangeur E 05 » centre Rhourde-Nouss, DIVISION MAINTENANCE .2013.
- [3] technicien supérieur DALI KARIM mémoire de fin du formation « Etude de défaillance de la pompe Centrifuge multi étage type MNVC 508 » centre Rhourde-Nouss, DIVISION MAINTENANCE .2015
- [4] Re kai Hakima, Ou hab Amirouche. « Initiation au calcul du compresseur centrifuge de type BCL 305/C élaboration d'un plan de maintenance » Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU , Département de Génie Mécanique. 2015.
- [5] L'ingénieur OUEZZANI Mohammed Zakaria mémoire de fin du formation « Compresseur centrifuge BCL 504 /c Phénomène pompage » centre Rhourde-Nouss , DIVISION MAINTENANCE .2015.
- [6] Cheurfî ABDERRAHIM ,Amarache SALIM«Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406 Problème d'encrassements» Université M'hamed Bouguera Boumerdes Département Maintenance Industrielle. 2017
- [7] MANUEL DE FORMATION COURS EXP-PR-EQ130 Révision 0.3 « Total »
- [8] NUOVO PIGNONE – Manuel de Compresseur Centrifuge. VOLUME I.
- [9] FRANCIS Meunier « thermodynamique de l'ingénieur » 2er édition DUNOD -2004 –
- [10] entretien avec chef service turbo-machine Mostapha sur site RNS
- [11] Document formation des stagiaires, cour 01, compresseur turbine stagiaire
- [12] Document de l'entreprise, cour 02, cours securites des travaux d'entretiens