

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Laboratoire de Matériaux,
Technologie des Systèmes
Énergétiques et Environnement

Université de Ghardaïa



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 : *Electromécanique*

Spécialité : *Maintenance Industrielle*

Par : Soufian BENZIADI

Abdesselam BOUHADDA

Thème

**Analyse et Diagnostic d'Étanchéité des Machines
Tournantes par les Garnitures Mécanique**

Soutenu publiquement le 26/06/2019

Devant le jury :

Mohamed ALLALI	MAA	Univ. de Ghardaïa	Président
MOUATS Soufiane	MAA	Univ. de Ghardaïa	Examineur
Abderrahmane BELLAOUAR	MCA	Univ. de Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2018/2019

N° d'ordre :
N° de série :

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu le tout Puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nos remerciements vont à notre encadreur le docteur **Abderrahmane BELLAOUAR**, pour nous avoir guidés pour la réalisation de cette mémoire.

Nos remerciements à l'ensemble des **membres jury** pour l'intérêt porté sur notre travail.

Nous n'oublions pas de remercier les professeurs qui nous ont enseigné à tous les niveaux de nos études, en particulier les professeurs de l'Université Ghardaïa.

Enfin, nous remercions tous ceux et celle qui ont contribué à finaliser ce modeste travail.

Dédicace

Au terme de toutes ces années d'études, je dédie cette mémoire en signe de respect, de reconnaissance et de remerciements

A mes chers parents source inépuisable d'amour et d'affection.

A mes sœurs **Imane**, **Zineb** et son fils **mouad**

A toute la famille **Benziadi** et **Mellakh**

A mes amis **Mohamed Nadjem**, **Lamine**, **Abdallah...**

A mes chers collègues en maintenance industrielle qui étaient avec moi ces dernières années.

Soufian

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout
puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour
réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, que dieu les
garde et les protège pour leurs soutien moral et financier,
pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont
endurés.

A mes frères

A mes sœurs

A mes grandes familles

Aux chers amis

A tous ce que j'aime et qui m'aiment

A tous mes collègues d'études surtout
en maintenance industrielle

Abdesselam

Résumé :

Les machines tournantes représentent la plus grande partie des machines utilisées dans le secteur industriel, Ces machines varient selon leurs fonctions où nous trouvons des machines de nature mécanique les plus utilisés dans le domaine de pétrole et du gaz, elles sont classées en fonction de plusieurs facteurs tels que le principe de fonctionnement et le type d'installation, Parmi les problèmes rencontrés par ces machines on trouve les problèmes de fuite. Il existe donc un système dit d'étanchéité qui empêche ou réduit cette fuite en utilisant des joints et des garnitures mécaniques, Ce système a besoin de maintenance et de contrôles périodiques pour entretenir ses composants et assurer la continuité du fonctionnement des machines. Dans ce travail on a effectué une analyse sur les différents types d'étanchéités, et on a fait une contribution au diagnostic des garnitures mécanique des pompes centrifuges, et proposé des solutions à leurs défaillances.

Mot clé : Les machines tournantes. Système d'étanchéité. Les garnitures mécaniques. Maintenance. Diagnostic.

Abstract:

Rotating machinery represents the biggest part of machinery used in the industrial sector these machines vary according to their functions where we find machines of a mechanical nature most used in the field of oil and gas; they are classified according to several factors such as the principle of operation and the type of installation, Problems encountered by these machines include leakage problems There is therefore a so-called sealing system which prevents or reduces this leakage by using seals and mechanical seals, This system requires maintenance and periodic checks to maintain its components and ensure the continued operation of the machines. In this work we conducted an analysis on the different types of seals, and we made a contribution to the diagnostic of the mechanical seals of the centrifugal pumps, and proposed solutions to their failures.

Key word: Rotating machinery. Sealing system. Mechanical seals. Maintenance. Diagnostic

ملخص:

تمثل الآلات الدوارة الجزء الأكبر من الآلات المستعملة في المجال الصناعي ، تختلف هاته الآلات باختلاف مهامها حيث نجد الآلات ذات الطابع الميكانيكي الأكثر استعمالاً في مجال البترول والغاز يتم تصنيفها حسب عدة عوامل كمبدأ العمل و نوع تركيبها يواجه هذا النوع من الآلات مشكلة تسرب الموائع لذلك يوجد ما يسمى بنظام الختم يعمل على منع أو التقليل من هذا التسرب يستعمل فيه المفاصل والاختام الميكانيكية ، هذا النظام يحتاج لصيانة و مراقبة دورية للحفاظ على مكوناته و ضمان استمرارية عمل الآلات بشكل طبيعي . أجرينا في هذا العمل تحليلاً لأنواع الأختام المختلفة ، وساهمنا في تشخيص الأختام الميكانيكية لمضخات الطرد المركزي ، والحلول المقترحة لإخفاقاته .

الكلمات المفتاحية : الآلات الدوارة . نظام الختم . الاختام الميكانيكية . الصيانة . الفحص .

Sommaire

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	v
Liste d'abréviation.....	vi
Liste des symboles.....	vii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description du Champ Oued Noumer	
I.1. Introduction	3
I.2. Gisement de Hassi R'mel	3
I.3. Organisation de la direction régionale de Hassi R'mel.....	4
I.4. Direction d'OUED NOUMER.....	5
I.4.1. Position géographique	5
I.4.2. Description de centre de production.....	6
I.4.3. Capacité de production et de stockage.....	6
I.5. Description des installations.....	6
I.5.1. Unité 20 (traitement de brut et de gaz d'ONR).....	6
I.5.2. Unité 30 (unité de compression).....	7
I.5.3. Unité d'extraction du GPL.....	9
I.5.4. Unités auxiliaires.....	12
Chapitre II : Généralités sur les machines tournantes	
II.1. Introduction.....	13
II.2. Classification des turbomachines.....	13
II.3. Turbine à gaz.....	14
II.3.1. Description de la turbine à gaz.....	15
II.3.2. Principe de fonctionnement.....	15
II.3.3. Domaine d'application.....	16
II.4. Turbine à vapeur.....	16
II.4.1. Description de la turbine à vapeur.....	17

II.4.2. Principe de fonctionnement.....	17
II.4.3. Domaine d'application.....	18
II.5. Turbine Hydraulique.....	18
II.5.1. Type de turbine hydraulique.....	19
II.5.1.1. Principe de fonctionnement des turbines à réaction.....	20
II.5.1.2. Principe de fonctionnement des turbines à action.....	20
II.6. Les pompe.....	20
II.6.1. Les types des pompes.....	21
II.6.1.1. Les pompes centrifuges.....	21
II.6.2. Les pompes volumétriques.....	25
II.7. Le Compresseur.....	26
II.7.1. Type des compresseurs.....	26
II.7.2. Compresseurs volumétriques.....	26
II.7.2.1. Compresseurs alternatifs.....	27
II.7.2.1.1. Compresseur à piston.....	28
II.7.2.1.2. Compresseur à membrane.....	28
II.7.2.2. Compresseurs rotatifs volumétriques.....	28
II.7.3. Compresseurs dynamiques.....	29
II.7.3.1. Compresseurs axiaux.....	30
II.7.3.2. Compresseur centrifuge.....	30
II.7.4. Principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge.....	31
II.7.5. Classification des compresseurs centrifuges.....	32
II.7.5.1. Compresseurs avec corps ouverts horizontalement.....	32
II.7.5.2. Compresseur avec corps ouverts verticalement.....	33
II.7.5.3. Compresseurs avec corps en forme de cloche.....	34
II.8. Les ventilateurs.....	35
II.8.1. Classification des ventilateurs.....	36
II.9. Moteurs thermiques.....	37
II.9.1. Classification des moteurs thermique.....	37

II.9.2. Moteur à combustion interne.....	38
II.9.3. Principe de fonctionnement.....	38
II.10. Machines électriques.....	39
II.10.1. Classification des machines électriques.....	39
II.10.2. Moteurs électriques.....	39
II.10.3. Types des moteurs électriques.....	40
II.11. Conclusion.....	41
Chapitre III : Systèmes d'étanchéités	
III.1. Introduction.....	42
III.2. Principe de fonctionnement	42
III.3. Les type d'étanchéité.....	42
III.3.1. Étanchéité statique.....	43
III.3.1.1. L'étanchéité statique indirecte.....	43
III.3.1.1.1. Les joints d'étanchéité plane.....	43
III.3.1.1.2. Les joints toriques.....	44
III.3.1.2. L'étanchéité statique directe.....	45
III.3.2. Étanchéité Dynamique.....	46
III.3.2.1. Translation.....	46
III.3.2.1.1. Les joints toriques.....	46
III.3.2.1.2. Bague anti-extrusion.....	46
III.3.2.1.3. Les joints en U.....	47
III.3.2.1.4. les soufflets.....	47
III.3.2.1.5. Les membranes.....	47
III.3.2.1.6. Les Racleur.....	48
III.3.2.1.7. Les Segments.....	48
III.3.2.2. Rotation.....	49
III.3.2.2.1. Le joint à levier.....	49
III.3.2.2.2. Les joints V'Rings.....	50
III.3.2.2.3. Joint hélicoïdal.....	51

III.3.2.2.4. le joint annulaire.....	51
III.3.2.2.5. Joint à bague flottante.....	52
III.3.2.2.6. Étanchéité par labyrinthe.....	53
III.4. Les garnitures d'étanchéités.....	55
III.5. Principaux types de garnitures d'étanchéité - critères de choix.....	55
III.5.1. Les garnitures à tresses « presse-étoupe ».....	55
III.5.1.1. Principe de fonctionnement.....	56
III.5.1.2. Avantages et inconvénients d'une garniture à tresses.....	57
III.5.2. Les garnitures mécaniques.....	58
III.5.2.1. Principe de base.....	58
III.5.2.2. Les types des garnitures mécaniques.....	59
III.5.2.2.1. Garniture mécanique avec contact lubrifié.....	59
III.5.2.2.2. Garniture mécanique avec contact non lubrifié (dite sèche).....	60
III.5.2.2.3. Garniture mécanique sans contact (dite garniture gaz).....	61
III.5.2.3. Les différents montages de garniture.....	62
III.5.3. Les circuits auxiliaires.....	65
III.5.3.1. Lubrification (ou le flushing).....	65
III.5.3.2. Le refroidissement.....	66
III.5.3.3. Conduite et contrôle des systèmes auxiliaires.....	66
III.6. Conclusion.....	67
CHAPITRE IV : Maintenance et entretien de garniture d'étanchéité	
IV.1. Généralités sur la maintenance.....	68
IV.1.1. Définition.....	68
IV.1.2. But de la maintenance.....	68
IV.1.3. Différents types de maintenance.....	68
IV.1.3.1. La maintenance préventive.....	69
IV.1.3.2. La maintenance corrective.....	70
IV.2. Les causes des défaillances.....	71
IV.3. La maintenance des Garnitures mécaniques.....	71

IV.3.1 Rodage des grains.....	71
IV.3.2 Changement de GM.....	71
IV.4. Surveillance des émissions.....	73
IV.5. Plans API (standard 182).....	74
IV.6. Conclusion.....	76
CHAPITRE V : Diagnostic des garnitures et proposition des solutions	
V.1. Introduction.....	77
V.2. Pompes d'huile chaude.....	79
V.2.1. Fonction et caractéristiques.....	79
V.2.2. Caractéristiques de la garniture mécanique.....	79
V.2.3. Défaillances et diagnostic de la garniture.....	79
V.2.4. Remèdes.....	81
V.3. Pompes d'expédition GPL.....	86
V.3.1. Fonction et caractéristiques.....	86
V.3.2. Caractéristiques de la garniture mécanique.....	86
V.3.3. Défaillances et diagnostic de la garniture.....	86
V.3.4. Remèdes.....	88
V.4. Pompes d'expédition brute.....	91
V.4.1. Fonction et caractéristiques.....	91
V.4.2. Caractéristiques de la garniture mécanique.....	91
V.4.3. Défaillances et diagnostic de la garniture.....	91
V.4.4. Remèdes.....	93
V.5. Pompes Condensat.....	94
V.5.1. Fonction et caractéristiques.....	94
V.5.2. Caractéristiques de la garniture mécanique.....	94
V.5.3. Défaillances et diagnostic de la garniture.....	94
V.5.3. Remèdes.....	96
V.6. Conclusion.....	96
Conclusion générale.....	97
Bibliographie.....	98
Annexes	102

LISTE DES FIGURES

Figure.I.1 : Position Géographique De Hassi R'mel.....	3
Figure.I.2 : Organigramme de la direction régionale De Hassi R'mel.....	4
Figure.I.3 : Organigramme de la direction d'ONR.....	5
Figure II.1 : Turbine à gaz.....	15
Figure II.2 : Principaux composants d'une turbine à gaz.....	15
Figure II.3 : Turbine à vapeur.....	16
Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur.....	18
Figure II.5 : Turbine hydraulique.....	19
Figure II.6 : Turbine hydraulique Type turgo.....	19
Figure II.7 : Turbine hydraulique type Pelton.....	19
Figure II.8 : Turbine hydraulique type Kaplan.....	19
Figure II.9 : Turbine hydraulique type Francis.....	19
Figure II.10 : classification générale des pompes.....	21
Figure II.11 : Pompe centrifuge.....	22
Figure II.12 : Pompe centrifuge multicellulaire horizontale.....	24
Figure II.13 : Pompe centrifuge verticale.....	25
Figure II.14 : Pompe double à pistons à simple effet.....	25
Figure II.15 : Pompe à engrenages.....	26
Figure II.16 : Pompe à palettes libres.....	26
Figure II.17 : Les différents types des compresseurs volumétriques.....	27
Figure II.18 : Compresseur à piston.....	27
Figure II.19 : Compresseur à membrane.....	27
Figure II.20 : Les compresseurs rotatifs.....	29
Figure II.21 : Les compresseurs dynamiques.....	30
Figure II.22 : Compresseur dynamique axial.....	30
Figure II.23 : Compresseur centrifuge.....	31
Figure II.23 : Compresseur MCL.....	32

Figure II.24 : Compresseur 2MCL.....	32
Figure II.25 : Compresseur 3MCL.....	33
Figure II.26 : Compresseurs BCL.....	33
Figure II.27 : Compresseur 2BCL.....	34
Figure II.28 : DBCL avec corps en forme de cloche.....	34
Figure II.29 : Compresseur type BCL-VHP.....	35
Figure II.30 : Compresseurs type SR.....	35
Figure II.31 : Ventilateur industriel.....	36
Figure II.32 : Ventilateur centrifuge.....	36
Figure II.33 : Ventilateur axial.....	36
Figure II.34 : Moteurs thermique.....	37
Figure II.35 : Fonctionnement d'un moteur à 4 temps.....	38
Figure II.36 : machine électrique.....	39
Figure II.37 : Moteur électrique.....	40
Figure III.1 : Les différents types d'étanchéité.....	42
Figure III.2 : Model d'étanchéité statique.....	43
Figure III.3 : Les joint plat.....	43
Figure III.4: Les joints assembles liquide(JAL).....	44
Figure III.5 : Les joints pré-polymérisés (JPP).....	44
Figure III.6 : Exemple de joint torique.....	45
Figure III.7 : Exemple d'étanchéité statique direct.....	45
Figure III.8 : Exemple de joint torique dynamique.....	46
Figure III.9 : Bague anti-extrusion.....	46
Figure III.10 : Le joint en U.....	47
Figure III.11 : Le soufflet.....	47
Figure III.12 : Exemple sur les membranes.....	48
Figure III.13 : Le Racleur.....	48
Figure III.14 : Les segments.....	49
Figure III.15 : Joint à levier.....	50

Figure III.16 : Les joint V'Rings.....	51
Figure III.17 : Joint hélicoïdal.....	51
Figure III.18 : Le joint annulaire.....	52
Figure III.19 : Joint à bague flottantes.....	52
Figure III.20 : Labyrinthe.....	53
Figure III.21 : Labyrinthe enter étage.....	53
Figure III.22 : Joint à labyrinthe.....	54
Figure III.23 : Les tresses.....	55
Figure III.24 : Presse-étoupe.....	56
Figure III.25 : La garniture mécanique.....	58
Figure III.26 : Garniture mécanique avec contact lubrifié.....	60
Figure III.27 : La garniture à gaz.....	61
Figure III.28 : Les rainures.....	62
Figure III.29 : Garniture simple.....	63
Figure III.30 : Garniture double.....	63
Figure III.31 : Garniture tandem.....	64
Figure III.32 : Garniture tandem avec labyrinthe intermédiaire.....	64
Figure III.33 : Circuit de lubrification.....	65
Figure III.34: Le refroidissement.....	66
Figure IV.1 : Organigramme de maintenance.....	68
Figure.V.1 : Pompe d'huile chaude 60-P-01 B.....	79
Figure.V.2 : Différentes constations sur le joint de manchon de garniture.....	80
Figure.V.3 : Différentes constations sur la partie tournant de garniture.....	80
Figure V.4.a : Dissipateur de chaleur vertical.....	83
Figure V.4.b : Les diamètres de dissipateur.....	84
Figure V.5.a : Filtration par un strainer ou filtre on Y.....	85
Figure V.5.b : Pompe 60-B.....	85
Figure V.5.c : Installation un échangeur thermique avec une convection naturel.....	85
Figure V.6 : Pompe d'expédition du GPL 50-P-01 A.....	86

Figure V.7. : Dépôts noirs dans le logement de garniture.....	87
Figure V.8. : Dépôts noirs sur le manchon de la garniture.....	87
Figure V.9.a : Filtration par séparateur cyclone.....	90
Figure V.9.b : Installation couverte pour empêcher les grains de sable.....	90
Figure V.10 : Pompe d'expédition du brut 70-P-01 A.....	91
Figure V.11.a : Dépôts noirs dans la boîte de garniture.....	92
Figure V.11.b : Bouchage des orifices au niveau picages.....	92
Figure V.12 : Filtration par séparateur abrasive.....	93
Figure V.13 : Pompe transfère condensat 40-P-05 A.....	94
Figure V.14.a : Grain mobile de la pompe reflux condensat 40-P-06 A.....	95
Figure VI.14.b : Garniture mécanique de la pompe de reflux.....	95
Figure V.15 : Installation du système d'injection de N ₂	96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Classification des ventilateurs en fonction de la pression.....	37
Tableau IV.1: Exemple de plans API appliqués à l'installation des garnitures mécanique	75
Tableau V.1 : L'intervention des pompes pendant 6 ans.....	78
Tableau V.2 : La propriété de l'air pour diffèrent température.....	84

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- **HRM** Hassi R'mel
- **ONR** Oued Noumer
- **GPL** Gaz de pétrole liquéfié
- **ATK** Aït Kheir
- **HP** Haut pression
- **MP** Moyenne pression
- **BP** base pression
- **TG** Turbine à Gaz
- **MCL** Compresseurs multi étages
- **2MCL** Compresseurs multi étages groupant deux étages
- **3MCL** Compresseur multi- étages avec plus de 2 étage
- **BCL** Compresseurs du type barrel d'un seul étage
- **2BCL** Compresseurs de type barrel avec deux étages
- **DBCL** Compresseurs de type barrel avec deux étages en parallèle dans seul corps
- **BCL-VHP** Corps de ces compresseurs sont en forme de cloche avec un seul flasque de fermeture sur un plan vertical au lieu de deux
- **JAL** Joints assemblés liquide
- **JPP** Joints pré-polymérisés
- **GM** Garniture mécanique
- **PTFE** Polytétrafluoroéthylène
- **API** The American Petroleum Institute
- **CP** Centre Production
- **CR** Centre de Réinjection

LISTE DES SYMBOLES

- Ra - Nombre de Rayleigh
- Gr - Nombre de Grashof
- Pr - Nombre de Prandtl
- g - Accélération de la pesanteur
- L_c - Longueur caractéristique
- T_s - Température de la paroi
- T_∞ - Température du fluide loin de la paroi
- ν - Viscosité cinématique
- α - Diffusivité thermique
- β - Coefficient de dilatation thermique volumétrique
- g - Accélération de la pesanteur
- ΔT - Différence de température
- ρ - Masse volumique du fluide
- μ - Viscosité dynamique
- Nu - Nombre de Nusselt
- h - Coefficient de transfert thermique
- λ - Conductivité thermique du fluide
- D_{c1} - Diamètre du cyclone standard
- D_{c2} - Diamètre du cyclone proposé
- Q_1 - Débit standard
- Q_2 - Débit proposé (huile chaude)
- $\Delta\rho_1$ - Différence de densité solide-fluide dans la condition standard
- $\Delta\rho_2$ - Différence de densité, conception proposée
- μ_1 - Fluide de viscosité d'essai
- μ_2 - Viscosité, fluide proposé
- d_2 - Diamètre moyen des particules séparées selon la conception proposée
- d_1 - Diamètre moyen de la particule séparée dans les conditions standard

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur industriel, en particulier le secteur de l'énergie est le pilier de l'économie nationale algérienne, donc cela le pétrole et le gaz naturel représente les ressources naturels les plus extraits et dépendent du produit national des hydrocarbures , Si nous allons dans les domaines de l'extraction du pétrole et du gaz ou des raffineries et des stations de pompage et de stockage, nous trouverons des machines mécaniques, en particulier les machines tournantes ou les turbomachines comme turbine à gaz , les pompes, le compresseur ...etc. Il occupe une grande partie de ces zones industrielles et peut également se retrouver dans d'autres zones telles que les centrales électriques , La large utilisation de ce type de machines, en raison de son importance, a permis de développer des plans et le développement de nouvelles technologies pour maintenir et assurer le bon fonctionnement , L'un des défauts les plus importants de ce type de machines est peut-être les fuites de fluides c'est pour cela les savants des mécanique ont trouvé des moyens d'éviter ces défauts et ont mis au point un système d'étanchéité qui empêche ou réduit les fuites de fluide par les joints mais ces derniers n'ont pas réussi dans certains cas avec ces machines et ont mis au point une nouvelle technologie ou méthodes d'étanchéité par les garnitures mécaniques, ce dernier s'appuie sur le système de refroidissement et la lubrification.

Dans notre travail on va essayer de parler de certaines machines tournantes, leurs classifications et leurs domaines d'exploitation, Ensuite nous parlons du système d'étanchéité sur lequel nous dépendons et des types des joints et garnitures mécaniques utilisés dans ce système et nous soulignons également l'importance de la maintenance et son rôle dans la bon fonctionnement des usines et des machines qui les composent, Enfin nous traitons certains problèmes qui affectent les pompes, en particulier les pièces des garnitures mécaniques, et donnons quelques solutions pour éviter les dommages (Les pompes utilisées dans cette partie du mémoire se trouvent à la station Oued Noumer de la Sonatrach) .

Notre mémoire se compose de cinq chapitres :

- Une indentification du champ d'Oued Noumer (situation géographique, les unités existes, matériels ...etc.).
- Une généralité sur les machines tournantes (principe de fonctionnement, types, domaines d'application).
- Une vision générale sur le système d'étanchéité et les garnitures mécaniques (types d'étanchéité, les types des joints et les garnitures mécaniques ...etc.).

- La maintenance des garnitures mécaniques (les types de maintenance et leur importance).
- Diagnostic et propositions des solutions (des problèmes des pompes au niveau garnitures mécaniques).

CHAPITRE I : DESCRIPTION DE CHAMP OUED NOUMER

I.1. Introduction :

La Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures "SONATRACH", a créé le 31 décembre 1963 par décret n°63-491. Elle avait pour objet de préparer et de mettre au point les études préalables à la construction des moyens de transport terrestres ou maritimes permettant de véhiculer les hydrocarbures liquides ou gazeux. Un second décret n°66-296 du 22 septembre 1966 élargi les missions de la SONATRACH à tous les domaines de l'industrie pétrolière, à savoir la recherche, l'exploitation industrielle et commerciale des gisements d'hydrocarbures solides, liquides et gazeux et des substances connexes.

I.2. Gisement de Hassi R'mel [1]:

Hassi R'mel est une daïra dans la wilaya de Laghouat, est située à une distance de 120 Km de cette dernière, et de 550 Km de la capital d'Alger, et d'une altitude de 760 m par rapport au niveau de la mer, elle a un caractère industrielle par ses grandes installations d'exploitation du gaz.

Le gisement de Hassi R'mel est un gisement de gaz naturel qui représente une source très importante pour l'économie Algérienne Figure.I.1, il a été découvert en 1956 durant l'occupation française et mise en production en 1961, il est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale qui se situe à une profondeur de 2 Km, il a une longueur de 70 Km et une largeur de 50 Km avec une hauteur de 3 Km. La capacité du gisement est de l'ordre de 3000 milliards m² récupérables. C'est un gisement de gaz à condensât, ses réserves sont considérées parmi les plus grandes réserves du monde, le méthane (CH₂) constitue la plus grande proposition bien qu'il comprenne d'autres composants lourds.

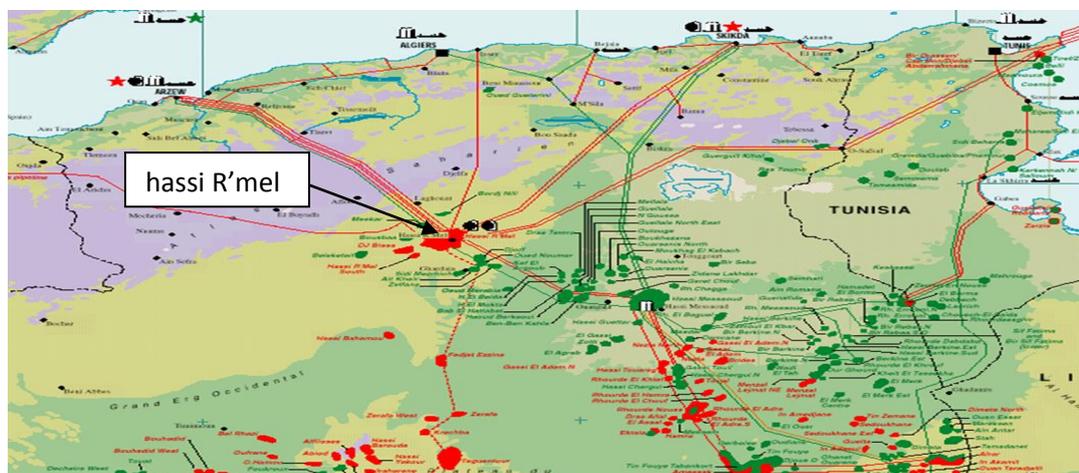


Figure.I.1 : Position géographique de Hassi R'mel

I.3. Organisation de la direction régionale de Hassi R'mel :

Plusieurs divisions et structures exécutent des tâches liées directement à la production des hydrocarbures, ces dernières sont coordonnées par la direction régionale qui est le lieu d'établissement, de réalisation et de suivi des programmes détaillés de production et d'expédition.

Les structures rattachées à la direction régionale sont :

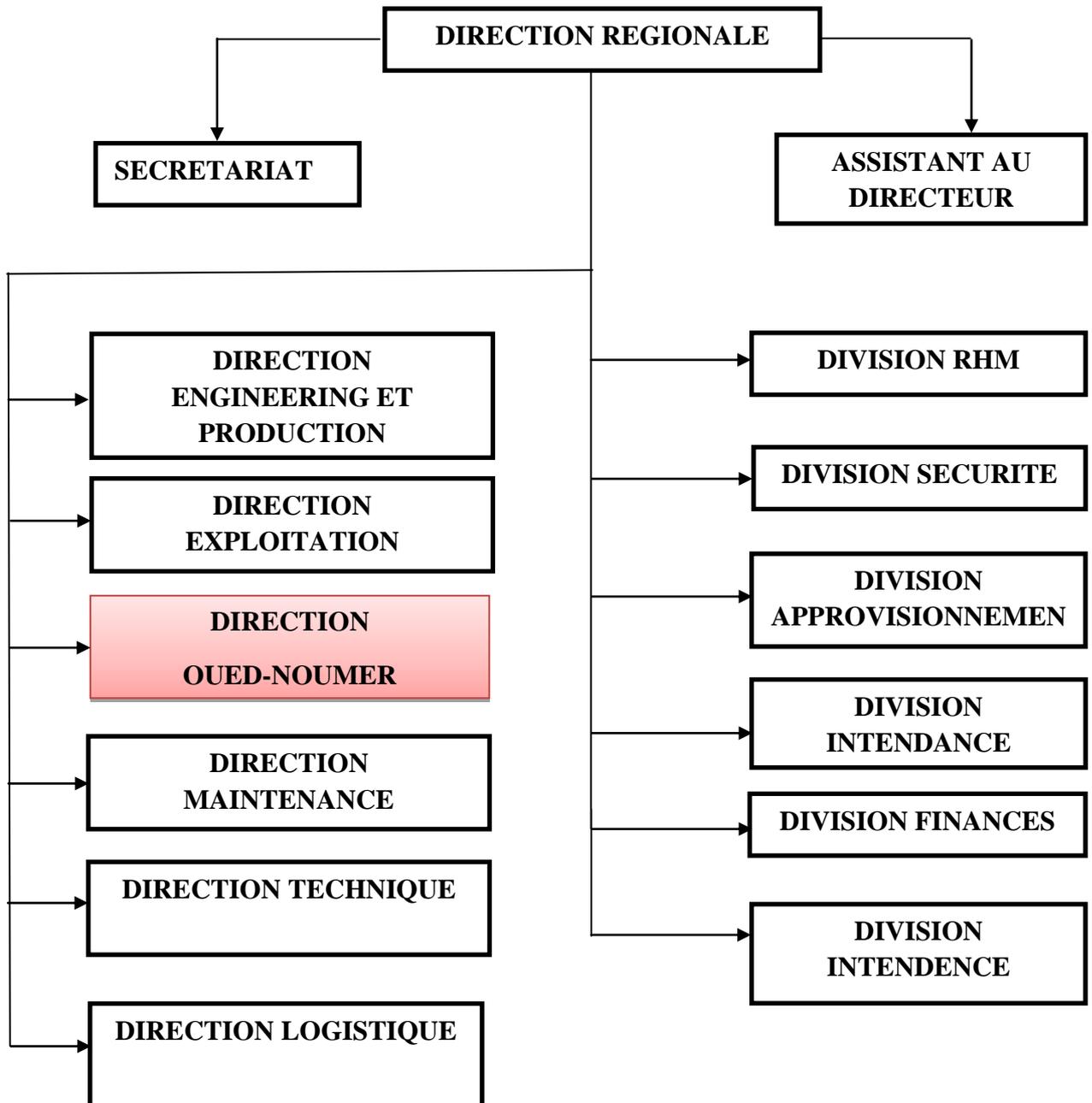


Figure.I.2 : Organigramme de la direction régionale de Hassi R'mel

I.4. Direction OUED NOUMER [1] :

I.4.1 Position géographique :

La Direction de Oued Noumer est située à 140 Km au Sud-Est du champ gazier de Hassi-R'Mel et à 220 Km à l'Ouest-Nord du champ pétrolier de Hassi-Messaoud. Son siège administratif et sa base de vie sont installés à 5 Km au nord de la RN 49, axe routier reliant Ghardaïa à Ouargla et à environ 45 Km de la ville de Ghardaïa (20 km de Zelfana). Le champ d'ONR se compose de cinq petites structures :

- ❖ Oued Noumer
- ❖ Aït Kheir
- ❖ Djorf
- ❖ Sidi Mezghich
- ❖ Makouda

Organigramme de la direction d'ONR

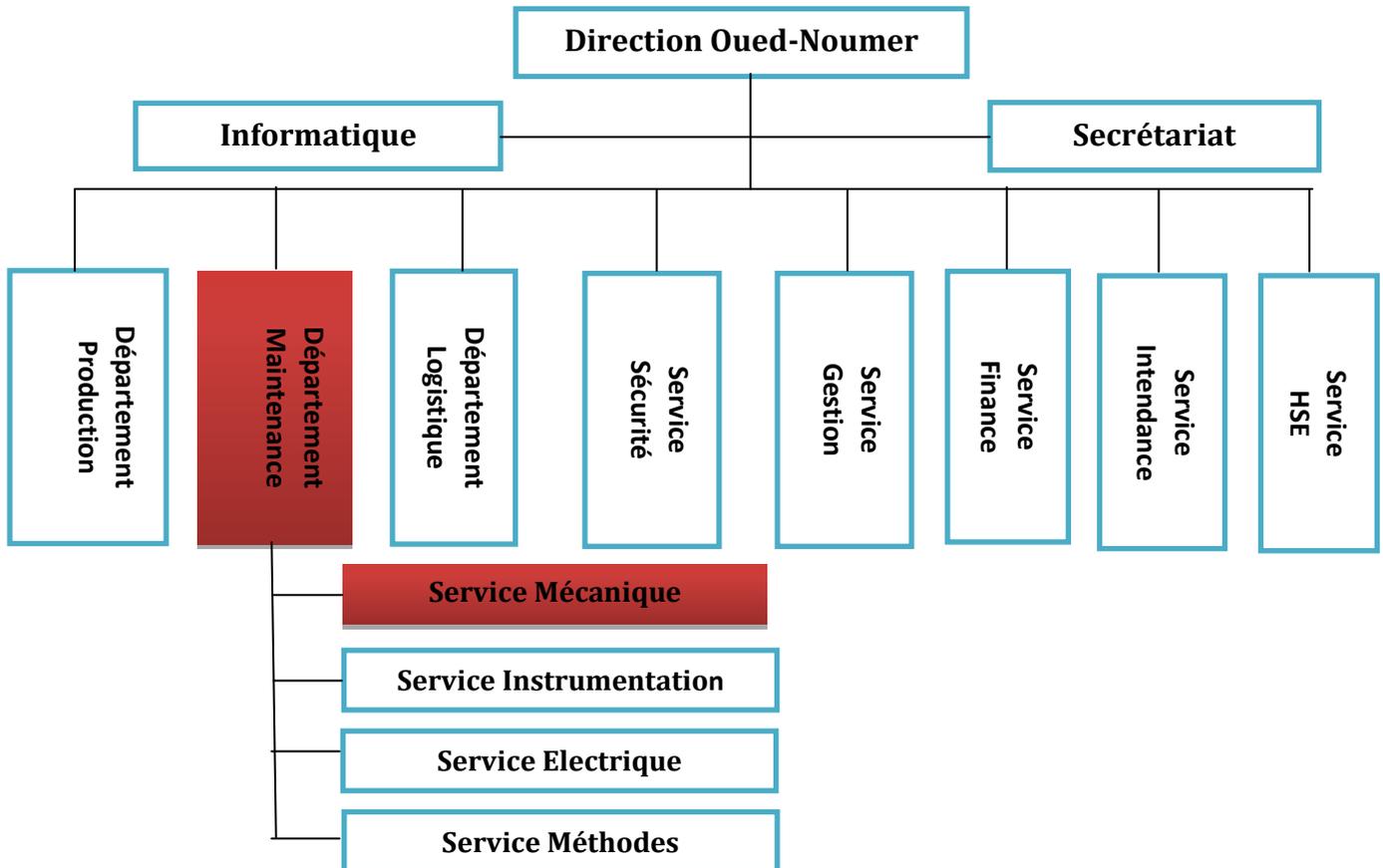


Figure.I.3 : Organigramme de la direction d'ONR

I.4.2. Description de centre de production :

Le centre de production d'Oued Noumer a pour but de produire :

- Pétrole brut.
- Condensat.
- Gaz de pétrole liquéfié.
- Gaz naturel.

Date de début de construction :

Première unité de séparation de brut : 1970

Nouvelle unité de séparation de brut et de récupération des gaz : 1983

Unité d'extraction de GPL : 1993.

I.4.3. Capacité de production et de stockage:

- GPL : 2 400 m³/jour (1 200 T/J)
- Huile/condensat : 8 750 T/Jour
- Gaz : 3 x 3 x 10⁶ Millions de M³/jour

I.5. Description des installations :

I.5.1. Unité 20 (traitement de brut et de gaz d'ONR) :

Cette unité a pour but de séparer le gaz associé de l'huile brute. Cette séparation s'effectue en plusieurs étages travaillant à des pressions décroissantes, de façon à dégazer le plus possible l'huile brute, avant de la stocker. Afin d'améliorer la stabilisation de l'huile, deux fours de stabilisation permettent d'ajuster la Tension de Vapeur Reid (TVR) de l'huile pour éviter un dégazage dans les bacs de stockage.

A. Séparateur HP (20B01) : Le séparateur reçoit, à partir du manifold existant du centre, le mélange (gaz, huile, eau), effluent des puits de ONR. La pression de séparation déclinera dans le temps, de 15 à 12 bars absolus. L'eau de gisement décantée, est expédiée sous régulation de niveau, vers le borbier. Le gaz HP effluent, est expédié sous régulation de pression vers le ballon 20B02. L'huile brute est envoyée sous régulation de niveau dans le séparateur MP 20B03.

B. Fours de Stabilisation (20F01 A/B) : Les deux fours de stabilisation sont identiques, chacun étant dimensionné pour assurer 50% du service.

La puissance des fours a été dimensionnée de manière à pouvoir à couler aux bacs de stockage, un mélange stabilisé (huile, condensats), de TVR très faible.

L'alimentation des deux fours est constituée de :

- L'huile brute du séparateur 20B01.
- L'huile brute d'ATK.
- Les condensats récupérés au niveau de l'unité de production de GPL.

Le mélange réchauffé à une température donnée (voisine de 65°C) est envoyé au séparateur MP 20B03.

C. Séparateur MP (20B03) : Le séparateur 20B03 de pression de service **3 bars** absolus, reçoit les effluents chauds des deux fours de stabilisation.

L'eau de gisement éventuelle est décantée puis expédiée à l'unité déshuilage sous régulation de niveau.

L'huile est envoyée sous régulation de niveau au séparateur BP. Le gaz MP effluent est expédié sous régulation de pression vers l'unité de compression.

D. Séparateur BP (20B04) : Le séparateur BP de pression de service *01 bar* et alimenté par l'huile effluent du séparateur MP.

Il est installé à une hauteur de 10 mètres, sur une structure métallique.

L'eau de gisement éventuelle, est décantée puis expédiée à l'unité déshuilage sous régulation de niveau. L'huile est envoyée sous régulation de niveau aux bacs de stockage. Et le gaz BP effluent (1 bar), est expédié sous régulation de pression vers l'unité de compression.

E. Séparateur HP de gaz (20B02) :

Le séparateur HP de pression de service **15 bars** est alimenté par :

- Le gaz effluent du séparateur HP du brut (20B01).
- Le gaz HP issu de l'unité de compression (sortie compresseur 31K01).
- Le gaz venant de l'ATK dans une pipe de 30".

L'eau de gisement éventuelle est décantée puis expédiée à l'unité déshuilage et après vers bourbier sous régulation de niveau.

I.5.2. Unité 30 (unité de compression) :

les unités de compressions *031/032/033* ont pour but d'élever la pression des gaz effluents provenant de l'unité de séparation (*020*) à une valeur de **102 bars absolus** pour permettre

après déshydratation dans les unités 041/042/043 et dégazolinage dans les unités 051/052/053 leur injection dans le gazoduc HM-HRM avec une pression maximum de **71 bars absolus**.

Cette unité est de conception identique (**unités 031/032/033**). Elle comprend essentiellement :

- 02 compresseurs centrifuges à deux étages.
 - Compresseur 031 K 01 comprenant un étage BP et un étage MP.
 - Compresseur 031 K 02 comprenant un étage MP et un étage HP.
 - Un (01) multiplicateur de vitesse.
- Une turbine à gaz 031KG 01 avec ses auxiliaires entraînant les équipements précités.
- Des séparateurs filtres :
 - 031 B 01 aspiration 1^{er} étage 031 K 01
 - 031 B 02 aspiration 2eme étage 031K 01
 - 031 B 03 aspiration 1^{er} étage 031K 02
 - 031 B 04 aspiration 2eme étage 031 K 02
- Une batterie d'aéro-réfrigérants de gaz inter-étage et finals :
 - 031 A 01, pour le refoulement de 2eme étage, 031 K 01
 - 031 A 02, pour le refoulement de 1^{er} étage, 031 K 02
 - 031 A 03, pour le refoulement de 2eme étage, 031 K 02
- Un aéro-réfrigérant d'huile de lubrification, 171 A 01.

Le gaz BP venant du 20B04 arrive en alimentation du 31B01 à une pression d'environ **1 bar absolu**. Le gaz sorti du séparateur filtre 31B01 est dirigé vers l'aspiration du 1er étage du 31 K01.

Le gaz MP venant du 20B03 arrive en alimentation du 31B02 à une Pression d'environ 3 bars absolus. Le gaz sorti du séparateur filtre 31B02 est dirigé vers l'aspiration du 2ème étage du 31 K01.

Le gaz HP issu du 31K01 est le produit de compression des gaz MP et BP est dirigé principalement vers le séparateur HP 20B02, après refroidissement dans l'aéroréfrigérant 31A01

Le gaz HP venant du 20B02 arrive en alimentation du 31B03 à une pression d'environ **15 bars absolus**. Le gaz sorti du séparateur filtre 31B03 est dirigé vers l'aspiration 1er étage du 31 K02 (3ème étage de la compression).

Le gaz sorti du compresseur à une pression de **45 bars absolus**, et est dirigé vers le séparateur filtre 31B04 après refroidissement dans les aéro-réfrigérants 31A02 et 31A01, puis vers l'aspiration 2ème étage du 31K02.

Le gaz HP sorti du 31K02 à une pression de **100 bars absolus** est dirigé directement vers l'unité du GPL.

I.5.3. Unité d'extraction du GPL :

L'installation reçoit le gaz à traiter de l'unité de compression (existante), en obtenant du GPL, gaz traité, condensat et un courant gazeux de recyclage.

Le complexe est formé par six unités de procédé et par quatre unités auxiliaires, comme il est indiqué ci-après :

A. Unité 100 : Pré-refroidissement et déshydratation du gaz :

Dans cette unité le gaz provenant de l'unité de compression existante est :

- Pré-refroidi de 60°C à 45°C en été et de 50°C à 37°C en hiver.(Equipement concerné : échangeur de chaleur 10-E-01)
- A cause du refroidissement il se forme de l'eau qui est séparée et déchargée au bourbier. (Équipement concerné : le réservoir 10-B-01)

Le gaz pré-refroidi est :

- Séché en enlevant la vapeur d'eau. (Équipement concerné : déshydrateur 10-R-01 A/B).
- 02 déshydrateurs travaillent en parallèle, le troisième étant en régénération 10-R-01C
- Après quelque temps le déshydrateur s'épuise (il n'arrive pas à absorber de l'autre vapeur d'eau) et il doit être régénéré (l'eau absorbée est enlevée).
- Le moyen de régénération est le gaz chauffé.
- L'échangeur 10-E-02 est l'équipement qui réchauffe le gaz de régénération.
- Le gaz de régénération avec l'eau enlevée est refroidi et l'eau est condensée.
- Equipement concerné est l'aéroréfrigérant 10-A-01.
- L'eau est séparée, recueillie et déchargée au bourbier. (Équipement concerné 10-B-02)

B. Unité 200 : Récupération du GPL :

Dans cette unité le gaz à traité est refroidie pour commencer la condensation des matières plus lourdes. (Équipement concerné : échangeur de refroidissement 20-E-01/02/03)

Le liquide obtenu (condensat) est séparé, recueilli et envoyé au traitement successif (distillation). (Équipement concerné : réservoir 20-B-06/08). Pour une condensation ultérieure des composants lourds le gaz refroidi par expansion. (Équipement concerné : expandeur 20-KE-01). Le liquide obtenu (condensat) est séparé, recueilli et envoyé au traitement successif (distillation) (le réservoir concerné est le 20-B-07). Et Le gaz résidu (gaz traité) est comprimé une 1ère fois et refroidi. (Équipement concerné : Le compresseur 20-k-01 est entraîné par l'énergie produite par l'expandeur 20-KE-01)

C. Unité 300 : Ré-compression du gaz traité :

Le gaz résidu est ultérieurement comprimé (compression finale) au moyen du compresseur 30-K-01 entraîné par la turbine à gaz 30-KT-01, refroidi dans l'aéro 30-A-01 et envoyé au pipeline.

D. Unité 400 : Fractionnement du GPL :

Tous les condensats préalablement obtenus, seront traités pour obtenir des produits avec les caractéristiques demandées.

Le 01^{er} traitement est représenté par l'élimination de l'éthane du condensat au moyen d'une colonne de distillation 40-C-01(dééthaniseur). Cette colonne a besoin pour fonctionner de quelques équipements auxiliaires tels que :

- Rebouilleur 40-E-01.
- Condenseur 40-E-03
- Réservoir de recirculation 40-B-02
- Pompes de recirculation. 40-P-06

La pompe 40-P-05 extrait le liquide et le laisse circuler dans l'échangeur 10-E-01 pour refroidir le gaz à l'entrée de l'installation.

Le fond de la colonne est envoyé au traitement successif (deuxième). Et le 2ème traitement est formé par la séparation du GPL des composants plus lourds à l'aide de la colonne 40-C-02. Cette colonne a besoin pour fonctionner de quelques équipements auxiliaires tels que :

- Rebouilleur 40-E-02
- Condenseur 40-A-04
- Réservoir de recirculation 40-B-03
- Pompes de recirculation 40-P-04

Les pompes de recirculation servent aussi à envoyer le GPL produit au stockage. Et les aéros 40-A-02/03 refroidissent le condensat avant de l'envoyer à l'ancienne unité et le GPL avant le stockage.

E. Unité 500 : Stockage et expédition du GPL :

Dans cette unité le GPL produit est stocké dans les ballons 50-T-01 A/B et ensuite expédié au pipeline au moyen des pompes 50-P-01 A/B/C

Les pompes 50-P-02 A/B sont utilisées pour envoyer le GPL non conforme aux spécifications à un nouveau traitement dans l'unité.

F. Unité 600 : Circulation huile chaude.

Cette unité est la source de chaleur nécessaire au fonctionnement de l'installation. La chaleur est obtenue en brûlant en partie le gaz combustible enlevé en dépressurant le gaz de procédé dans le four 60-F-01 et récupérant en partie la chaleur des fumées de décharge de la turbine à gaz 30-KT-01. Cette chaleur est distribuée aux services en faisant circuler l'huile thermique puis récupérer par l'échangeur 30-E-01.

Les usagers du système huile diathermique sont les suivants :

- Réchauffeur gaz de régénération 10-E-02
- Rebouilleurs 40-E-01 et 40-E-02

La circulation de l'huile thermique est effectuée au moyen des pompes 60-P-01. Et le réservoir 60-B-01 est affecté soit au stockage de l'huile thermique soit il sert de pot d'expansion.

Le **filtre 60-S-01** enlève de l'huile en circulation toute particule solide éventuelle qui pourrait se former à cause de dégradation de l'huile. Et l'aéro 60-A-01 sert à enlever la chaleur excédante non absorbée par les usagers.

L'huile thermique peut être chargée et déchargée du circuit par :

- Le réservoir 60-B-02
- Pompes 60-P-02/03

I.5.4. Unités auxiliaires :**A. Système méthanol et réseau de torche (unité 700) :**

Le méthanol est stocké dans le réservoir 70-B-02 et il est injecté dans le processus par les pompes 70-P-02. Il est utilisé en cas de formation d'hydrates. La torche froide reçoit toutes les décharges du processus en cas d'urgence ou pendant les purges ou les drainages.

B. Système air et gaz inerte (unité 800) :

Elle fournit à l'installation :

- l'air de service (pour nettoyage etc.)
- l'air instrument (pour démarrer les vannes de contrôle).
- l'azote pour inerties

Et l'installation comprend les équipements :

- Compresseur air 80-K-01
- Séparateur 80-B-01
- Sécheur 80-W-01
- Accumulateur air instruments 80-B-02

Le système azote est alimenté par l'air instruments et il est formé par le package 80-W-02 et par l'accumulateur azote 80-B-03

C. Distribution gaz combustible**D. Système anti incendie****E. Sous station électrique**

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MACHINES TOURNANTES

II.1. Introduction :

Les turbomachines forment une famille importante d'appareils qui utilisent un fluide pour effectuer une transformation d'énergie. De manière générale une turbomachine est définie comme un dispositif qui permet de donner ou de retirer de l'énergie à un fluide par l'action dynamique d'un élément rotatif appelé le rotor. Préfixe turbo provient du latin turbinis qui signifie qui tourne ou alors en rotation. Il a été introduit en France en 1822 par l'ingénieur de mines Claud Burdin (1790-1873).

On rencontre les turbomachines dans un grand nombre d'application nécessitant un transfert d'énergie. Essentiellement, on distingue trois types d'application : production électricité, turbine à gaz, turbine à vapeur, turbine hydraulique ; propulsion, turbine à gaz d'aviation compresseur de locomotives, turbine à gaz de navires ; industrie lourde, compresseur centrifuge turbocompresseur pour moteur diesel, turbine à gaz et turbine à vapeur, les pompes et les ventilateurs. [2]

II.2. Classification des turbomachines :

Il existe une très grande variété de turbomachines. Par leur principe de fonctionnement, on distingue deux types de turbomachines:

- Les turbomachines réceptrices : ce sont des machines qui reçoivent du travail (les compresseurs, les turbopompes) elles ont pour but de faire passer le fluide d'une pression inférieure à une pression supérieure.
- Les turbomachines motrices : ce sont des machines qui fournissent un travail (turbines à vapeur et à gaz). Elles ont pour but de faire passer le fluide d'une pression supérieure à une pression inférieure c'est à dire faire intervenir une détente.

On trouve une seconde classification des turbomachines en fonction de la direction principale de l'écoulement par rapport à l'axe de rotation de la machine. Selon ce critère on a :

- Les turbomachines axiales dans lesquelles la direction de l'écoulement est parallèle à l'axe de rotation de la machine.

- Les turbomachines radiales ou centrifuge dans lesquelles une partie importante de l'écoulement à l'entrée ou à la sortie est dans la direction normale à l'axe de rotation ou radiale.
- Les turbomachines mixtes dans lesquelles la direction de l'écoulement à l'entrée ou à la sortie comporte de composantes axiales et radiales.

Une troisième classification peut être faite en fonction de la nature de transfert énergétique. En particulier on trouve :

- Les turbomachines à impulsion ou à action dans lesquelles le fluide subit seulement un changement d'impulsion lors du passage dans le rotor sans aucune variation de pression.
- Les turbomachines à réaction dans lesquelles l'échange énergétique entre le fluide et le rotor entraîne une chute de pression sans aucune variation de vitesse.
- Les turbomachines de type combiné dans lesquelles le fluide subit un changement de pression et de vitesse lors de son passage par le rotor.

Enfin, on peut re-classifier les turbomachines en fonction du type d'installation .On distingue deux types :

- Les turbomachines encastrées telles que les pompes centrifuges, les turbines à gaz etc. ou le fluide circulé à l'intérieur de conduits.
- Les turbomachines en veine libre telles que les éoliennes, les hélices d'avion ou de navire. [2]

II.3.Turbine à gaz :

Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (gaz ou fuel). [3]



Figure II.1 : Turbine à gaz [4]

II.3.1. Description de la turbine à gaz :

La turbine à gaz est essentiellement formée de trois parties principales:

- Un Compresseur.
- Chambres de combustion.
- Une turbine de détente

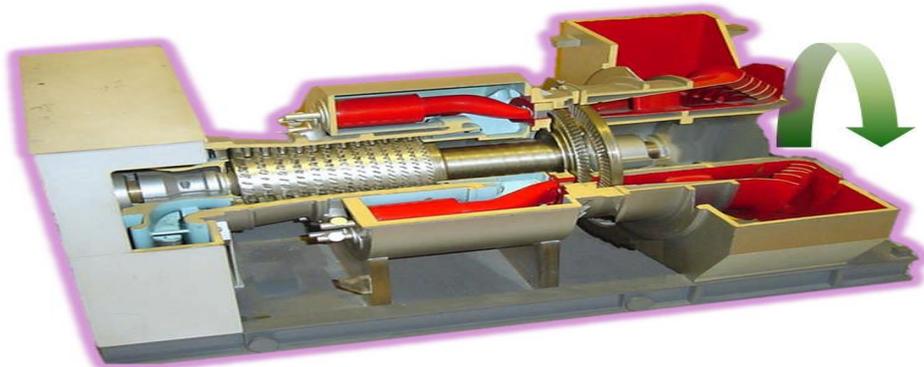


Figure II.2 : Principaux composants d'une turbine à gaz [4]

II.3.2. Principe de fonctionnement :

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- Elle extrait de l'air du milieu environnant (aspiration) ;
- Elle le comprime à une pression plus élevée par le compresseur (compression) ;
- Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le Combustible dans une chambre de combustion (gaz chaud) ;

- Elle achemine de l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, Qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre(Expansion) ; ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de L'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine et, de l'autre Coté à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen D'un accouplement comme par exemple un alternateur ou un compresseur centrifuge ;
- elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus (échappement). [5]

II.3.3. Domaine d'application :

La turbine à gaz est utilisée dans différents domaines :

- ❖ Les centrales électriques.
- ❖ Les stations de pompage et de compression.
- ❖ Les automobiles et locomotives des trains, les turbosoufflantes de suralimentation des moteurs à pistons alternatifs DIESEL.
- ❖ L'aviation (turboréacteurs).
- ❖ Moteurs à propulsion sur les bateaux.

II.4. Turbine à vapeur :

La turbine à vapeur c'est une machine thermique dans laquelle le fluide (vapeur d'eau) échange de l'énergie avec des roues appelées rotors, munies d'aubes tournantes. Elle a pour rôle la transformation de l'énergie enthalpie (de pression) contenue dans la vapeur en énergie cinétique puis mécanique de rotation [6]



Figure II.3 : Turbine à vapeur [7]

II.4.1. Description de la turbine à vapeur :

La turbine à vapeur comprend une partie fixe appelée stator qui porte des aubages directeurs. La vapeur en provenance de l'évaporateur est admise dans un collecteur. Elle s'écoule ensuite dans des canaux fixes (c'est là où l'énergie thermique se transforme en énergie cinétique) et dans des canaux mobiles (les énergies thermiques et cinétiques sont transformées en énergie mécanique). Les canaux fixes et mobiles se succèdent les uns à la suite des autres dans le sens de l'écoulement. La vapeur en provenance du générateur de vapeur est introduite dans les premiers étages de la turbine à travers des vannes d'admission et des soupapes de réglage asservies aux dispositifs de sécurité et de réglage de la turbine. La vapeur est détendue adiabatiquement en produisant un travail mécanique. La détente de la vapeur à travers les divers étages de la turbine se fait de façon différente selon qu'il s'agisse de turbines à action ou à réaction [8].

II.4.2. Principe de fonctionnement :

Bien que les turbines à vapeur (FigII.4) soient construites selon deux configurations différentes (à action ou à réaction), leurs éléments essentiels sont similaires. Elles se composent de tuyères ou de jets, et d'ailettes (aubes). La vapeur s'écoule dans les tuyères, dans lesquelles elle se dilate, ainsi, sa température diminue et son énergie cinétique augmente. La vapeur en mouvement exerce une pression contre les aubes, entraînant leur rotation. La disposition des jets et des aubes, fixes dépend du type de turbine. À la sortie du dernier condenseur, l'eau peut être de nouveau vaporisée et surchauffée, l'eau ou la vapeur récupérée en sortie est ramenée vers la chaudière par des pompes. La turbine à vapeur utilise les principes de la thermodynamique, lorsque la vapeur se dilate, sa température et donc son énergie interne diminuent. Cette diminution de l'énergie internes accompagne d'une augmentation de l'énergie cinétique sous forme d'une accélération des particules de vapeur (une réduction de 100 kJ de l'énergie interne, due à la dilatation, peut provoquer un accroissement de la vitesse des particules de vapeur de l'ordre de 2 800 km/h), à de telles vitesses, l'énergie disponible est très importante. Lorsque la pression de la vapeur d'eau en sortie de la turbine est égale à la pression atmosphérique, la turbine est dite à condensation. Aujourd'hui, les turbines à vapeur sont généralement limitées à une température maximale de 580 °C dans le premier étage, et à une pression maximale d'admission de 170 à 180 bars [9].

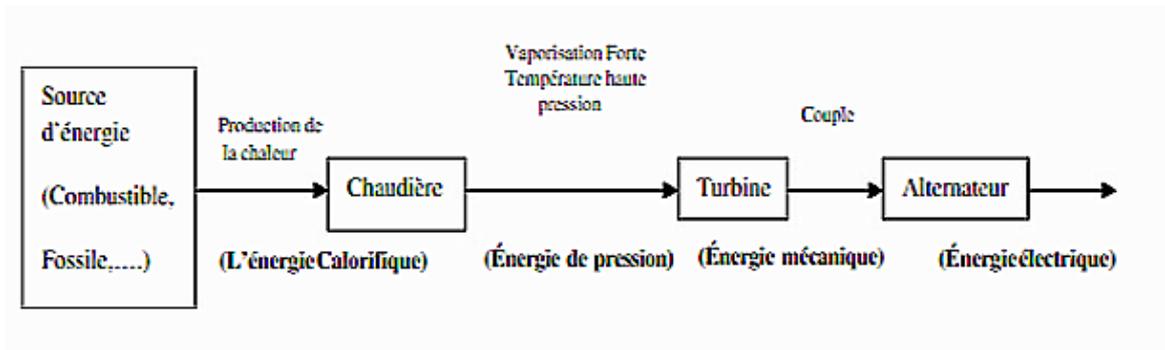


Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur [9].

II.4.3. Domaine d'application :

Les turbines à vapeur sont notamment utilisées dans la production d'électricité à partir d'énergie thermique ou pour la propulsion des bateaux. Dans les systèmes de cogénération c'est-à-dire utilisant à la fois la chaleur de traitement (celle utilisée lors d'un processus industriel) et l'électricité, la vapeur est portée à haute pression dans une chaudière, puis extraite de la turbine à la pression et à la température exigées par ce procédé. Dans ce cas, la turbine est dite à contrepression. Les turbines à vapeur peuvent être utilisées en cycles combinés avec un générateur de vapeur qui récupère la chaleur. Les unités industrielles sont utilisées pour entraîner des machines, des pompes, des compresseurs et des générateurs. Leur puissance nominale va de quelques centaines de Watts à plus de 1 300 MW. La turbine à vapeur est parfois associée à une turbine à gaz. Le rendement de la turbine à gaz étant faible, elle est généralement utilisée pour la production d'énergie de pointe, les calories des gaz d'échappement de la turbine à gaz servant à faire fonctionner la chaudière de la turbine à vapeur. [9]

II.5. Turbine Hydraulique :

Une turbine hydraulique est une machine tournante, constituée principalement d'une roue à aubes, qui reçoit l'énergie d'un fluide, sous forme d'énergie de pression ou d'énergie cinétique et qui la transforme en énergie mécanique directement utilisable sur un arbre en rotation. Le rendement des turbines se situe généralement entre 60 et 80% ; il croît avec la taille des roues. [10]



Figure II.5 : Turbine hydraulique [7]

II.5.1. Type de turbine hydraulique :

Les turbines hydrauliques sont classées en deux familles :

- les turbines à action, telles que les turbines type Pelton, Turgo et Banki-Mitchell, où l'énergie de l'eau, à la sortie de l'injecteur, est sous forme cinétique,
- les turbines à réaction, comme les turbines à hélices ou de type Kaplan ou Francis, où l'énergie de l'eau, à la sortie du distributeur, est à la fois sous forme de pression et d'énergie cinétique.[11]



Figure II.6 : Turbine hydraulique

Type turgo [7]



Figure II.7 : Turbine hydraulique

type Pelton [7]

Figure II.8 : Turbine hydraulique
type Kaplan [7]Figure II.9 : Turbine hydraulique
type Francis [7]

II.5.1.1. Principe de fonctionnement des turbines à réaction :

L'eau sous pression induit une force sur la face des aubes de la roue. Au fur et à mesure que l'eau traverse la turbine, la pression diminue, transformée en énergie mécanique de rotation et transmise au générateur par l'arbre de transmission. La roue de la turbine est complètement immergée et son bâti doit être capable de supporter la pression de service. Les turbines fonctionnant de cette manière sont appelées (turbines à réaction). Les turbines 'Francis', 'Kaplan' et 'à hélices' appartiennent à cette catégorie.

Une turbine à réaction utilise à la fois la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et une différence de pression (énergie de pression).

Deux principes sont à la base de fonctionnement d'une turbine à réaction :

- la création d'un tourbillon au moyen d'une bêche spirale, d'aubages du distributeur ou les deux à la fois
- la récupération du mouvement circulaire du tourbillon par les pales d'une roue en rotation qui devient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation.[12]

II.5.2.2. Principe de fonctionnement des turbines à action :

La pression de l'eau est entièrement convertie en énergie cinétique avant d'entrer en contact avec la roue et de lui transmettre son énergie. L'énergie cinétique est véhiculée par un jet à haute vitesse s'écoulant dans ces augets, montés sur la périphérie de la roue. Les turbines qui fonctionnent de cette manière sont appelées (turbines à action). La plus efficace et la plus utilisée est la turbine (Pelton).[12]

II.6. Les pompes :

La pompe est un appareil qui aspire un fluide d'une région à basse pression pour le refouler vers une région à plus grande pression. Ainsi d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide liquide.

L'augmentation de la pression du fluide véhiculé par la pompe a lieu à la suite de la Transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant cette pompe, en Une augmentation de l'énergie hydraulique qui est acquise par le liquide entre l'entrée Et la sortie de la pompe [13].

II.6.1. Types des pompes :

Suivant les modes des déplacements des liquides à l'intérieur des pompes, on classe ces dernières en deux grandes familles :

- les pompes centrifuges.
- les pompes volumétriques [13].

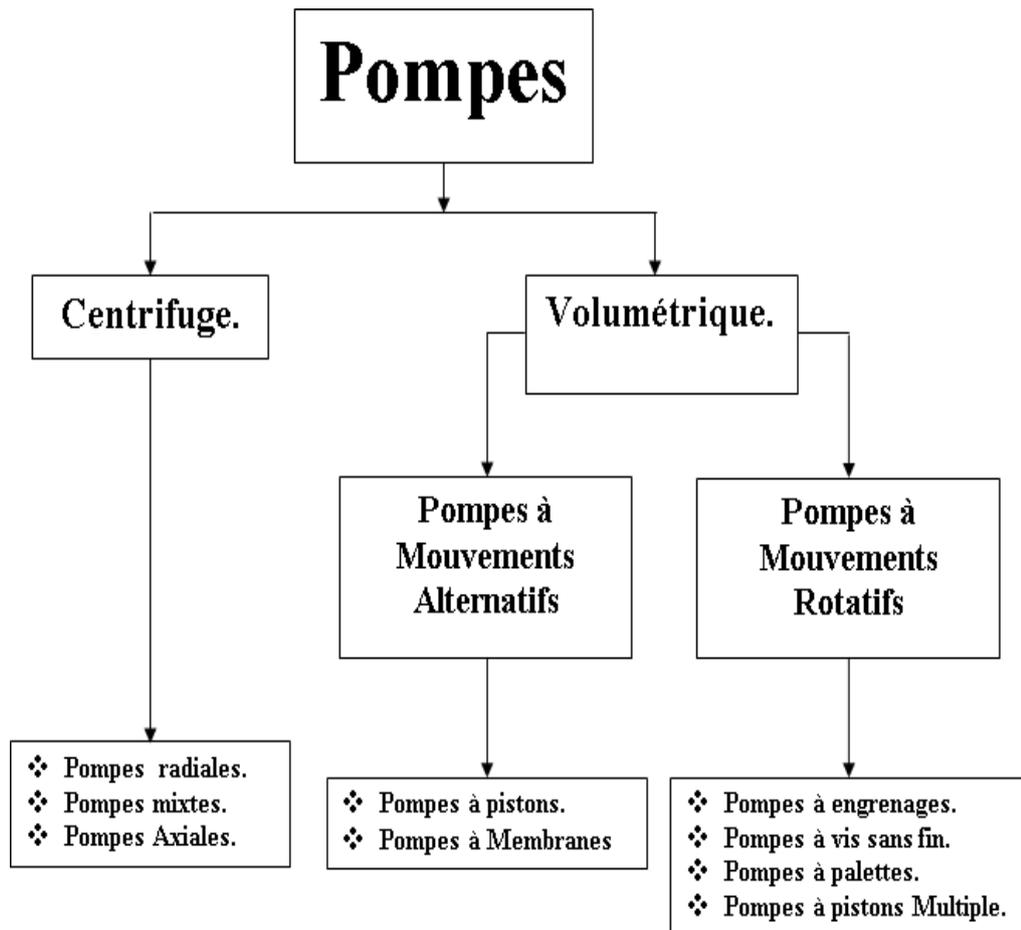


Figure II.10 : Classification générale des pompes [14]

II.6.1.1. Les pompes centrifuges :

a. Définition :

La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force Centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute. A la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice [15].



Figure II.11 : Pompe centrifuge

b. Constitution

Les pompes centrifuges sont de construction très simple en version de base. Elles sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation le rotor appelée aussi roue ou hélice qui tourne dans un carter appelée corps de pompe ou volute.

Ces machines se composent donc :

- **D'un distributeur** : sorte de tubulure qui sert à conduire l'eau avec une vitesse et une direction convenable dans l'axe de la pompe, il est généralement constitué par un cône convergent qui permet de réaliser une meilleure disposition des filets liquides en améliorant le parallélisme et l'égalité des vitesses.
- **D'une roue** : constituée par un moyen porté par un arbre et munie d'aubes à l'intérieur de deux flasques ouverts, semi-ouverts ou fermés. Entre l'entrée et la sortie de la roue, l'énergie hydraulique totale de la veine fluide est augmentée. Cette augmentation provient essentiellement d'un accroissement de l'énergie cinétique, cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression par un ralentissement progressif qui est obtenu dans une pièce placée à l'extérieur de la roue et qui, suivant le cas, peut-être :
 - ✓ Un diffuseur lisse.
 - ✓ Un diffuseur à ailettes.
 - ✓ Un colimaçon volute.
- **D'un corps de pompe** : construit en fonte, en générale, en un seul bloc pour les Pompes monocellulaires horizontales. Dans le corps de pompe se trouve tous les Logements et supports destinés à l'arbre, à savoir : coussinets, diaphragmes, Joints ainsi que les goulottes de refoulement et d'aspiration.

- **Tubulure d'aspiration** : il fait normalement partie du corps de pompe conduite d'arrivée y est reliée.
- **Tubulure de refoulement** : comme l'orifice d'aspiration, il fait partie du corps de Pompe et la conduite de refoulement y est reliée.
- **Étanchéité** : Pour éviter les pertes ou l'écoulement du fluide autour de l'arbre à l'endroit où celui-ci se trouve en saillie du corps de pompe, on utilise des garnitures et des joints. Les matériaux de construction utilisés peuvent être de différents métaux ou bien des fibres antifriction, il faut avoir un système de refroidissement forcé sur les pompes où l'on a monté des joints exclusivement métallique.
- **Arbre et chemises** : l'arbre est l'élément de la pompe sur lequel s'emboîtent-les roues mobiles et qui reçoit la force motrice utilisée. Les chemises sont des revêtements métalliques qui préservent l'arbre des corrosions, érosions et glissement
- **Coussinets** : Les coussinets supportent l'arbre dans le sens radial et axial et le roulement sur l'axe de tout le groupe rotor. Les matériaux de construction utilisés peuvent être en acier revêtu de métaux blancs ou rose antifriction.
- **Collecteur à volute** : l'on peut dire qu'en général le corps de pompe prend sa propre physionomie à partir de la forme du transporteur, nous disons donc que transporteur est la chambre située autour du refoulement de la roue mobile recueille et envoie le fluide aspirer de façon progressivement radiale.
- **Anneaux d'usure** : ce sont des anneaux métalliques montés en série jumelés sur le moyeu de la roue mobile et sur le corps de la pompe. Ces anneaux sont construits dans des métaux différenciés afin d'empêcher le grippage en cas de glissement. Ces anneaux assurent la séparation entre le refoulement de la roue mobile et l'œillard de celle-ci. Le rendement de la pompe dépend en grande partie du degré de l'usure de ces anneaux [16].

c. Principe de fonctionnement :

On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :

❖ L'aspiration :

Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor.

La pompe étant amorcée, c'est à dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage [15].

❖ L'accélération :

Le rotor transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie du rotor, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie. La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression [15].

d. Différents types de pompes centrifuges :

Il existe différentes formes de roues et d'aubes qui induisent une classification de ces machines :

- Des rotors fermés ou rotors ouverts
- On peut monter plusieurs roues sur le même arbre ce qui permet d'augmenter la pression de refoulement

On les appelle pompes multicellulaires ou multi étagées.

Alors que les pompes centrifuges ce sont les plus employées. On distingue :

- les pompes centrifuges (à basse et haute pression).
- les pompes hélices.
- les pompes hélico-centrifuges. [17]

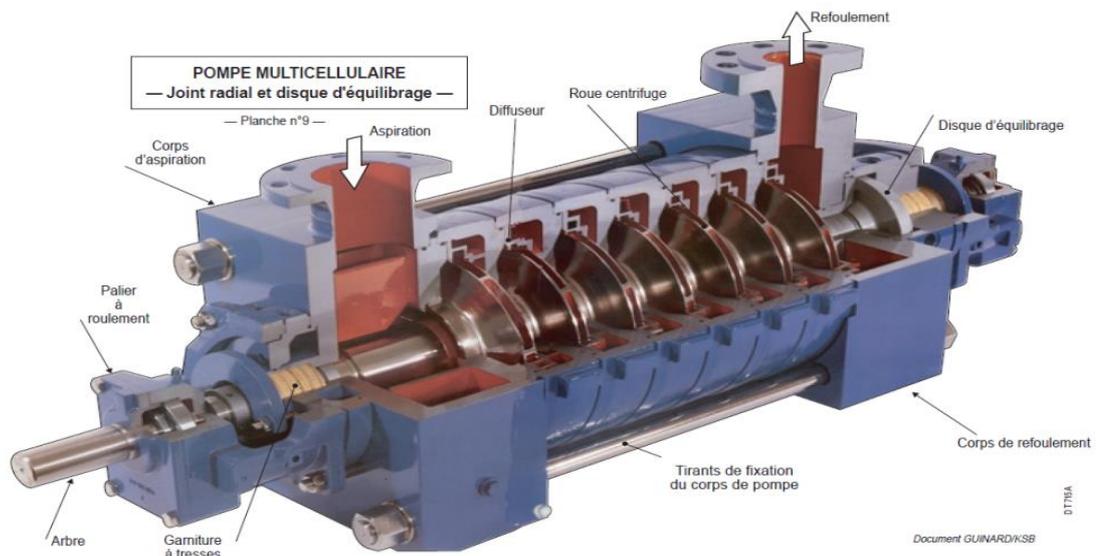


Figure II.12 : Pompe centrifuge multicellulaire horizontale [14]

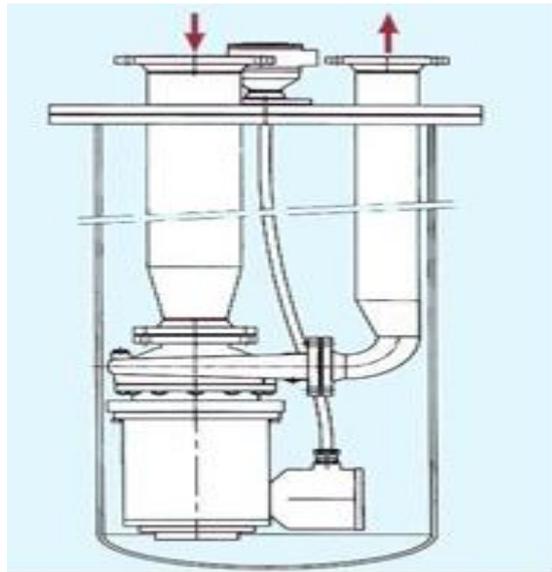


Figure II.13 : Pompe centrifuge verticale [14]

II.6.2. Les pompes volumétriques :

Ces pompes sont surtout destinées au pompage des fluides visqueux et elles sont utilisées pour élever de faibles débits à de fortes pressions.

On distingue :

- les pompes rotatives.
- les pompes à rotor excentré, à rotor oscillant, à palettes, à engrenages.
- les pompes à piston (alternatives) [17]

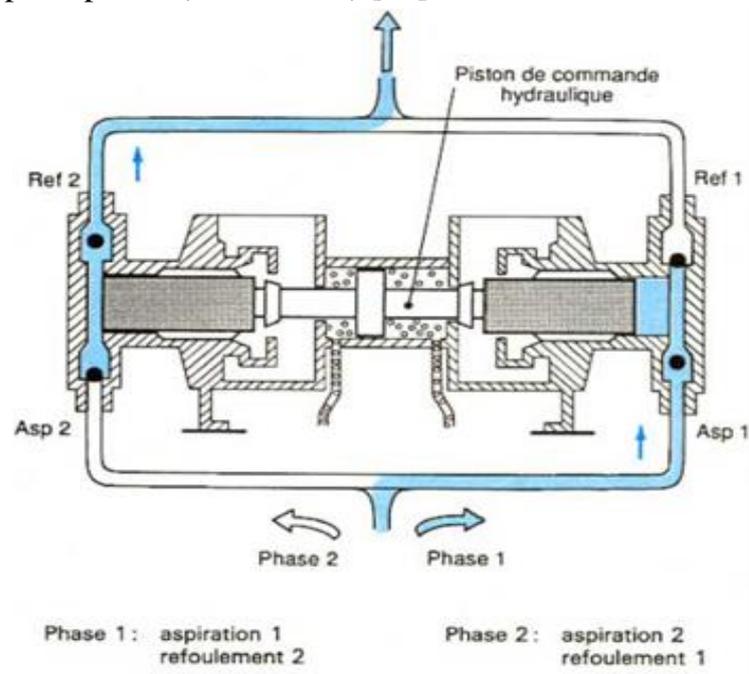


Figure II.14 : Pompe double à pistons à simple effet [14]

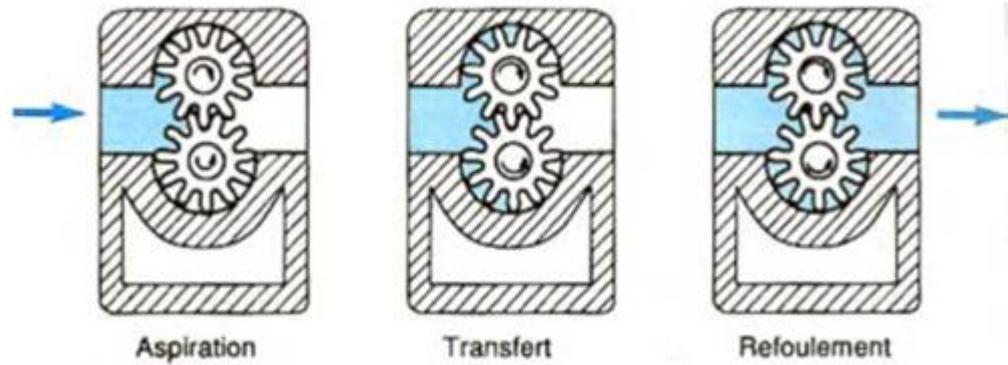


Figure II.15 : Pompe à engrenages [14]

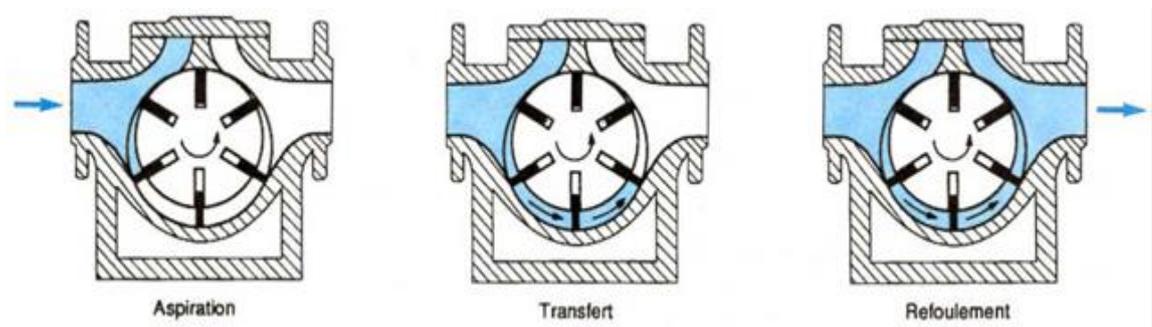


Figure II.16 : Pompe à palettes libres [14]

II.7. Le Compresseur :

Les compresseurs sont des appareils qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression; (en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux). [18]

II.7.1. Type des compresseurs :

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques Selon :

- le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique)
- mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif)
- les compresseurs d'air
- les compresseurs des gaz. [18]

II.7.2. Compresseurs volumétriques [18]

On divise cette famille en deux catégories :

- Compresseurs alternatifs

➤ Compresseurs rotatifs volumétriques

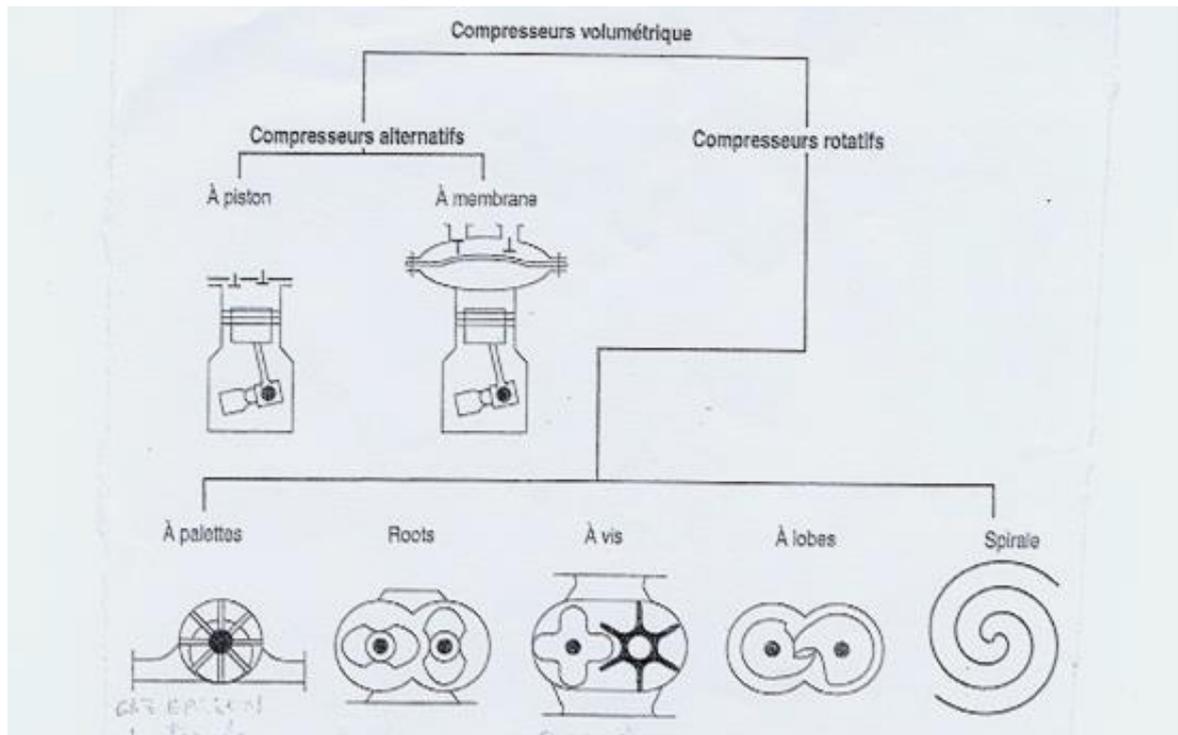


Figure II.17 : Les différents types des compresseurs volumétriques

II.7.2.1. Compresseurs alternatifs :

Le gaz est introduit dans espace limité par des parois métallique (cylindre et piston) L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance) et par conséquent la pression augmente, quand la pression est parallèle à celle du circuit de haute pression le gaz est refoulé.

On distingue deux types :

- Compresseur à piston : (Système bielle manivelle ; Système à barillet)
- Compresseur à membrane

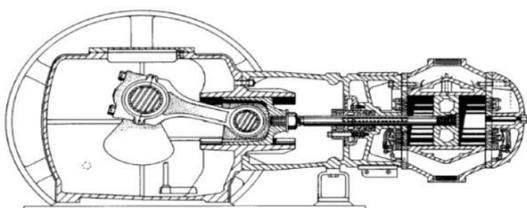


Figure II.18 : Compresseur à piston

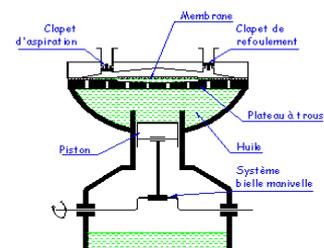


Figure II.19 : Compresseur à membrane

II.7.2.1.1. Compresseur à piston :

Ces compresseurs réalisent la compression du gaz par réduction du volume qui lui est offert. La variation du volume et le déplacement du gaz est obtenu par le mouvement alternatif d'un piston à l'intérieur d'un cylindre. On classe les compresseurs à piston d'après les différents indices:

- ❖ disposition des cylindres (horizontale, verticale);
- ❖ nombres des cylindres (monocylindrique, ...);
- ❖ méthode de refroidissement (air, eau);
- ❖ méthode de graissage (barbotage, sous pression,...).

II.7.2.1.2. Compresseur à membrane :

C'est la déformation élastique d'une membrane qui assure l'aspiration et la compression du gaz. Un système hydraulique permet d'assurer la flexion de la membrane : un piston se déplace dans le cylindre et agit sur le fluide hydraulique qui transmettra son mouvement oscillatoire à la membrane.

Le rôle du plateau à trous est d'assurer une bonne répartition du fluide sous la membrane. Celle-ci est souvent constituée de trois disques métalliques : ce système a l'avantage de permettre la détection de la rupture de la membrane par une mesure de pression.

La membrane assure une étanchéité statique côté gaz procédé. De ce fait, les compresseurs à membrane sont utilisés pour des gaz dangereux, nocifs et corrosifs.

La membrane permet également de réaliser l'étanchéité vis à vis de la partie mécanique.

II.7.2.2. Compresseurs rotatifs volumétriques :

Ces compresseurs tels que les compresseurs à piston compriment les gaz par réduction du volume. Parmi les compresseurs rotatifs on distingue:

- compresseurs à palettes mobiles;
- compresseur à anneau liquide;
- compresseur à rotors hélicoïdaux.
- compresseur à lobes

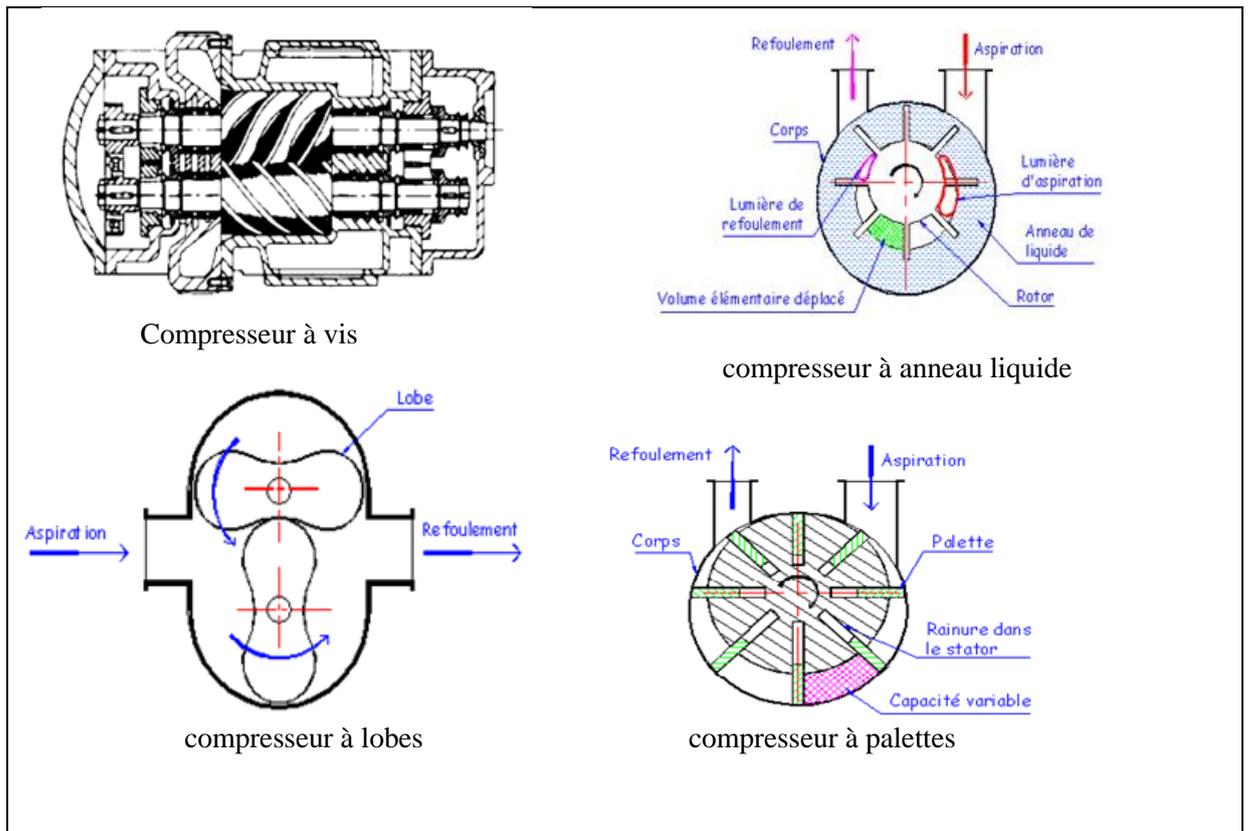


Figure II.20 : Compresseurs rotatifs

II.7.3. Compresseurs dynamiques [18]:

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

Les compresseurs centrifuges augmentent l'énergie du gaz comprimé grâce à la force centrifuge qui est provoquée par le mouvement de rotation des roues à aube.

L'indice principal de ces compresseurs est la continuité de l'écoulement de l'entrée à la sortie, A l'entrée de la roue se passe la compression du gaz et l'augmentation de l'énergie cinétique. L'énergie cinétique obtenue par le gaz est transformée en énergie potentielle dans les éléments immobiles.

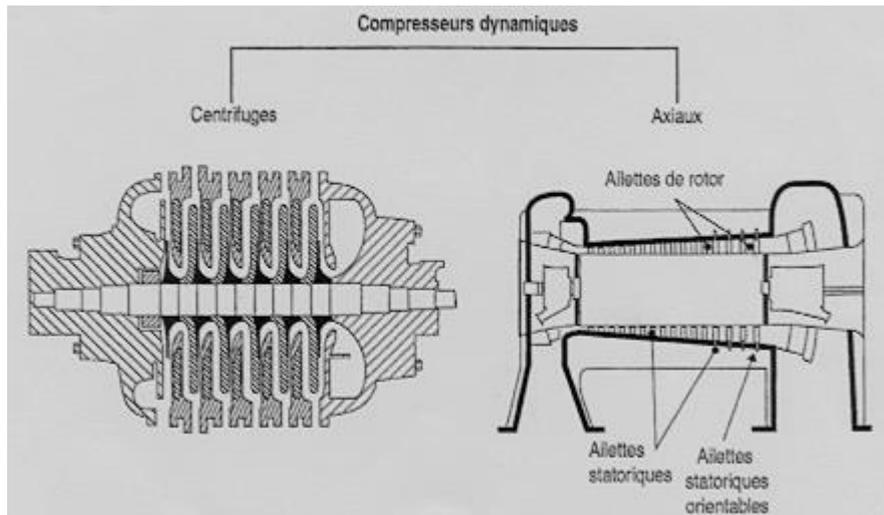


Figure II.21 : Compresseurs dynamiques

II.7.3.1. Compresseurs axiaux :

Les compresseurs axiaux comme les compresseurs centrifuges, sont des turbocompresseurs, l'accroissement de pression résulte d'une action sur la vitesse de fluide. Le travail fourni par la turbine sous forme d'énergie mécanique transmise à l'aube du compresseur est transformé en énergie cinétique du gaz à comprimer grâce à la rotation des aubes ; celle-ci est à son tour transforme en énergie de pression dans le diffuseur.

Chaque étage est constitué par une rangée d'aubes fixes, et une rangée d'aubes mobiles, disposées en un même cylindre voir fig. II.22. Les compresseurs axiaux sont utilisés pour les grands débits [18].



Figure II.22 : Compresseur dynamique axial

II.7.3.2. Compresseur centrifuge [18]:

Le compresseur centrifuge est une turbomachine dans laquelle le gaz s'écoule principalement dans le sens radial. L'énergie nécessaire pour augmenter la pression de gaz est

fournie en fluide par les aubes d'une roue centrifuge. Ces aubes divisent la surface latérale de la roue en secteurs servant de canaux d'écoulement, et forment un aubage.

Les roues solidaires à l'arbre fournissent de l'énergie à ce dernier. Une partie de cette énergie est transformée en augmentation de pression directement dans les roux, le reste dans le stator, c'est-à-dire dans les diffuseurs.



Figure II.23 : Compresseur centrifuge

II.7.4. Principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge :

Le gaz est aspiré par le compresseur à travers la bride d'aspiration, il entre dans une chambre annulaire appelé **volute d'aspiration** et converge uniformément vers le centre de toutes les directions radiales. Dans la chambre annulaire du côté opposée par rapport à la bride d'aspiration, il existe une ailette pour éviter la formation de tourbillons du gaz.

Le gaz entre dans le diaphragme d'aspiration et donc aspiré par la première roue. La roue pousse le gaz vers la périphérie en augmentant sa vitesse et sa pression ; la vitesse à la sortie aura une composante radiale et une composante tangentielle. Ensuite, d'un mouvement en spirale, le gaz parcourt une chambre circulaire formée d'un diffuseur où la vitesse diminue avec une augmentation de la pression.

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

II.7.5. Classification des compresseurs centrifuges [18]:

Les compresseurs centrifuges ont des formes différentes en fonction du service pour lequel ils doivent être utilisés, et en fonction de la pression nominale.

Pour les classer, on peut adopter les subdivisions suivantes:

II.7.5.1. Compresseurs avec corps ouverts horizontalement :

Les corps ouverts horizontalement, constituent évidemment des corps unis sur le plan du joint horizontal. Ils sont utilisés pour des pressions de fonctionnement restant au-dessous de 60 bars.

Les compresseurs avec corps ouverts horizontalement sont indiqués par le sigle MCL et peuvent être subdivisés à leur tour suivant le nombre d'étages compresseurs.

- ❖ **Compresseurs MCL :** Ce sont des compresseurs multi étages comprenant un étage compresseur.

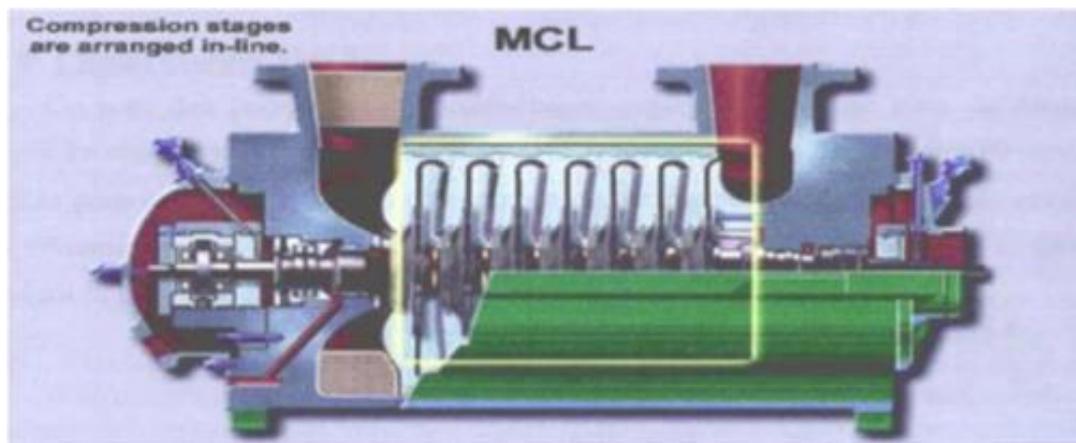


Figure II.23 : Compresseur MCL

- ❖ **Compresseur 2MCL :** Il s'agit de compresseurs multi étages groupant deux étages compresseurs en série avec réfrigération intermédiaire dans la même machine

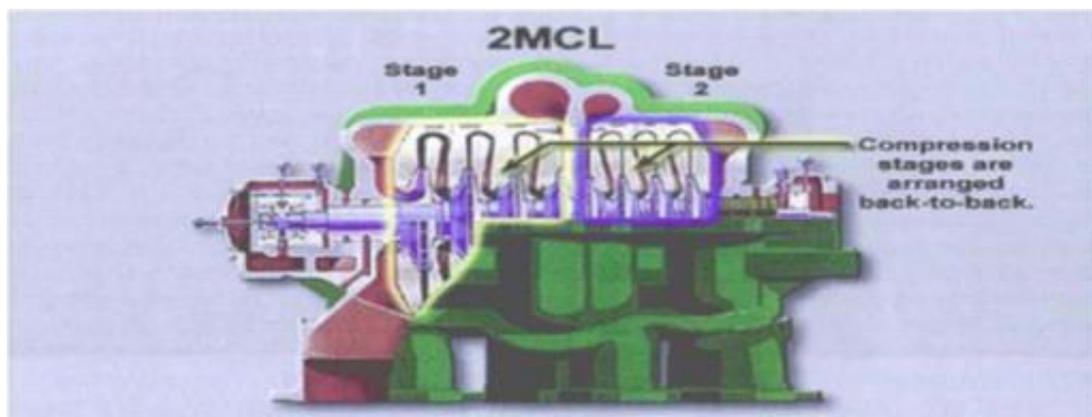


Figure II.24 : Compresseur 2MCL

- ❖ **Compresseur 3MCL :** Ce sont des compresseur multi- étages généralement avec plus de deux étages de compression réalisés dans un seul corps en général ils sont utilisés pour des service où on a besoin de comprimer des débits de gaz divers à des niveaux pression différents, soit avec injection ou avec extraction de gaz pendant la compression.

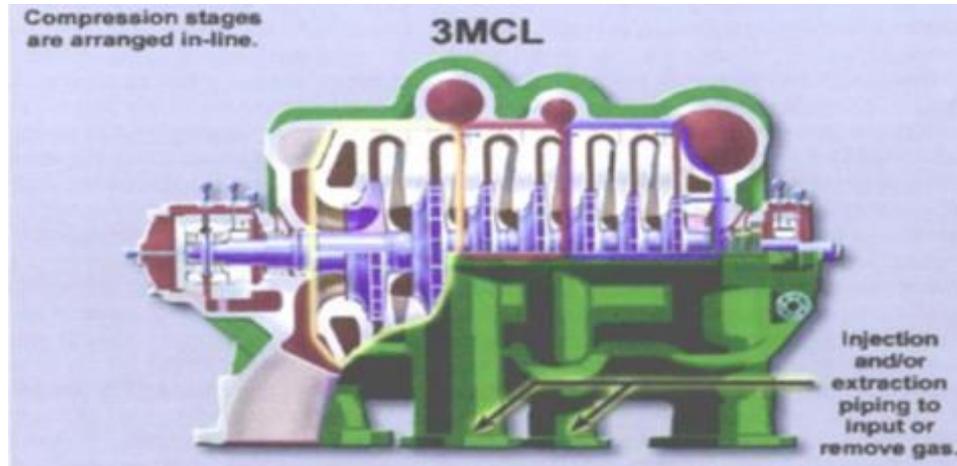


Figure II.25 : Compresseur 3MCL

II.7.5.2. Compresseur avec corps ouverts verticalement :

Les corps ouverts verticalement sont constitués d'un cylindre fermé aux extrémités par deux flasques c'est pour cette raison que ce type de compresseur est dénommé baril ces compresseurs, généralement multi étagés, peuvent fonctionner à des pressions élevées (jusqu'à 700k kg/cm²) le rotor et les diaphragmes situés à l'intérieur du corps ne diffèrent pas fondamentalement de ceux des compresseurs MCL.

- ❖ **Compresseurs BCL :** Ce sont des compresseurs du type baril prévoyant un seul étage de compression.

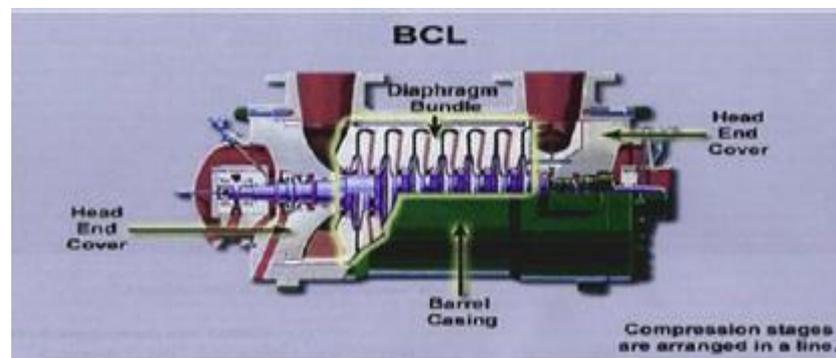


Figure II.26 : Compresseurs BCL

- ❖ **Compresseurs 2BCL** : Il s'agit de compresseurs de type baril avec deux étages de compression en série dans un seul corps

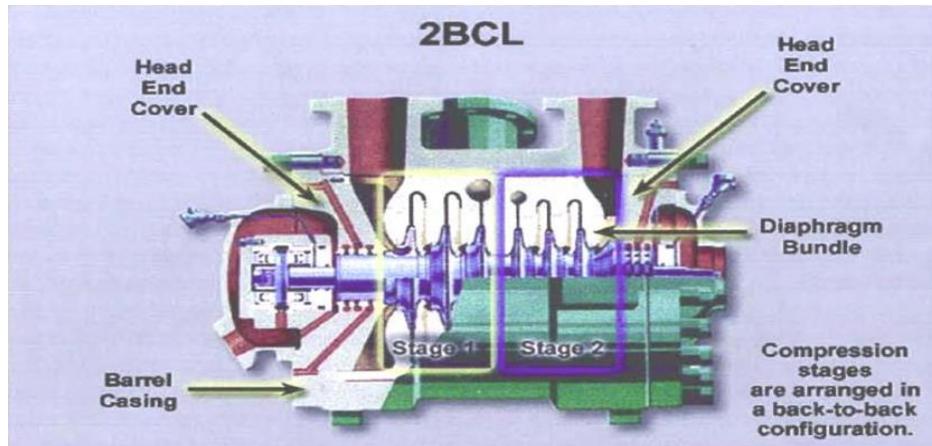


Figure II.27 : Compresseur 2BCL

- ❖ **Compresseurs DBCL** : Comme les compresseurs DMCL, ils réalisent deux étages de compression en parallèle dans un seul corps.

II.7.5.3. Compresseurs avec corps en forme de cloche :

- ❖ **DBCL avec corps en forme de cloche** : Les compresseurs baril à haute pression ont des corps en forme de cloches et sont fermés par des segments à la place des boulons.

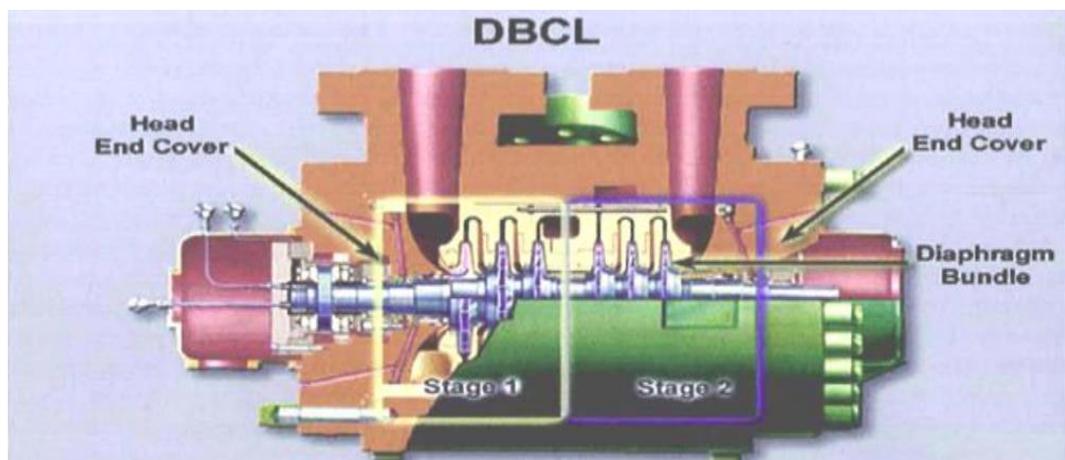


Figure II.28 : DBCL avec corps en forme de cloche

- ❖ **Compresseurs type BCL-VHP** : Les corps de ces compresseurs sont en forme de cloche avec un seul flasque de fermeture sur un plan vertical au lieu de deux; comme pour les BCL, et généralement ils sont utilisés pour transporter le gaz naturel les brides d'aspiration et de refoulement sont latérales et opposées pour pouvoir les raccorder plus facilement aux canalisations du gazoduc.

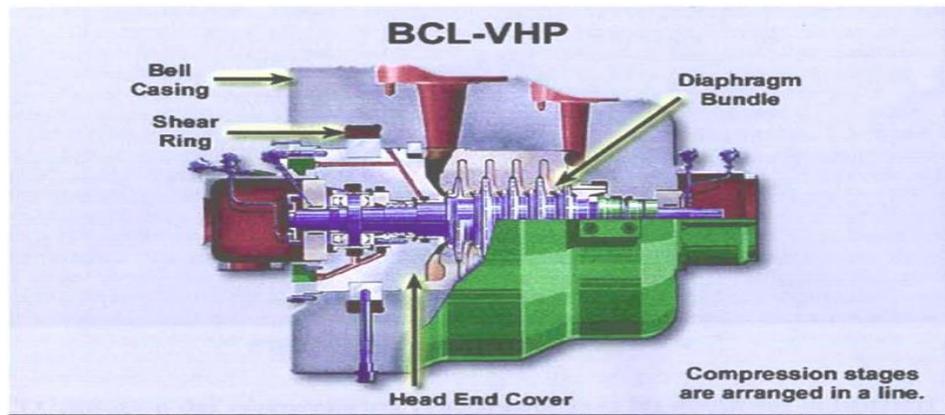


Figure II.29 : Compresseur type BCL-VHP

- ❖ **Compresseurs type SR** : Il s'agit de compresseurs pour des services à des pressions relativement basses leurs caractéristiques est d'avoir plusieurs arbres et les roues relatives, montées en porte-à faux. La roue est du type ouvert, c'est-à-dire sans contre disque, pour permettre des vitesses périphériques élevées de compression pour chaque étage. L'aspiration de chaque roue est axiale tandis que le refoulement est radial. Ces compresseurs sont généralement utilisés pour comprimer de l'air, de la vapeur et pour des applications géothermiques etc....

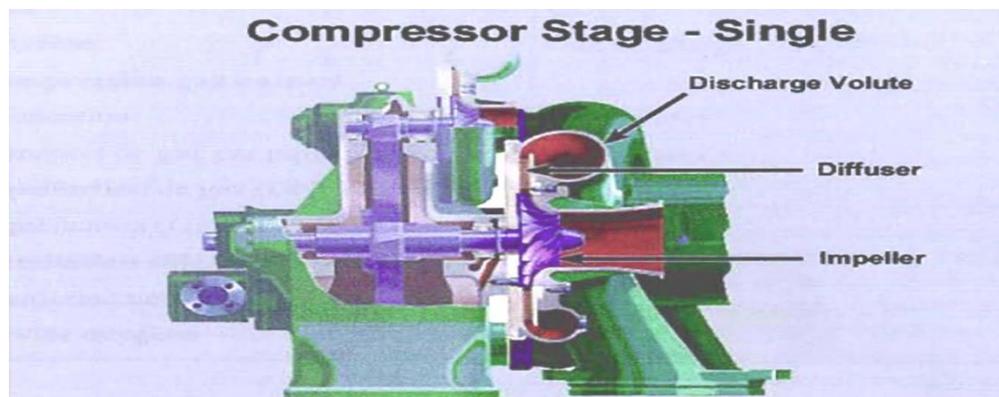


Figure II.30 : Compresseurs type SR

II.8. Les ventilateurs :

Un ventilateur est un appareil destiné, comme son nom l'indique, à créer un vent artificiel, un courant d'air.[19]

On appelle ventilateurs des appareils de compression de gaz donnant des surpressions faibles ou modérées. Par exemple, si le fluide est de l'air, aux conditions ambiantes, la surpression fournie varie usuellement de 1 500 à 20 000 Pa.[20]



Figure II.31 : Ventilateur industriel [7]

II.8.1. Classification des ventilateurs : [21]

Classification en fonction de la direction de l'air pulsé :

- ❖ Les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes : l'air est aspiré et propulsé parallèlement à l'axe de rotation du ventilateur.
- ❖ Les ventilateurs radiaux ou centrifuges : l'air est aspiré parallèlement à l'axe de rotation et propulsé par force centrifuge perpendiculairement à ce même axe. Il existe des ventilateurs à aubes recourbées vers l'avant (à aubages avant), à aubes recourbées vers l'arrière (à aubages arrière) ou à aubes radiales. Il existe aussi des ventilateurs centrifuges à deux ouïes d'aspiration. Ces roues plus larges, parfois composées de deux roues simple ouïe accolées, aspirent l'air de chaque côté de la roue.
- ❖ Les ventilateurs tangentiels : l'air est aspiré et refoulé perpendiculairement à l'axe de rotation.



Figure II.32 : Ventilateur centrifuge



Figure II.33 : Ventilateur axial

Classification 2 en fonction de la pression : (tableau II.1)

Tableau II.1 : Classification des ventilateurs en fonction de la pression

Ventilateur basse pression	$\Delta p < 1\,500\text{ Pa}$
Ventilateur moyenne pression	$1\,500\text{ Pa} < \Delta p < 3\,600\text{ Pa}$
Ventilateur haute pression	$3\,600\text{ Pa} < \Delta p < 10\,000\text{ Pa}$
(Compresseur)	$(\Delta p > 10\,000\text{ Pa})$

II.9. Moteurs thermiques :

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique. Ils sont encore appelés les moteurs à combustion interne. [22]



Figure II.34 : Moteurs thermique [7]

II.9.1. Classification des moteurs thermique :

Les moteurs thermiques généralement distingués en deux types :

- Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle : c'est le cas des moteurs à essence et diesel.

- Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement par exemple dans cette dernière catégorie on trouve les machines à vapeur, le moteur Stirling [22].

II.9.2. Moteur à combustion interne :

Le moteur à combustion interne est une machine thermique qui convertit l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique, généralement sous forme d'un mouvement rotatif d'un arbre.[23]

On peut classer les Moteurs combustion interne en deux types :

- Les moteurs à explosion (à essence).
- Les moteurs à combustion (Diesel).

II.9.3. Principe de fonctionnement [23]:

❖ Moteurs à 4 temps: essence

Temps 1: le mélange air/essence est introduit dans le cylindre par la soupape d'admission

Temps 2: le mélange est comprimé

Temps 3: La combustion du mélange (grosso modo à volume constant) survient et la détente des gaz de combustion produit un travail.

Temps 4: Les gaz sont expulsés du cylindre par la soupape d'échappement

❖ Moteurs à 4 temps: diesel

Temps 1: l'air (seul) est introduit dans le cylindre par la soupape d'admission

Temps 2: l'air est comprimé

Temps 3: le carburant est injecté et la combustion du mélange (grosso modo à pression constante) survient. La détente des gaz de combustion produit un travail.

Temps 4: Les gaz sont expulsés du cylindre par la soupape d'échappement

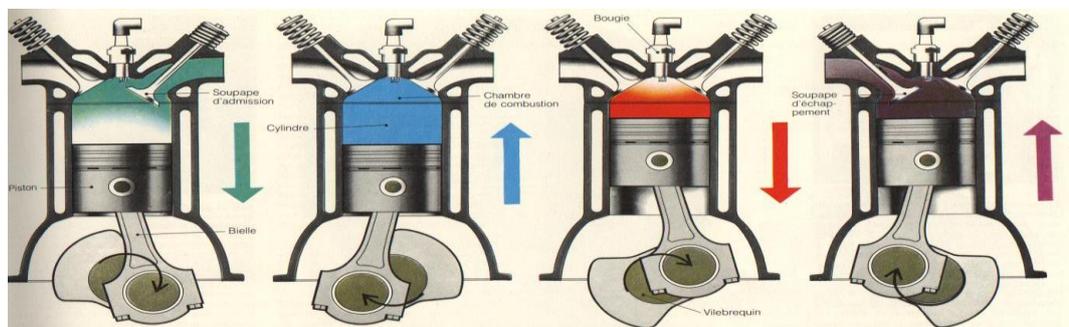


Figure II.35 : Fonctionnement d'un moteur à 4 temps [24]

❖ Moteurs à 2 temps: essence

Temps 1 : (piston montant): le mélange air / essence est introduit dans le cylindre et est comprimé. La combustion est initiée à la fin de course

Temps 2 : (piston descendant) les gaz produit de la combustion se détendent et produisent un travail.

II.10. Machines électriques :

Une machine électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, ainsi que la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique. Suivant les conditions d'utilisation, une seule et même machine électrique peut opérer la conversion d'énergie dans les deux sens, c'est-à-dire qu'elle peut fonctionner soit en moteur soit en génératrice : les machines électriques sont dites réversibles. [25]



Figure II.36 : Machine électrique [7]

II.10.1. Classification des machines électriques [26]:

Les machines électriques peuvent être classées en 3 catégories :

- ✚ Générateurs : qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique
- ✚ Moteurs : qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique
- ✚ Convertisseurs statiques : qui transforment l'énergie électrique en énergie électrique

II.10.2. Moteurs électriques :

Leur fonctionnement est basé sur l'obtention d'un effort mécanique par action d'un champ magnétique sur un circuit électrique traversé par un courant fourni par une source extérieure, laquelle peut aussi produire éventuellement le champ magnétique. Selon que le courant électrique fourni par la source extérieure est continu ou alternatif, la

machine sera appelée moteur à courant continu ou moteur à courant alternatif (synchrone ou asynchrone). [25]



Figure II.37 : Moteur électrique [7]

II.10.3. Types des moteurs électriques [26]:

➤ **Le moteur asynchrone :**

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'industrie. Il est peu coûteux, on le fabrique en grande série. Il est robuste et son entretien est très limité. Il est sûr : son fonctionnement ne génère pas d'étincelles à la différence d'un moteur à courant continu. Ce type de moteur équipe la quasi-totalité des machines-outils classiques, tours, fraiseuses, scies bobineuses, tapis roulants, pompes, compresseurs, perceuses,...).

➤ **Le moteur synchrone :**

Parce que leur fréquence de rotation ne dépend que du réseau qui les alimente, les moteurs synchrones ont des emplois spécifiques, par exemple là où une rotation uniforme est primordiale.

➤ **Les moteurs à courant continu :**

L'emploi des moteurs à courant continu est sans équivalent dans le domaine des très faibles puissances (jouets, perceuses miniatures,...). Il est en particulier presque obligatoire dans les équipements des automobiles (essuie-glaces, ventilateurs, lève-vitres, démarreurs,...). Dans le domaine industriel, on trouve des moteurs à courant continu de puissance moyenne dans les applications à vitesse variable

➤ **Les Moteurs universel :**

Les moteurs universels sont les moteurs les plus utilisés dans la vie domestique comme les moulins à café, les mélangeurs, mixeurs et robots ménagers, les foreuses, ponceuses et autres scies sauteuses des bricoleurs, les petits ventilateurs, les sèche-cheveux, aspirateurs...

➤ **Les Moteurs Pas à pas :**

Il faut signaler la montée extrêmement rapide, sur le marché industriel, de ce type de moteurs. Associés aux processeurs qui équipent les machines-outils à commande numérique.

II.11. Conclusion :

Les turbomachines représentent une grande partie des machines qui ont été réhabilitées dans l'industrie, grâce à leur diversité et à la variété de leurs fonctions, ce qui a permis leur utilisation dans plusieurs domaines.

Les turbomachines peuvent être classées en plusieurs catégories en fonction de plusieurs facteurs comme son fonctionnement, par la direction de l'écoulement, la nature de transfert énergétique et son type d'installation.

L'utilisation de turbomachines dans un large éventail de domaines différents que nous retrouvons dans plusieurs domaines, notamment la production d'électricité sous forme de turbine à gaz, les centres pompages comme compresseur et les pompes, domaine d'aviation comme turboréacteur...etc.

CHAPITRE III : SYSTEMES D'ETANCHEITE

Partie 01 : L'étanchéité

III.1. Introduction :

Les dispositifs d'étanchéité remplissent une des fonctions mécaniques de base ils séparent deux espaces de manière qu'aucun fluide ou autre substance ne puisse passer de l'un à l'autre. La notion d'étanchéité est très relative car l'étanchéité absolue n'existe pas. C'est un idéal vers lequel tend la technique. On se des définitions suivantes:

- **étanche aux liquides**; aucune trace de liquide n'est visible à la surface de la paroi
- **étanche aux gaz**; un gaz en surpression ou en dépression dans le système ne voit pas sa pression évoluer de manière appréciable en l'espace de quelques jours.

On s'est souvent satisfait de cette vision très simple, mais l'industrie moderne manipule aujourd'hui beaucoup de produits dangereux (toxiques, inflammables, radioactifs) qui nécessitent une connaissance beaucoup plus précise des fuites. Le souci d'éviter la pollution de l'environnement et de protéger les personnes conduit à quantifier les fuites et à leur fixer des limites. [27]

III.2. Principe de fonctionnement :

Réaliser une étanchéité consiste à créer une cavité fermée ne laissant pas sortir le fluide compris dans cette cavité ou ne laissant pas les fluides à l'extérieur de cette cavité y entrer.

Cette cavité est quasiment toujours obtenue à l'aide de plusieurs pièces qui mises en contact les unes avec les autres forment une cavité fermée et donc qui pourra être étanche.[28]

III.3. Les types d'étanchéité :

Le problème de l'étanchéité ne se pose en principe qu'entre deux éléments voisins. En ne considérant que les cas les plus fréquents est :

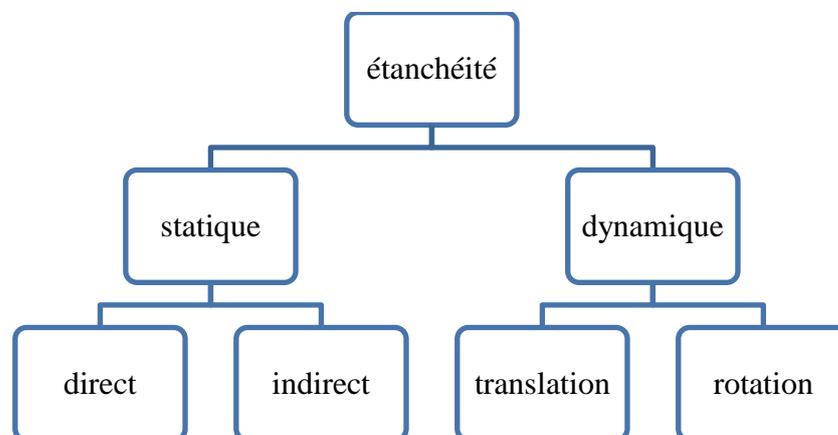


Figure III.1 : Les différents types d'étanchéité

III.3.1. Étanchéité statique :

Une étanchéité est dite statique lorsque les pièces en contact sont immobiles l'une par rapport à l'autre [27].



Figure III.2 : Model d'étanchéité statique [45]

III.3.1.1. L'étanchéité statique indirecte :

Le principe d'une telle étanchéité repose sur le fait que la déformation du joint va assurer une ligne de contact qui sera forcément fermée [29]. Les pièces sont séparées par un troisième élément solide intercalé entre elles.

On distingue deux types de joints :

III.3.1.1.1. Les joints d'étanchéité plane:

Un joint d'étanchéité plane est une garniture de matériau disposée entre deux faces serrées l'une contre l'autre, il sert à garantir l'intégrité de l'étanchéité. Les joints empêchent la fuite de liquides ou de gaz en formant des barrières imperméables. Il est indispensable qu'ils restent intacts et ne présentent aucune fuite pendant une période prolongée. Le matériau de la garniture doit donc résister au liquide et/ou au gaz qui doit être enfermé ou exclu, et doit pouvoir résister aux températures et aux pressions de service auxquelles il est soumis.

Il existe trois types de garnitures des plans de joint :

A. Les joints comprimés classiques, prédécoupés : faits de papier, de caoutchouc, de liège, de métal, de métalloplastiques et d'autres matériaux.



Figure III.3 : Les joints plats [46]

B. Les joints assemblés liquide (JAL) :

Qui sont appliqués à l'état liquide sur l'une des surfaces du plan de joint avant l'assemblage des pièces. Lors de l'assemblage, le produit d'étanchéité s'étale entre les faces du joint, comblant les jeux, les vides, les éraflures et les irrégularités de la surface. Après l'assemblage, le joint polymérise et assure une étanchéité durable.



Figure III.4: Les joints assemblés liquide(JAL) [28]

C. Les joints pré-polymérisés (JPP) :

Qui sont appliqués sous forme liquide par des robots de dépose, sous la forme de cordons précisément tracés sur l'une des faces. Le cordon pré-appliqué est ensuite polymérisé aux ultraviolets, formant ainsi un matériau élastomère qui adhère à la surface du plan de joint. L'étanchéité est réalisée par la compression du joint polymérisé au cours de l'assemblage des pièces. [28]



Figure III.5 : Les joints pré-polymérisés (JPP)[28]

III.3.1.1.2. Les joints toriques :

Dans le cas de la réalisation d'une étanchéité de type statique sur des surfaces cylindriques, la solution la plus couramment employée est l'utilisation de **joints toriques**. Ces joints assurent une excellente étanchéité pour des pressions allant jusqu'à 1000 bars.

Les joints toriques sont économiques, légers et peu encombrants. Leur montage est simple et ils nécessitent très peu d'entretien. [28]



Figure III.6 : Exemple de joint torique.

III.3.1.2. L'étanchéité statique directe :

En pressant très fortement deux surfaces métalliques l'une contre l'autre, leurs aspérités s'écrasent et les ilots de contact s'élargissent. La distance entre les pièces diminue assez pour obtenir une bonne étanchéité jusqu'aux plus hautes pressions. Il est primordial que l'état de surface initial soit le meilleur possible (surfaces polies) et que les matériaux ne soient pas trop durs pour que les surfaces s'adaptent parfaitement l'une à l'autre. Les déformations locales égalisent aussi les ondulations de surface; si elles sont élastiquées, elles permettent de nombreux montages et démontages. L'étanchéité directe est surtout réservée à des pièces de petites dimensions, par exemple des raccords de tubes et des brides jusqu'à 2500 bars. On l'utilise exceptionnellement entre des pièces de grandes dimensions telles que des bâches de turbines à vapeur ou à gaz. [27]

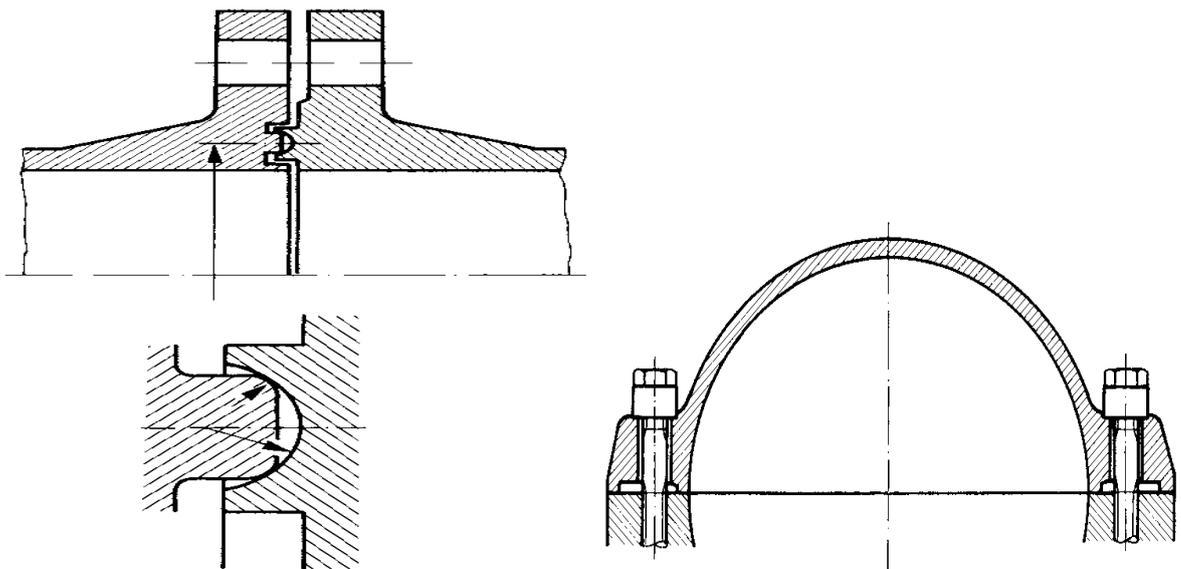


Figure III.7 : Exemple d'étanchéité statique direct. [27]

III.3.2. Étanchéité Dynamique :

Une étanchéité est dite dynamique lorsque que les surfaces d'étanchéité son mobile. On distingue principalement deux cas suivant le type de mouvement entre les pièces (translation ou rotation). [27]

III.3.2.1. Translation :

III.3.2.1.1. Les joints toriques :

C'est un Joint d'étanchéité double effet Existe dans de très nombreux mélanges, nitrile (NBR), élastomère fluoré (FKM), éthylène-propylène (EPDM), chloroprène (CR), silicone (VMQ, PVMQ), silicone fluoré (FVMQ). Le polyuréthane est disponible en 70 et 90 shore A, très résistant à l'usure et à l'abrasion avec faible coefficient de frottement. [31]

On trouve de plusieurs formes de section (circulaire, elliptique, quadrilobe).[32]

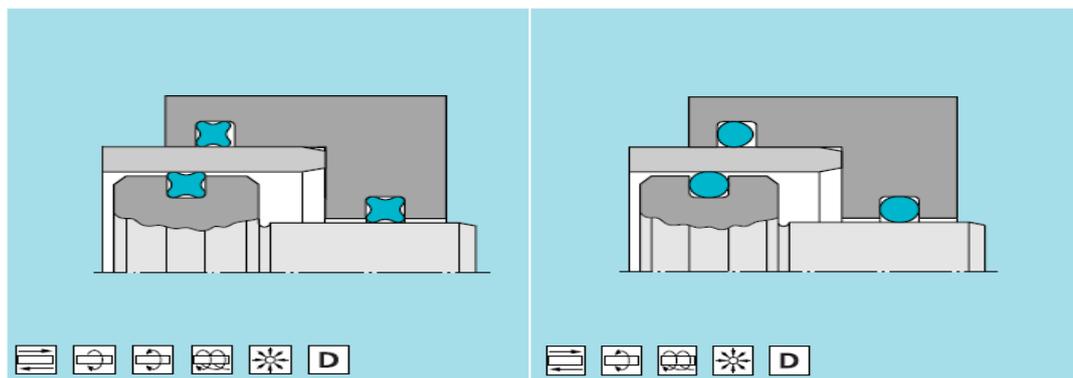


Figure III.8 : Exemple de joint torique dynamique. [31]

III.3.2.1.2. Bague anti-extrusion :

Prévient l'extrusion des joints toriques et quadrilobe dans les cas de pressions supérieures à 8 MPa (80 bar). Exécutions : fermée, fendue et spiralée. Livrable en PTFE pur ou chargé, [31]

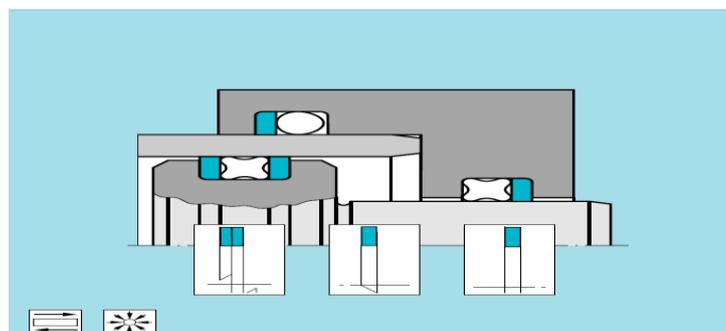


Figure III.9 : Bague anti-extrusion [31]

III.3.2.1.3. Les joints en U :

Ont une section en U, le matériau étant de l'élastomère qui peut être complété à l'intérieur par un toilage de renfort pour des pressions importantes. L'étanchéité est réalisée par les deux lèvres du U, du point de vue statique comme du point de vue côté dynamique. Ce type de joint est auto étanche, mais la pression ne peut être appliquée que d'un côté, aussi, lorsque cette dernière s'inverse, il est nécessaire de prévoir deux joints tête-bêche [32].

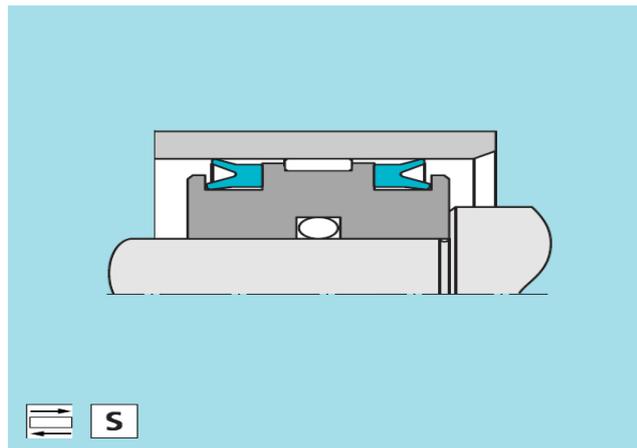


Figure III.10: Le joint en U [31]

III.3.2.1.4. Les soufflets :

Les soufflets peuvent se présenter sous des formes cylindriques, coniques, carrées, rectangulaire, ou autres suivant plan. Parmi les soufflets de protection réalisables.

Plusieurs options sont envisageables sur ce type de soufflets comme par exemple :

- Fermeture à glissière facilitant le montage du soufflet
- Raidisseur pour garantir une meilleure tenue en pression ou dépression
- Filtres ou trous d'évent assurant la circulation de l'air lorsque le soufflet est en mouvement. [37]

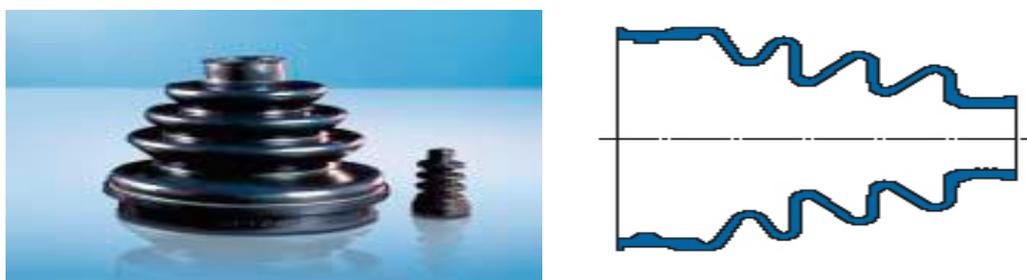


Figure III.11: Le soufflet [33]

III.3.2.1.5. Les membranes :

- Membrane déroulante : Permet une grande amplitude de translation. Généralement en caoutchouc toilé.

• Membrane plate : Permet une faible amplitude de mouvement (2R+1T). En caoutchouc toilé mais aussi en métal. [34]

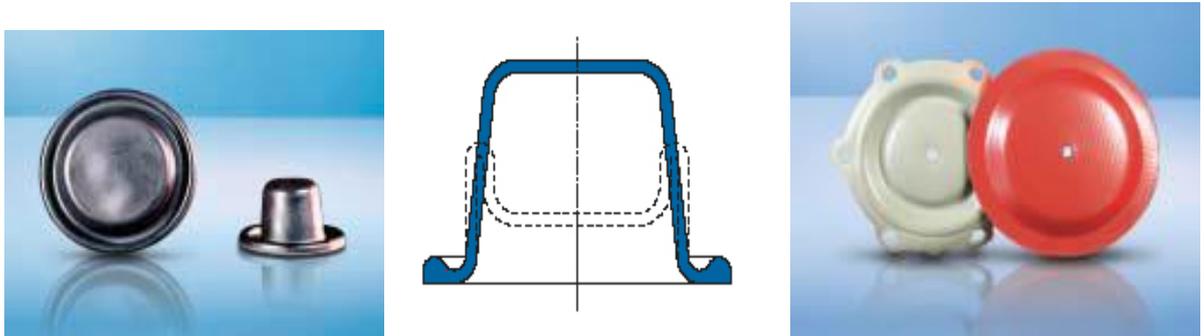


Figure III.12 : Exemple sur les membranes [34]

III.3.2.1.6. Les Racleur :

Les contaminants dans le circuit hydraulique sont la cause la plus courante de pannes et de défaillances prématurées des joints. La majorité des contaminants pénètrent dans le circuit par la tige. L'objectif du joint racleur est d'éviter ceci.

Le joint racleur est le joint le plus sous-estimé dans le vérin hydraulique par rapport à son importance. La sélection d'un joint racleur doit se baser sur les mêmes spécifications soigneusement définies que la sélection des joints de tige et de piston. L'environnement et les conditions de service doivent être particulièrement pris en compte. Le joint racleur doit être conçu pour non seulement s'adapter à la tige. [38]

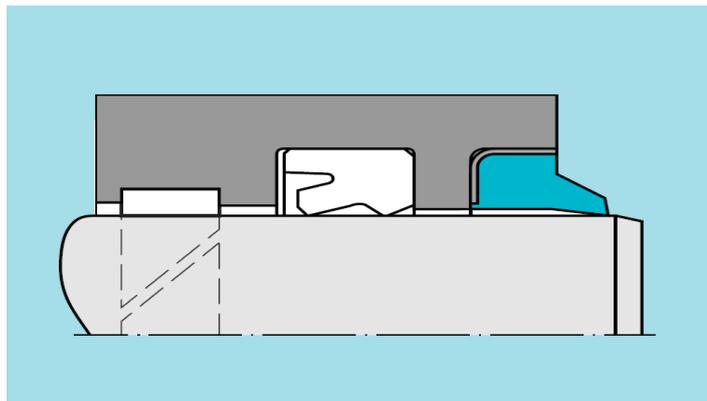


Figure III.13 : Le Racleur [31]

III.3.2.1.7. Les Segments :

Les segments (anneaux fendus) sont des pièces composées d'un cercle incomplet en acier élastique, prévues pour s'emboîter dans les gorges du piston. Le diamètre extérieur au repos est légèrement supérieur à celui du cylindre.

La segmentation d'un moteur à explosion a pour fonction d'assurer l'étanchéité du piston dans le cylindre

Généralement, trois segments sont situés en haut du piston :

- le segment de feu (coupe-feu)
- le segment de compression
- le segment racleur. [33]

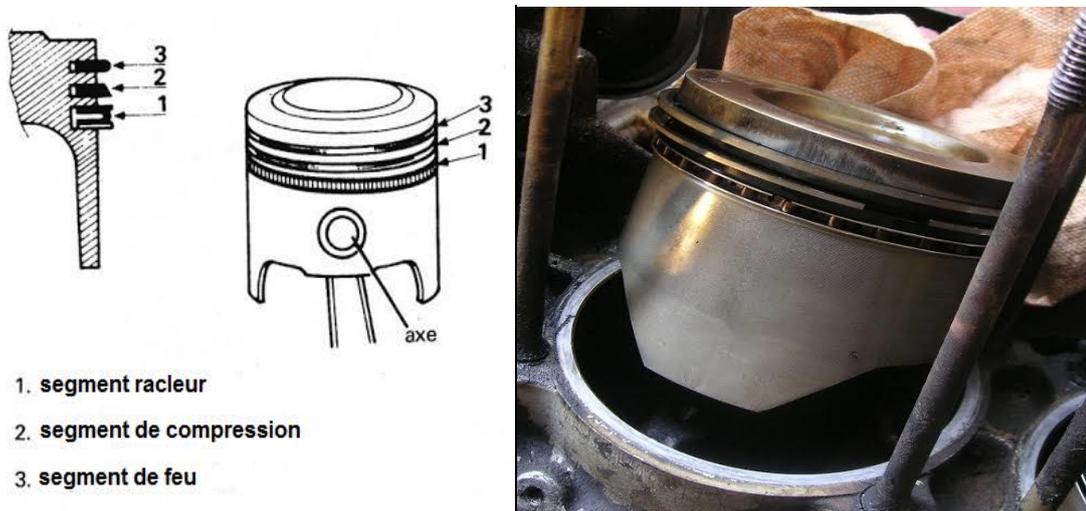


Figure III.14 : Les segments [7]

III.3.2.2. Rotation :

III.3.2.2.1. Le joint à levier :

Les joints à lèvres (Figure III.15) sont parmi les solutions technologiques les plus utilisées et répandues dans la famille d'étanchéités dynamiques. Les parties essentielles qui le composent sont :

- La lèvre
- Le ressort
- L'armature
- La lèvre anti-poussière
- Des stries orientées situées parfois sur le côté air du bout de la lèvre

Comme tout système d'étanchéité, la conception optimale du joint doit répondre à deux critères contradictoires : la capacité du joint à empêcher les fuites et en même temps réduire les effets d'usure.

Pendant le fonctionnement, un film d'huile se forme entre l'arbre et la surface de la lèvre, créant ainsi une zone lubrifiée, appelée zone d'étanchéité [35].

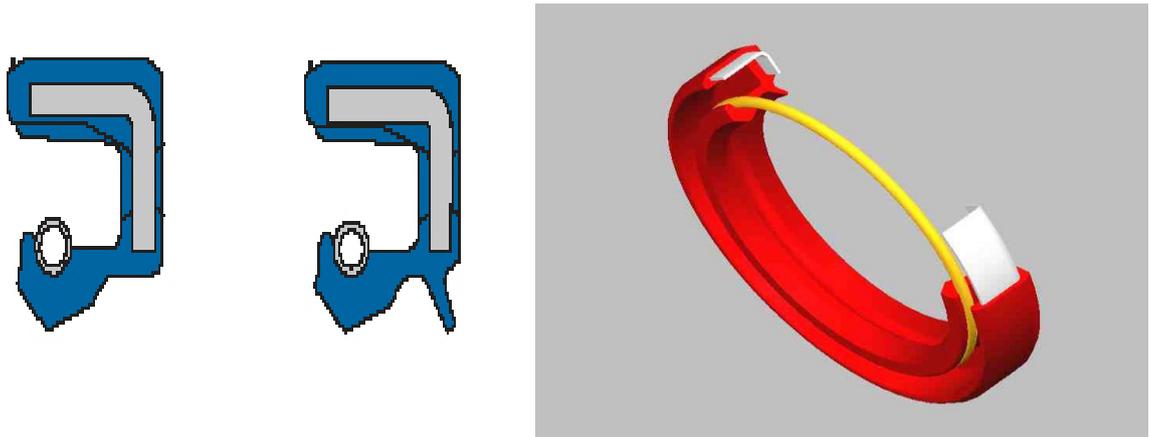


Figure III.15 : Joint à levier [34]

Principe de fonctionnement :

Le principe de ce type de joint a été très bien décrit par (Kammüller 1986) :

la surface de la lèvre subit à la fois une contrainte radiale due au serrage et une contrainte tangentielle due au cisaillement généré par la rotation de l'arbre (Figure III.15). Ceci conduit à une déformation tangentielle asymétriquement distribuée suivant la direction axiale de la zone de contact. En conséquence, la rugosité de la lèvre est étirée et orientée par rapport à l'arbre, avec une zone du côté de l'huile plus courte que celle du côté de l'air. Le résultat est un pompage inverse qui empêche la fuite. Il a été prouvé expérimentalement que la fiabilité des joints est directement proportionnelle à l'amplitude des rugosités de sa surface [36].

III.3.2.2.2. Les joints V'Rings :

sont des éléments d'étanchéité très souvent combinés avec d'autres types de joints tels que les bagues d'étanchéité radiales. Ils sont également utilisés en tant que joint primaire dans d'autres cas. Offrant une étanchéité optimale de manière axiale, les V'Rings servent à protéger les pièces mécaniques contre les impuretés, la graisse, l'huile et la poussière. Ils sont fréquemment utilisés dans les transmissions mécaniques, les laminoirs, les machines-outils, etc...Pièce technique réalisée exclusivement en élastomère[37].

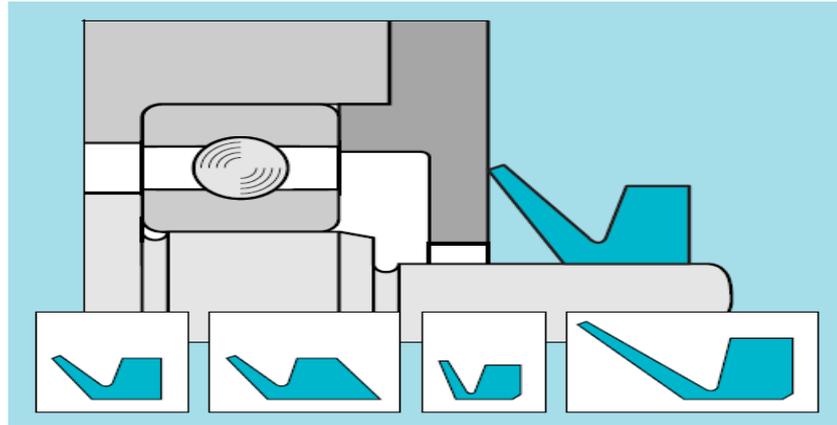


Figure III.16 : Les joints V'Rings [31]

III.3.2.2.3. Joint hélicoïdal:

Le fonctionnement de ce joint est basé sur l'effet de pompage qu'induit une hélice usinée sur le rotor. L'efficacité du joint dépend beaucoup de la viscosité du fluide, du jeu radial et de la vitesse de rotation de l'arbre. Le joint hélicoïdal peut fonctionner à hautes températures et fortes vitesses de rotation car le frottement entre l'arbre et le coussinet est absent. A la vitesse de rotation optimale, le joint peut fonctionner sans fuite. Il est utilisé dans des étanchéités liquide-gaz ou liquide-liquide [39].

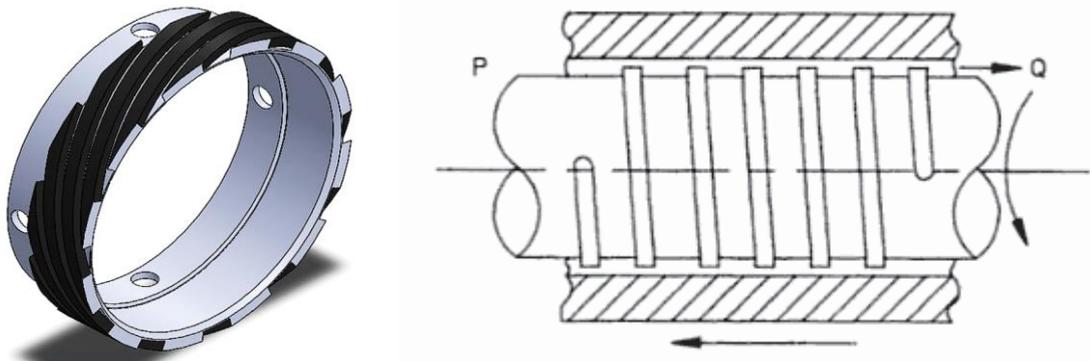


Figure III.17 : Joint hélicoïdal [40]

III.3.2.2.4. Le joint annulaire:

La Figure III.18 présente une pompe munie exclusivement de joints annulaires. Ce joint est peut-être le plus simple des joints d'étanchéité dynamique. Il consiste tout simplement en un passage annulaire entre la chambre haute pression et la chambre basse pression. Les jeux radiaux sont d'un ordre de grandeur supérieure aux jeux dans les paliers lubrifiés, car le joint annulaire doit s'accommoder des vibrations du rotor tout en évitant le contact. Le joint annulaire fonctionne donc avec des débits de fuite assez importants, d'autant plus que tout

comme le joint labyrinthe, il est destiné à étancher des différences de pression importantes. Ceci fait que les forces générées à la fois par l'écoulement axial (dû aux différences de pressions) et par l'écoulement circonférentiel (engendré par le rotor) sont importantes et comparables à celles dans les paliers de guidage. Pour la dynamique des rotors des machines tournantes les coefficients dynamiques des joints annulaires sont donc aussi importants que ceux des paliers lubrifiés. [41]

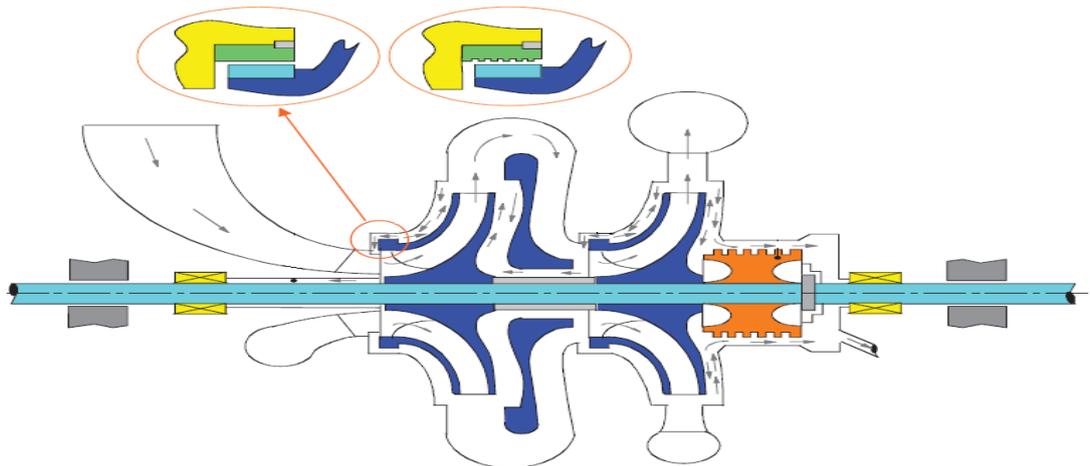


Figure III.18 : Le joint annulaire [41]

III.3.2.2.5. Joint à bague flottante :

Le joint d'étanchéité à bague flottante est d'abord un joint annulaire avec un jeu radial réduit ($15\mu\text{m} \dots 30\mu\text{m}$) pour diminuer les débits de fuite. Afin de pouvoir s'accommoder à des vibrations de l'arbre tout en conservant un faible jeu radial, le joint est réalisé sous la forme d'une bague libre de se déplacer radialement. Deux étanchéités peuvent alors être mises en évidence.

- L'**étanchéité principale** est réalisée dans l'espace annulaire entre la bague et le rotor.
- L'**étanchéité secondaire** est réalisée entre la face frontale de la bague (son « nez ») et le stator (ou le boîtier qui enferme la bague). [41]

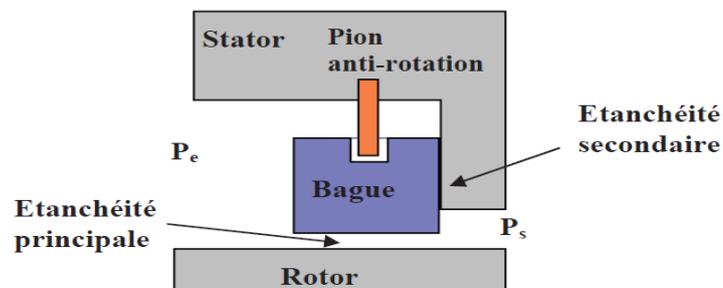


Figure III.19 : Joint à bague flottantes [41]

III.3.2.2.6. Étanchéité par labyrinthe :

Un labyrinthe d'étanchéité est une forme d'étanchéité utilisé dans les turbomachines surtout les compresseurs. Les labyrinthes n'arrêtent pas les fuites complètement mais ils les réduisent beaucoup il faut cependant contrôler si la fuite acceptable n'augmente pas car dans ce cas il y aura une influence sur le rendement du compresseur.

Il faut à ce moment-là réaliser une remise en état des lechettes Pour cette raison les labyrinthes sont plus généralement utilisés comme des étanchéités entre les étages dans un compresseur. [42]

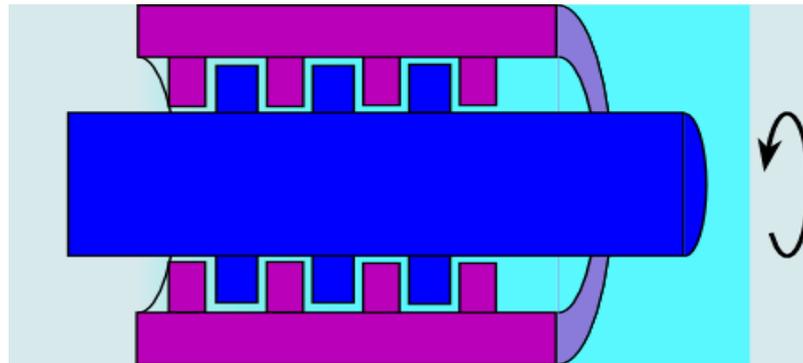


Figure III.20 : Labyrinthe [42]

a. Etanchéité à labyrinthes internes (compresseur) :

Les étanchéités internes installées entre les ensembles statorique et rotorique du compresseur et servant à réduire les pertes de gaz pouvant se produire entre des zones à pressions différentes (entre étage), sont du type à labyrinthe. Une étanchéité à labyrinthe se compose d'une bague dont la périphérie porte une série de lames ayant un jeu réduit avec le rotor, les bagues sont en alliage léger résistant à la corrosion et de dureté inférieure à celle du rotor afin d'éviter d'endommager le rotor en cas de contact accidentel.[44]



Figure : III.21 : Labyrinthe enter étage

b. Joint labyrinthe :

Comme son nom l'indique, un joint à labyrinthe fonctionne en fournissant un chemin déformé inhiber la fuite. Avec un arbre en rotation, le joint peut être conçu pour fonctionner de deux méthodes:

- Les faces radiales en rotation peuvent entraîner la séparation centrifuge de liquides ou de solides de l'air.
- Une série de restrictions suivie d'un volume clair crée l'expansion d'un gaz et donc réduit la pression.

Il existe donc deux zones principales d'utilisation des joints à labyrinthe. Le premier est pour la protection des roulements dans des environnements où la contamination par le liquide est un problème et le second est comme un joint de pression sur les turbomachines [38].



Figure III.22 : Joint à labyrinthe [44]

Partie 02 : Les Garnitures d'étanchéités

III.4. Les Garnitures d'étanchéités :

Le fonctionnement d'une turbomachine (pompe) implique que l'on fasse tourner une roue à une certaine vitesse dans le corps de pompe où circule le liquide véhiculé. La mise en rotation de la roue se fait par un arbre qui traverse le corps de pompe et qui est lié mécaniquement à la machine d'entraînement.

Dans le cas général, le liquide (pompé) ou gaz (comprimé) se trouve dans le corps de (pompe/compresseur) à une pression supérieure à la pression atmosphérique et risque donc de fuir le long de l'arbre vers l'atmosphère ou les corps de palier.

Il est nécessaire de réduire cette fuite à une valeur nulle ou quasi nulle pour les raisons évidentes de sécurité et d'environnement. Dans ce cas on choisit les garnitures.

III.5. Principaux types de garnitures d'étanchéité - critères de choix :

Il existe deux familles de garnitures d'étanchéité :

- **les garnitures à tresses** (ou garniture presse-étoupe). On comprime ici des anneaux d'étanchéité (tresses) le long de l'arbre pour réduire la fuite. Celle-ci ne doit jamais être nulle.
- **les garnitures mécaniques** où l'étanchéité est réalisée par contact entre une pièce fixe et une pièce mobile solidaire de l'arbre. Les deux faces en contact doivent avoir un excellent état de surface. La fuite obtenue est alors très faible. Ces garnitures tendent à remplacer totalement les garnitures à tresses [43].

III.5.1. Les garnitures à tresses « presse-étoupe » :

On comprime ici des anneaux d'étanchéité (tresses) le long de l'arbre pour réduire la fuite. Celle-ci ne doit jamais être nulle.



Figure III.23 : Les tresses

III.5.1.1. Principe de fonctionnement :

Le fouloir exerce sur les anneaux, ou tresses, une force de compression parallèle à l'axe de la pompe.

Les anneaux, bloqués en translation par la forme du corps de garniture, subissent par conséquent une expansion radiale perpendiculaire à l'action du fouloir; Ils sont donc appliqués à la fois sur l'arbre (ou sa chemise) et sur le corps de garniture, comme figuré ci-après[43].

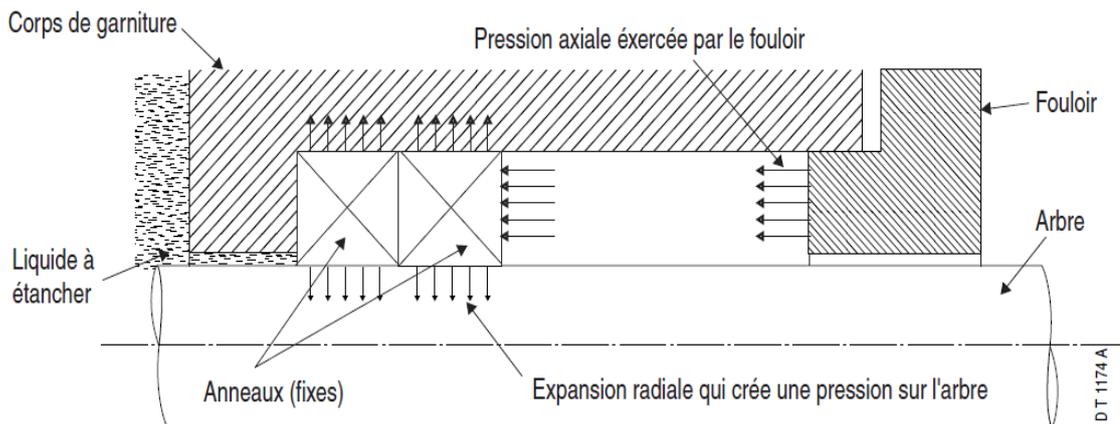


Figure III.24 : Presse-étoupe[43]

Les anneaux ainsi écrasés s'opposent à la fuite de liquide qui peut se produire entre l'arbre et les anneaux, ou bien entre les anneaux et le corps de garniture. Le frottement de l'arbre sur les anneaux dégage une quantité de chaleur importante qui doit être évacuée pour la bonne tenue de la garniture. Il est donc nécessaire de maintenir une certaine circulation de liquide entre l'arbre et les anneaux.

Généralement, la réfrigération est assurée par la circulation d'un liquide d'arrosage (flushing) qui est distribué à l'intérieur de la garniture par une lanterne. Le liquide d'arrosage est le plus souvent le produit pompé lui-même qui, selon le cas, peut-être :

- **Filtré** : s'il risque de contenir des particules solides amenant une destruction de la garniture par abrasion.
- **Refroidi** : si le produit pompé est à une température incompatible avec la bonne tenue des Tresses Pour certaines utilisations on peut être amené à réaliser l'arrosage de la garniture par un liquide auxiliaire appelé selon les usines : "flushing, arrosage" ou "Seal-oil". C'est le cas, par exemple, lorsqu'on a à étancher des produits lourds et visqueux, il peut s'avérer nécessaire d'assurer l'arrosage de la garniture par un produit plus fluide.

Le liquide introduit dans la lanterne fuit dans deux directions :

- de la lanterne vers l'intérieur de la pompe
- de la lanterne vers l'extérieur. Cette fuite, que l'on doit réduire, ne doit pas être nulle ce qui conduirait à une destruction rapide des anneaux extérieurs. Ceci d'autant plus que l'on constate que les anneaux extérieurs sont plus fortement comprimés sur l'arbre que les anneaux intérieurs.

Les deux fuites possibles sont :

1. Fuite vers l'intérieur de la pompe : refroidit et "lubrifie" les anneaux intérieurs
2. Fuite vers l'extérieur de la pompe : refroidit et "lubrifie" les anneaux extérieurs. Cette fuite doit être faible mais non nulle : goutte à goutte, mince filet.

Pour les produits inflammables on adopte un fouloir spécial dans lequel on peut injecter un liquide de dilution et de refroidissement, généralement de l'eau. C'est le "quench". Lorsqu'on veut contrôler la bonne marche du presse-étoupe, il faut arrêter le quench un court instant afin de s'assurer que la fuite de produit n'est pas trop importante mais qu'il y a un goutte à goutte [43].

III.5.1.2. Avantages et inconvénients d'une garniture à tresses :

On reconnaît généralement aux garnitures à tresses les caractéristiques suivantes.

Les avantages :

- coût faible de réparation et d'achat
- facilité de remplacement des anneaux
- détérioration lente de la garniture

Les inconvénients :

- étanchéité incomplète car une fuite légère est indispensable d'où consommation de produit et d'énergie
- entretien assez fréquent
- montage et confection des anneaux délicats
- puissance importante dissipée par frottement (1 à 10 kW suivant la taille)

Malgré ces inconvénients, les presse-étoupes sont encore utilisés pour des produits peu coûteux et non polluants comme l'eau froide, ou temporairement pour des usages où la mise au point d'une garniture mécanique est difficile ou encore pour des services bien spéciaux comme les pompes d'eau incendie (pas de risque de panne brutale). [43]

III.5.2. Les garnitures mécaniques :

Il est un dispositif assurant l'étanchéité entre un arbre rotatif et une enceinte stationnaire. De tels dispositifs sont généralement rencontrés avec des axes de pompe. Une garniture mécanique se place entre l'arbre de pompe et le corps de pompe.[42]

III.5.2.1. Principe de base :

Une garniture mécanique se compose principalement d'un ensemble tournant ou rotor lié à l'arbre et d'un ensemble fixe ou stator lié au carter de la machine. Les garniture simple sont munies d'un ressort permettant d'absorber le déplacement axial de l'arbre et de garder ainsi toujours une étanchéité entre la partie fixe et mobile

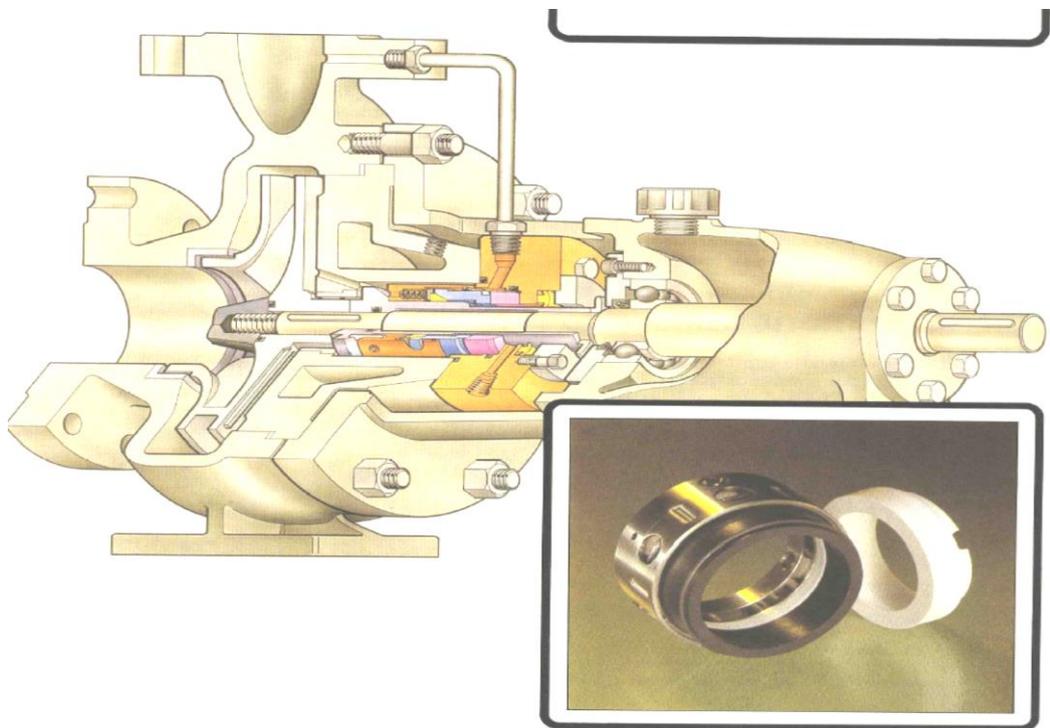


Figure III.25 : La garniture mécanique [42]

Les faces de frottement du rotor et du stator constituent la barrière entre les deux milieux. Celles-ci sont maintenues en contact par les efforts des ressorts, et par la fuite sous pression. Une étanchéité efficace implique un débit de fuite nul. Néanmoins lorsque les conditions sont très exigeantes les bagues d'étanchéité peuvent être séparées par le film d'un fluide très mince. Ceci afin d'éviter l'usure des faces de la garniture. Ce film est soumis à de grand frottement d'où l'élévation de température et la nécessité de prévoir un auxiliaire de refroidissement. [42]

III.5.2.2. Les types des garnitures mécaniques :

Les technologies utilisées sont :

- La garniture mécanique avec contact lubrifiée par un liquide ou non (dans ce dernier cas la garniture est dite « sèche »)
- La garniture mécanique sans contact

III.5.2.2.1. Garniture mécanique avec contact lubrifié :

Le principe de base consiste à assurer l'étanchéité entre deux faces en mouvement relatif (rotation) lubrifiées par un film liquide.

Ce film entretenu par la rotation provient du fluide véhiculé par la machine ou d'un fluide auxiliaire. Une infime partie du film peut s'écouler hors des faces de frottement. Ce débit est appelé fuite ou consommation de la garniture. Le frottement, au niveau du film, produit de la chaleur qui chauffe les faces de frottement, le film lui-même, et le fluide environnant.

Pour assurer une durée de vie optimale des faces de la garniture, le film doit être stable et liquide. Pour éviter sa vaporisation, le fluide à étancher doit avoir une pression suffisante au droit de la garniture (voir tension de vapeur des fluides considérés).

• Constitution :

Une garniture mécanique est composée de deux sous-ensembles: l'un statique et l'autre tournant.

Les éléments principaux sont :

- les faces de frottement une par sous-ensemble ;
- les étanchéités secondaires (joints, soufflet métallique, membrane synthétique)
- un élément élastique (ressort(s), soufflet métallique, membrane synthétique);
- des éléments de liaison.

Dans le cas d'un soufflet métallique, le diamètre hydraulique correspond à la moyenne quadratique des diamètres intérieurs et extérieurs des ondes (soufflets hydro-formés) ou des lamelles (soufflets soudés). [45]

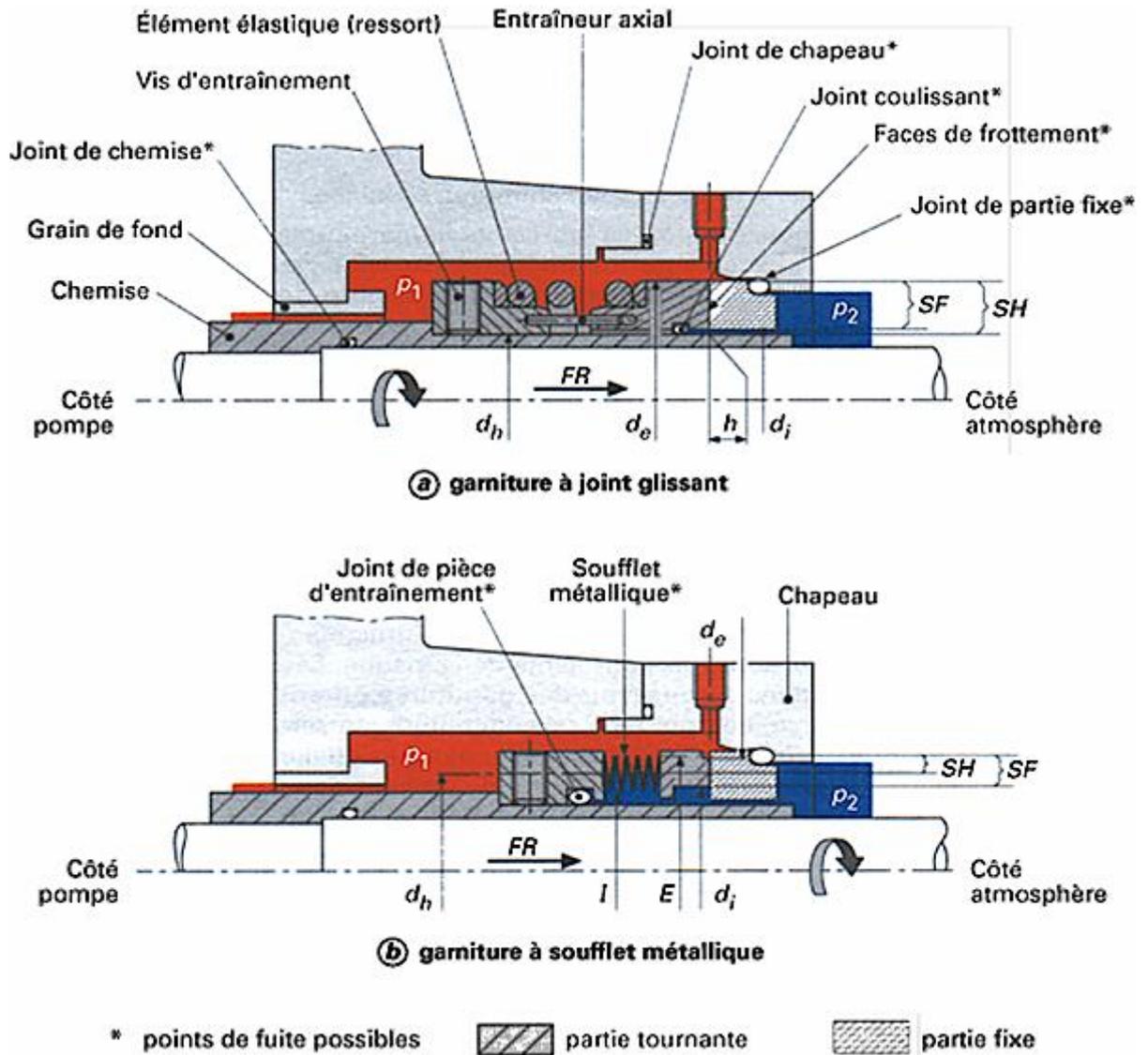


Figure III.26 : Garniture mécanique avec contact lubrifié [45]

III.5.2.2.2. Garniture mécanique avec contact non lubrifié (dite sèche) :

Contrairement aux garnitures mécaniques avec contact lubrifiées par un liquide, les garnitures sèches fonctionnent avec un contact réel (on pourrait dire avec un film solide pour se rapprocher de la classification liquide et gaz).

Il en résulte, par conséquent, une usure et un échauffement plus importants.

Pour minimiser ces phénomènes, des matériaux particuliers sont utilisés afin de combiner leurs propriétés tribologiques (frottement), leur résistance mécanique et leur résistance chimique.

Généralement, on utilise des faces carbone contre des sièges céramiques (oxyde d'alumine) ou carbure de silicium. [45]

III.5.2.2.3. Garniture mécanique sans contact (dite garniture gaz) :

Les garnitures mécaniques à gaz se trouvent principalement dans les compresseurs ou machines similaires. 80% des compresseurs sont maintenant équipés de ce type de garnitures.

Avec une garniture mécanique à rainures spiralées sans contact. Il est maintenant possible de fonctionner à sec, avec du gaz, à des conditions qui s'avéraient difficiles même pour les garnitures lubrifiées par du liquide et qui avaient déjà fait leurs preuves.

Les garnitures spiralées génèrent un jeu stable entre la face et le siège tournant de telle sorte qu'un film gazeux s'interpose entre les faces.

L'élément spiralé est la pièce principale de la garniture c'est elle qui permettra la mise en pression du gaz pour l'équilibrage des forces [45].



Figure III.27 : La garniture à gaz [42]

• Les rainures

Les éventuels liquides présents dans le diamètre interne de la garniture sont transportés, le long des rainures en spirale, vers la partie externe de la surface d'étanchéité par un mouvement relatif entre la partie fixe et la partie en rotation. La pression du fluide augmente le long de la rainure du fait de la viscosité, ce qui provoque un retour du liquide vers le côté haute pression de la garniture et bloque efficacement les fuites du compartiment tampon vers le boîtier du stator.

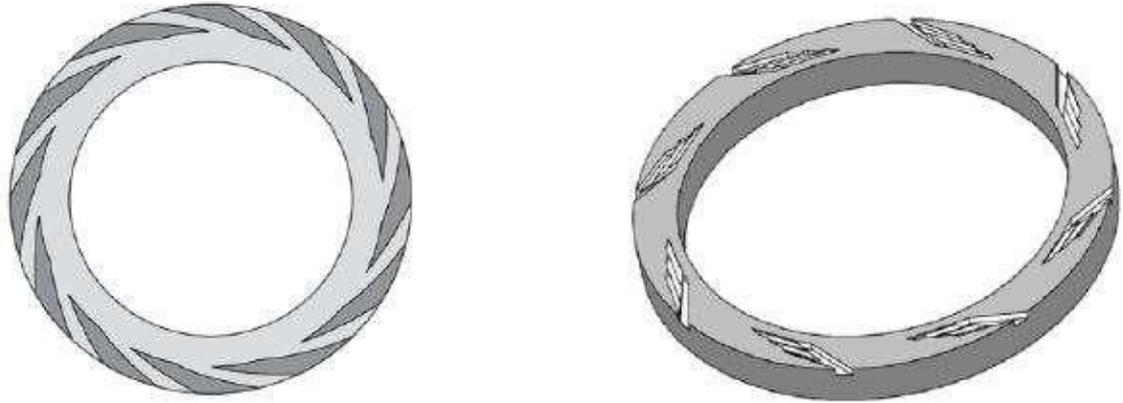


Figure III.28 : Les rainures [45]

- **Principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement de la garniture à gaz à rainures spiralées est basé sur un équilibre des forces aérostatiques et des forces aérodynamiques qui fournit un jeu interfaces minimum et stable.

Les forces aérodynamiques sont produites seulement en rotation. Pendant la rotation, les rainures spiralées jouent un rôle primordial en générant une force d'ouverture qui permet d'obtenir un jeu interfaces acceptable. [42]

III.5.2.3 : Les différents montages de garniture :

Différentes type de garnitures existent et permettre de répondre à des besoins totalement différents en fonction du type de gaz à comprimer, de la pression de compression, des vitesses de rotation du compresseur :

- ❖ **Garnitures simples :**

La garniture simple peut être utilisée pour des tâches de gaz non toxiques et non inflammables lorsqu'une petite quantité de fuite du gaz de procédé est acceptable. L'agencement comprendra un seul joint d'étanchéité à gaz sec avec un labyrinthe à l'intérieur entre le joint d'étanchéité et le gaz de traitement. Le labyrinthe fournit un étranglement qui aide à protéger le joint mécanique des contaminants présents dans le processus. Il est également normal d'injecter du gaz de scellement propre et sec, capable de traiter le gaz, entre le labyrinthe et le joint mécanique. La plupart de celles-ci passeront par le labyrinthe dans le processus, mais une partie sera perdue

sous forme de fuite à travers le joint mécanique. Cela sera normalement acheminé vers une torche ou un autre système de collecte. [39]

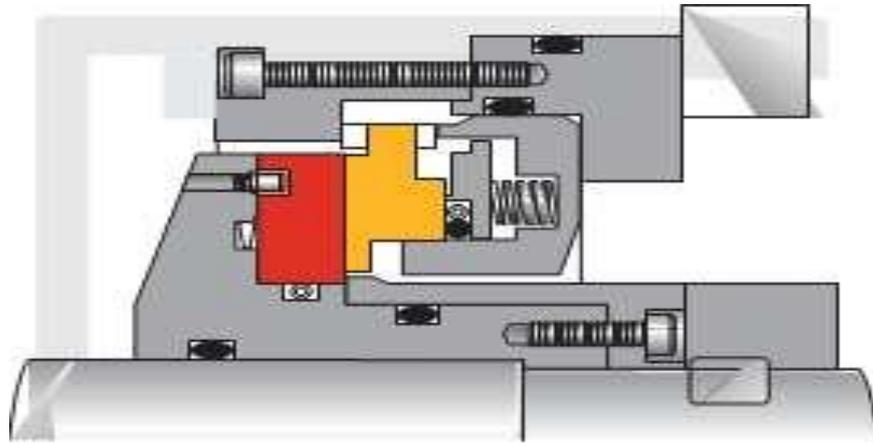


Figure III.29 : Garniture simple [44]

❖ Garnitures double:

La configuration de la garniture double comme le montre la figure III -30 exige une pression de gaz de barrage supérieure à la pression du gaz à étancher .cette configuration peut être utilisée là où aucune fuite du gaz n'est tolérée, ou la consommation du gaz filtré de barrage doit être réduite, ou dans le cadre d'une application sur des gaz sales, ou dans le cadre d'applications de pression basse, ou la pression torche pourrait excéder la pression d'étanchéité.[43]

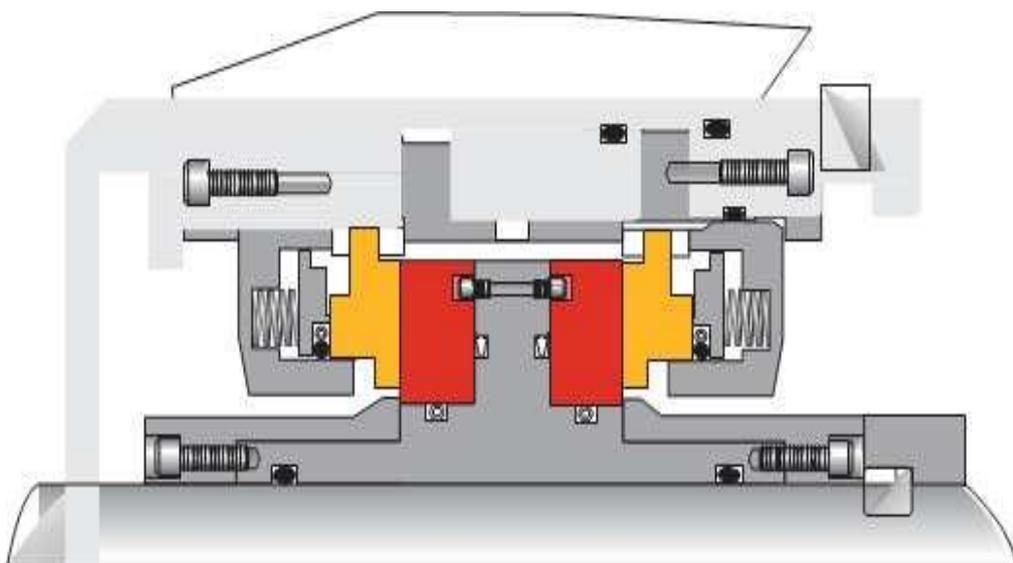


Figure III.30 :Garniture double [44]

❖ Garniture montées en TANDEM :

La garniture tandem fournit une rupture de toute la pression au travers des faces de la garniture primaire regarde la figure III.10, Les faces de la garniture secondaire opèrent normalement à basse pression. Dans le cas d'une défaillance de la garniture primaire, la garniture secondaire agit comme garniture secours de la primaire.

La fuite de gaz est contrôlée au travers des deux jeux de faces. La garniture tandem est devenue un standard de l'industrie pour des applications critiques ou sur les hydrocarbures.

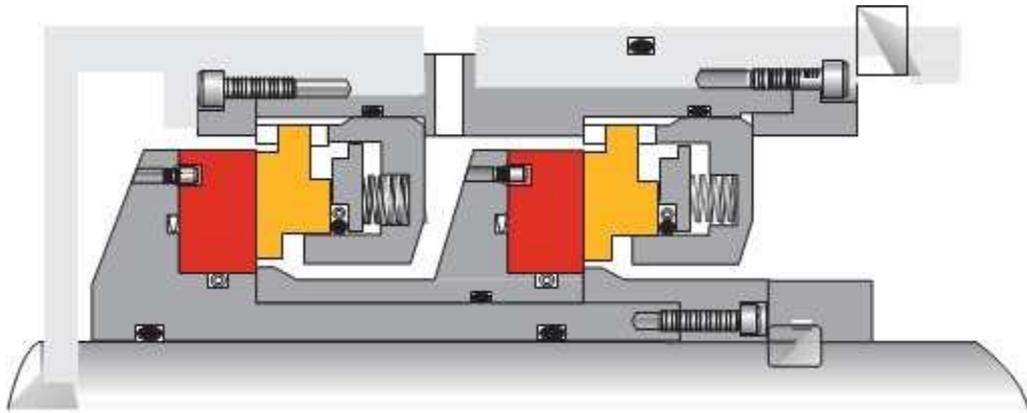


Figure III.31 : Garniture tandem [44]

❖ Garniture tandem avec labyrinthe intermédiaire :

La garniture tandem avec labyrinthe intermédiaire est utilisée pour éliminer les fuites de gaz de procès à l'atmosphère. Ceci est accompli par l'injection d'un gaz inerte dans la garniture secondaire, avec une pression légèrement supérieure du gaz de barrage, le labyrinthe intermédiaire fournit une solution basse pression contrôlant les émissions au travers de la garniture gaz. [44]

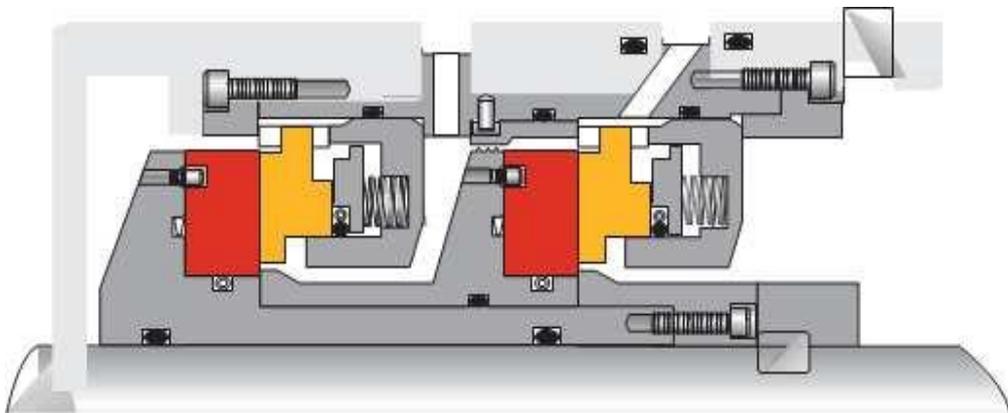


Figure III.32 : Garniture tandem avec labyrinthe intermédiaire [44]

III.5.3. LES CIRCUITS AUXILIAIRES :

III.5.3.1. Lubrification (ou le flushing) :

Une circulation de liquide est prévue lorsqu'il est nécessaire de :

- D'évacuer les calories engendrées par les faces de friction en contact,
- Réchauffer ces faces,
- Préserver ces faces contre des accumulations de sédiments.

La pression de fluide auxiliaire est le paramètre essentiel demandé au système.

Cette pression est assurée par la pression de gaz à étancher s'exerçant par exemple sur la surface.

De l'accumulateur de sécurité, lui-même en charge et de volume de rétention suffisant pour alimenter les étanchéités jusqu'à l'arrêt de la machine et isolement. Dans le cas d'étanchéité par gaz auxiliaire ce dispositif peut être remplacé par des bouteilles de gaz neutre sous forte pression détendu à la pression de sécurité exigée.

- **Le débit d'huile** global peut être nécessité par l'enlèvement des calories migrant par la section d'arbre ou provenant du fonctionnement même de l'étanchéité.
- **La viscosité** de l'huile est un paramètre déterminé par le type d'étanchéité et les conditions du procédé : nature du gaz, températures.
- **La filtration** demandée par les étanchéités à l'huile est en général de l'ordre de 15 μ .

De plus en plus pour réduire le coût d'investissement et augmenter la fiabilité, les circuits auxiliaires de graissage et d'étanchéité sont combinés c'est-à-dire utilisent des éléments communs : caisse à huile, pompes primaires. [42]

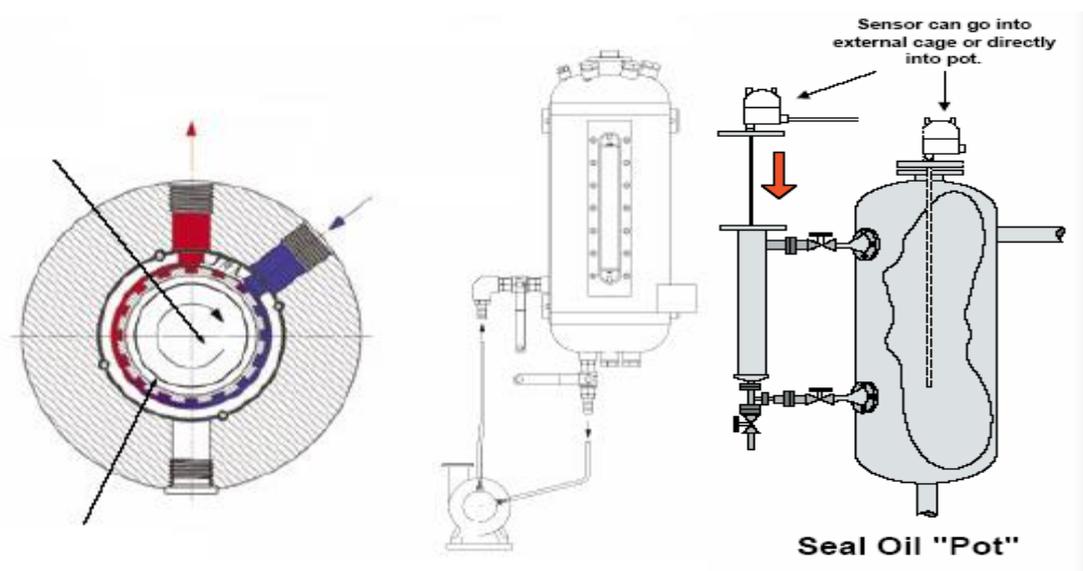


Figure III.33 : Circuit de lubrification [42]

III.5.3.2. LE REFROIDISSEMENT :

Lorsque le produit pompé est chaud, il peut être nécessaire de procéder :

- Au refroidissement du corps de garniture pour conserver une bonne tenue mécanique de la garniture. Selon le cas, le fluide réfrigérant peut être de l'eau ou de la vapeur.
- Au refroidissement du corps de palier, ce qui permet de maintenir la viscosité de l'huile à une valeur correcte (tenue mécanique des paliers).
- Au refroidissement des chandelles de socles pour en éviter les dilatations (risque de désalignement de la pompe par rapport au moteur). [42]

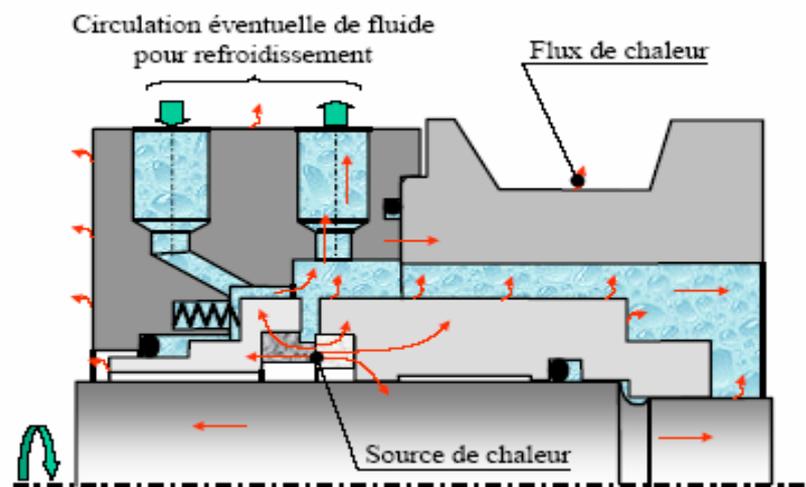


Figure III.34: Le refroidissement [42]

III.5.3.3. Conduite et contrôle des systèmes auxiliaires :

Paramètres à contrôler sur une installation comportant une garniture mécanique :

- Niveau de lubrifiant;
- Température du lubrifiant;
- Débit du liquide refroidissant le lubrifiant;
- La différence de pression entre la garniture mécanique et l'intérieur du corps de pompe. [42]

III.6. Conclusion :

Le système d'étanchéité empêche ou réduit les fuites des machines tournantes ce système se divise en deux grandes types statique et dynamique, on utilise des joints et garnitures mécaniques, Les composants de ce système varient dans la plage d'utilisation.

Les garnitures mécaniques a besoin des circuits auxiliaires come lubrification et refroidissement.

CHAPITRE IV : MAINTENANCE ET ENTRETIEN DES GARNITURES D'ETANCHEITE

IV.1. Généralités sur la maintenance

IV.1.1. Définition :

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. [46]

IV.1.2. But de la maintenance :

Parmi les buts essentiels de la maintenance, on cite :

- Prolonger la durée de vie du matériel.
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de panne.
- Faciliter la gestion des stocks.
- Amélioration de production en optimisant les coûts engendrés des différentes opérations de maintenance.
- Assurer le bon fonctionnement du matériel. [46]

IV.1.3. Différents types de maintenance :

On distingue deux types de maintenance : la maintenance préventive et la maintenance corrective.

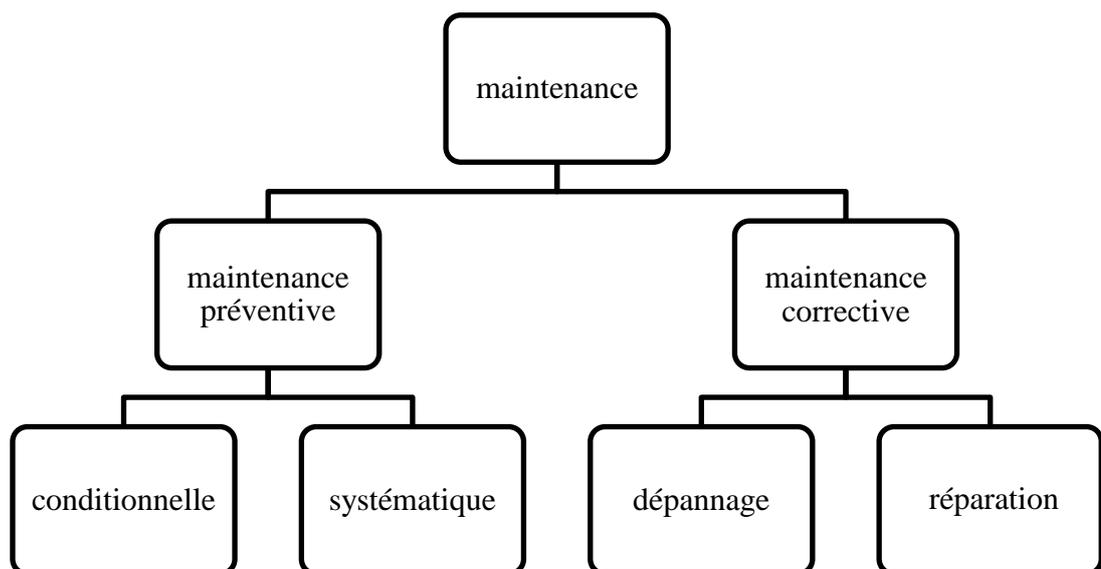


Figure IV.1 : Organigramme de maintenance

IV.1.3.1. La maintenance préventive :

Elle vise à diminuer la probabilité de défaillance d'un système, pour cela elle s'appuie sur la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle. [47]

La maintenance préventive se divise en deux formes essentielles.

a) Maintenance préventive systématique :

C'est la maintenance qui est effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps, ou du nombre d'unités d'usage, cette maintenance se pratique quand on souhaite procurer à un équipement une sécurité de fonctionnement. [47]

b) Maintenance préventive conditionnelle :

C'est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état de dégradation du bien. Cette forme de maintenance permet d'assurer une surveillance continue des points sensibles de l'équipement au cours des visites préventives dont le rôle est d'éliminer les pannes accidentelles ou de les réduire à un niveau acceptable.

Il existe un troisième type de maintenance qui est la maintenance améliorative, qui consiste à débarrasser définitivement les causes de défaillance par des modifications, ce type de maintenance est nécessaire pour :

- Déterminer les causes réelles du problème traité.
- Imaginer les remèdes adaptés à leur suppression. [47]

c) Avantages et inconvénients de la maintenance préventive :**❖ Avantage :**

- Bonne préparation de l'intervention.
- Durée de mobilisation du matériel minimisée.
- Facilité de programmation et de planification des travaux.

❖ Inconvénients :

- Frais de gestion des stocks importants.
- Frais dus à la planification.
- Charges supplémentaires dues formation du personnel.

IV.1.3.2. La maintenance corrective :

Elle s'applique après la panne et consiste au dépannage ou à la réparation.

Selon AFNOR :

« Opération de maintenance effectuée après détection d'une défaillance »

Elle consiste à remettre l'équipement en état de marche lors d'une panne.

La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention :

a) Les dépannages :

Ils consistent à la remise en marche provisoire de l'équipement. Ils caractérisent la maintenance palliative.

b) Les réparations :

Dans ce cas la maintenance sera une intervention définitive et limitée, elles caractérisent la maintenance curative. Donc la maintenance corrective assure :

- Une amélioration éventuelle (correction), visant à éviter la répétition de panne ou à minimiser ses effets sur le système (surveillance par analyse de vibrations).
- Une mise en mémoire de l'intervention permettra une amélioration ultérieure.

c) Avantage et inconvénients de la maintenance corrective :**❖ Avantage**

- Un budget d'entretien moyen.
- Coût direct minimisé.
- Frais de gestion de stocks non important.

❖ Inconvénient

- Temps d'arrêt et d'intervention trop élevé.
- Coût de maintenance élevée.
- Achats des pièces de rechange à un prix élevé. [47]

IV.2. Les causes des défaillances :

Il existe plusieurs causes de défaillance des garnitures. Les expériences montrent que les défaillances de garnitures mécaniques ont pour origine :

- ❖ **des défaillances des systèmes d'exploitation:** interruption de la circulation de fluide, pression insuffisante au niveau de la garniture mécanique, etc.
- ❖ **des problèmes mécaniques:** erreurs de montage, défaut d'alignement de lignes d'arbre, défaillance de paliers, vibration, etc.
- ❖ **des problèmes de process:** cavitation, désamorçage, fonctionnement des machines en dehors de leur plage normale d'utilisation, modification des caractéristiques du fluide véhiculé.
- ❖ **une sélection inadéquate:** matériaux, configuration du montage, etc. On estime ainsi que, dans la plupart des cas, la garniture mécanique est le premier élément défaillant mais pas forcément la cause de l'avarie. [44]

IV.3. La maintenance des garnitures mécaniques :

On peut citer deux activités de la maintenance comme :

- Rodage du grain fixe et mobile
- changer la GM perdue par une autre neuve

IV.2.1 Le rodage des grains :

Le rodage de grain se fait par des disques abrasifs de fin à extrafin, ce processus est fait en prenant l'interface de grain et déplacé sous forme continue, de disque à l'autre jusqu'à fini.

IV.2.2 Le changement de GM :

Pour bon montage en cas de changement des GM nous suivons les étapes comme suite:

A. Précautions et vérification de la garniture à installer avant montage :

Avant leur utilisation, il est important d'étaler les pièces sur une surface plate et propre et de découper les enveloppes ou les revêtements de protection : en effet, il ne faut ni rayer ni abîmer les pièces de la garniture. Les pièces les plus fragiles sont les pièces en élastomère, en PTFE et en carbone. Si des pièces en carbone, en carbure de tungstène, en carbure de silicium ou en céramique tombent, elles risquent de se briser.

Les surfaces tournantes des faces de frottement sont optiquement planes par rodage. Il ne faut pas poser la face rodée à plat sur une surface quelconque, sauf si elle est protégée par un tissu ou un papier propre. [48]

B. Précautions et vérification de la machine à équiper :

Les performances des garnitures mécaniques sont dépendantes de leur environnement et des conditions d'exploitation qu'on leur impose. C'est pourquoi il faut considérer que le temps passé à contrôler cet environnement avant l'installation de la garniture peut prévenir d'une défaillance prématurée et, par conséquent, peut réduire les coûts de maintenance de ce matériel. Les points à vérifier s'appliquant à la plupart des machines sont les suivants :

- Dimensions de l'arbre et de la boîte à garniture
- Rectitude de l'arbre
- Débattement radial de l'arbre
- Débattement axial de l'arbre
- Perpendicularité entre la face d'appui du couvercle de garniture et l'arbre
- Concentricité de l'arbre par rapport au centrage de la boîte à garniture
- Équilibrage dynamique de l'arbre rotatif

C. Précautions de montage de la garniture sur la machine à équiper :

Toutes les manipulations doivent se faire en prenant grand soin des parties vitales de la garniture (faces de frottement, joints toriques). Préalablement à tout montage, il faut s'assurer de la propreté de toutes les pièces à monter ; les essuyer avec un chiffon doux et propre (un solvant sec peut être utilisé) et veiller à la compatibilité avec les joints.

Il faut également contrôler que les joints toriques ne présentent aucune trace de coupure.

D. Précaution de montage de la garniture :

- Si la garniture doit être installée sur une chemise, celle-ci devra être munie d'un joint d'étanchéité afin d'éviter toute entrée du produit entre l'arbre et la chemise d'arbre.
- Nettoyer et examiner soigneusement la face d'appui et l'alésage de la boîte à garniture.
- La lubrification des faces de frottement au montage n'est généralement pas conseillée. Pour faciliter le montage, il est possible d'utiliser modérément une graisse compatible avec l'application concernée et les matériaux utilisés.

- S'assurer de la propreté des faces de frottement et qu'aucune rayure ou entaille ne puisse causer une fuite. Nettoyage avec un solvant sec pour faire disparaître les dernières traces de doigts.
- Vérifier la longueur en place de la garniture montée.
- Vérifier la bonne orientation des orifices de circulation des différents fluides sur le couvercle de garniture. [48]

IV.4. Surveillance des émissions :

Le choix du niveau de surveillance des émissions liquides ou gazeuses à l'atmosphère est réalisé en fonction de la variation admise du taux de produit pompé acceptable dans l'atmosphère sans risque pour l'environnement.

Le doublement du taux de fuite d'une garniture n'entraîne pas les mêmes conséquences si elle étanche de l'eau à 20 °C ou un produit explosif, c'est pourquoi le premier critère permettant de décider de la méthode de surveillance est la nature dangereuse du produit.

D'autres critères tels que le coût du produit à étancher, la facilité d'accès à l'installation, l'existence de rondiers, etc. permettront d'affiner le choix initial.

Pour les garnitures gaz, la consommation est suivie de façon périodique. [48]

A. Méthode visuelle

C'est la méthode la plus utilisée pour les produits ne présentant pas de risque pour l'environnement et ne vaporisant pas à la pression atmosphérique.

Un contrôle visuel de l'étanchéité de la garniture est effectué périodiquement afin de vérifier dans le temps que le taux de fuite reste inférieur au maximum prescrit par le constructeur.

Dans le cas d'un montage double ou tandem, le contrôle s'effectue à la fois sur le niveau du liquide de barrage et sur la fuite de la garniture externe. On obtient par différence la fuite de la garniture interne. [48]

B. Méthode par instrumentation :

- **Contrôle continu :**

Une instrumentation permettant de surveiller l'évolution du taux de fuite est utilisée lorsqu'un opérateur ne peut être présent en permanence. Suivant les cas, on surveille le débit de fuite, le niveau ou la pression dans le pot de pressurisation ou la bêche.

Ces mesures peuvent être enregistrées et les instruments sont très souvent équipés de seuils d'alarme et de déclenchement de la machine lorsque les taux de fuite dépassent les valeurs admises.

À noter que l'instrumentation peut être complétée par la mesure de paramètres autres que le débit de fuite (pression, température, etc.) qui permettent de contrôler la bonne tenue de l'étanchéité.

- **Contrôle périodique :**

Dans le cas de fuites gazeuses, il est possible de réaliser un contrôle du nombre p.p.m. contenus dans l'atmosphère située à proximité de l'étanchéité et d'en vérifier l'évolution dans le temps. [48]

IV.5. Plans API (standard 182)

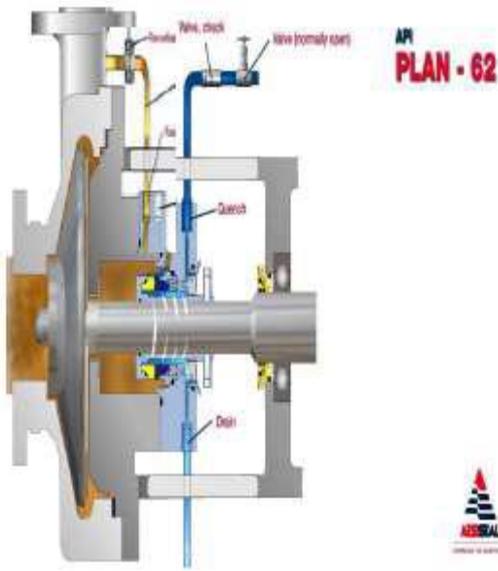
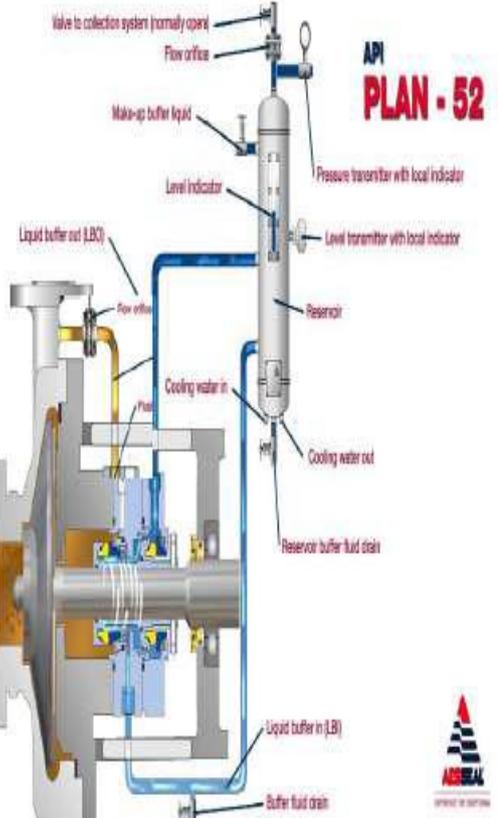
API "the American Petroleum Institute" est une pierre angulaire dans l'établissement et le maintien des normes pour l'industrie mondiale du pétrole et du gaz naturel.

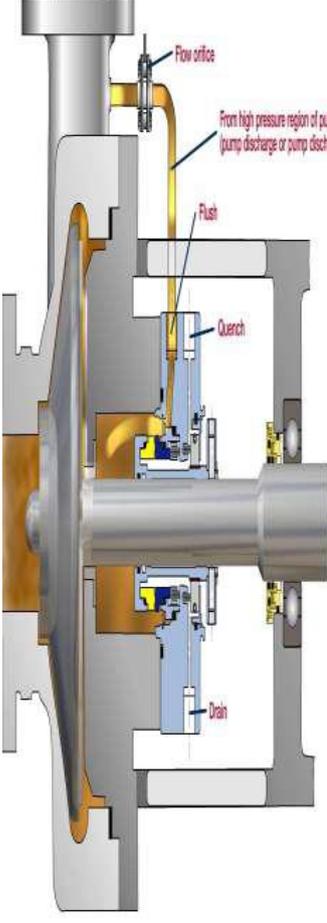
API 182 "*Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps*" la norme des systèmes d'étanchéité des arbres pour les pompes centrifuges et rotatives est une norme d'équipement clé pour le fonctionnement sûr et fiable des garnitures mécaniques et des systèmes de tuyauteries auxiliaires.

Elle s'applique principalement aux services dangereux, inflammables et / ou toxiques, où une plus grande fiabilité est nécessaire pour améliorer la disponibilité des équipements et réduire les émissions à l'atmosphère et les coûts du cycle de vie des garnitures. Elle couvre les garnitures d'étanchéité pour les arbres des pompes ayant de 20 mm (0,25 in) à 110 mm (4,3 in) comme diamètres [49].

Nous présentons ci-après (Tableau IV.1.) quelques exemples de plans API appliqués à l'installation des garnitures dans les pompes centrifuges de CP et CR.

Tableau IV.1: Exemple de plans API appliqués à l'installation des garnitures mécanique [11]

	<p>Quoi</p> <ul style="list-style-type: none"> -Connexion du refoulement de la pompe vers la boîte à garniture via un orifice et un réfrigérant. -Un réfrigérant sur un Plan API 11/12 augmente l'évacuation de chaleur. <p>Pourquoi</p> <ul style="list-style-type: none"> -Refroidissement de la garniture. -Réduit la température du fluide et augmente la marge par rapport à la tension vapeur. -Réduit le cokage. <p>Où</p> <ul style="list-style-type: none"> -Applications à hautes températures. -Produits propres et non polymérisant. <p>Application au CP</p> <ul style="list-style-type: none"> -Pompes d'huile chaude 1100-P-01 A/B/C
	<p>Quoi</p> <ul style="list-style-type: none"> -Système d'alimentation en gaz tampon non pressurisé. -Alimenter en gaz tampon la garniture de retenue typiquement avec de l'azote. <p>Pourquoi</p> <ul style="list-style-type: none"> -Emission de fluide véhiculé très faible voire nulle. -Soutien de sécurité de la garniture primaire. <p>Où</p> <ul style="list-style-type: none"> -Utilisé avec les garnitures de retenue en montage dual ("Tandem") non pressurisé. -Fluides à haute tension de vapeur, hydrocarbures légers. -Fluides dangereux, toxiques. -Fluides propres, non polymérisant, non sujets à oxydation. -Utilisé en combinaison avec un Plan 11/52. <p>Application au CP</p> <ul style="list-style-type: none"> Pompes de reflux dé-éthaniseur: 1400-P-05 A/B -Pompes d'expédition GPL 1500-P-01 A/B/C - ... etc.

 <p style="text-align: center;">API PLAN - 11</p> 	<p>Quoi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Système d'alimentation en gaz de barrage pressurisé. - Alimenter les garnitures gaz typiquement avec un barrage azote. <p>Pourquoi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isoler le liquide véhiculé. - Emissions nulles du liquide véhiculé. <p>Où</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisé avec les garnitures gaz duales pressurisées ("Doubles"). - Fluides à haute tension de vapeur, hydrocarbures légers. - Utilisation Plan 11 <p>Application au CR</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pompe d'expédition brut 2000-P-01 A/B
---	---

IV.6. Conclusion :

Le système d'étanchéité empêche ou réduit les fuites des machines tournantes en particulier les pompes centrifuges. En utilise des joints et des garnitures mécaniques, toujours ce système a besoin de maintenance et de contrôles périodiques pour entretenir ses composants et assurer la continuité du fonctionnement des machines.

CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DES GARNITURES ET PROPOSITION DES SOLUTIONS

V.1. Introduction :

Les pompes centrifuges sont largement utilisées dans le domaine industriel, notamment celui des hydrocarbures. Bien qu'elles soient robustes, ces pompes peuvent subir des pannes qui entraînent des arrêts non programmés conduisant à une perte de production et, donc, à une perte de revenus. En fait, la majorité de ces pannes sont des défauts d'étanchéité des garnitures mécaniques. En outre, les défaillances et défauts d'étanchéité des garnitures mécaniques pour des produits dangereux, toxiques, inflammables, corrosifs, etc., peuvent avoir de très graves conséquences sur l'environnement, tant pour le personnel que pour le matériel : incendie, explosion, pollution, intoxication, ... etc. Pour y remédier, et dans l'objectif d'augmenter la disponibilité de ces équipements vitaux et donc assurer la longévité de la production, la fonction maintenance nécessite non seulement d'effectuer des tâches correctives et préventives habituelles, mais aussi des actions amélioratives notamment pour les équipements subissant des défaillances répétitives, et ce, après un diagnostic approprié permettant de discerner les causes réels.

Dans ce chapitre nous allons traiter une étude de cas, concernant les défaillances plus ou moins fréquentes des garnitures mécaniques dans quelques pompes centrifuges de CP et CR qui deviennent inquiétantes, vu les risques qui peuvent les engendrer à l'environnement, au personnel et au matériel, ainsi qu'elles conduisent à l'arrêt de production qui peut s'allonger, particulièrement dans le cas d'indisponibilité de la pièce de rechange et qui coûte très cher.

On focalise notre étude sur les pompes qui ont déjà subi des changements de garnitures à savoir : les pompes de condensat, les pompes d'expédition de brut, les pompes de transfert d'huile chaude et les pompes d'expédition de GPL.

Dans ce tableau on définit les quatre types des pompes qui on a focalise durant cette étude. Premièrement on définit les types des pompes avec leurs pompes secours, deuxièmement on calcule les heures des marches de chaque pompe pendant 6 ans (on obtient ces calcul par la fonction on data Stream). Troisièmement on a ajouté des colonnes pour l'intervention de leurs ces années.

Tableau V.1 : L'intervention des pompes pendant 6 ans.

Type de pompe		Les heures de marche						L'intervention				
		2013	2014	2015	2016	2017	2018					
GPL	A	585	388	950	105	49	0	1		1		
	B	7	0	78	855	1037	0				1	
	C	968	672	439	223	1278	689	1	1			1
Huile chaude	A	764	7093	7464	1687	3097	430		1	2		1
	B	4633	0	347	893	603	0	1		1		
	C	3153	950	671	4604	6322	2560	1		1		1 1
Reflux condensat	A	2689	5	633	262	2343	16	1			1	
	B	5278	2559	2560	3948	6267	1986	1				
Brut	A	545	343	556	256	233	788	1				1
	B	452	568	678	334	223	344		1			1

A partir de ce tableau on remarque que :

- Les pompes d'expédition GPL : subi des changements des garnitures six fois en 6 ans. On remarque qu'il y a plus d'une intervention sur pompe A et C (les deux pompes le plus utilisées), par contre le constructeur donne une garantie de 5 ans si la pompe fonctionne normale (mauvaise permutation des pompes)
- Les pompes d'huile chaude : subi des changements des garnitures 10 fois en 6 ans. On remarque qu'il y a plus d'une intervention sur les pompes A et C. par contre la pompe B ne fonctionne pas parce que cette pompe ne se lie pas avec le groupe. (mauvaise permutation des pompes)
- Les pompes de reflux condensat : subi des changements des garnitures 3 fois en 6 ans. On remarque qu'il y a plus d'une intervention. La révision générale de la pompe A a été atteinte, mais à cause des vannes fuir en attendant jusqu'à l'arrêt programmé pour changer les vannes fuir, donc la pompe ne fonctionne plus.
- Les pompes d'expédition brute : subi du changement des garnitures 5 fois en 6 ans. On remarque qu'il y a plus d'une intervention.

V.2. Pompes d'huile chaude :

V.2.1. Fonction et caractéristiques :

Les trois pompes de transfert d'huile chaude à l'unité 600, 60-P-01 A/B/C, sont des pompes centrifuges mono-étagées qui transfèrent l'huile chaude de ballon huile chaude vers les différents échangeurs de chaleur de process avec une pression de 9.7 /10.6 barg et une température varie entre 230-280 °C.

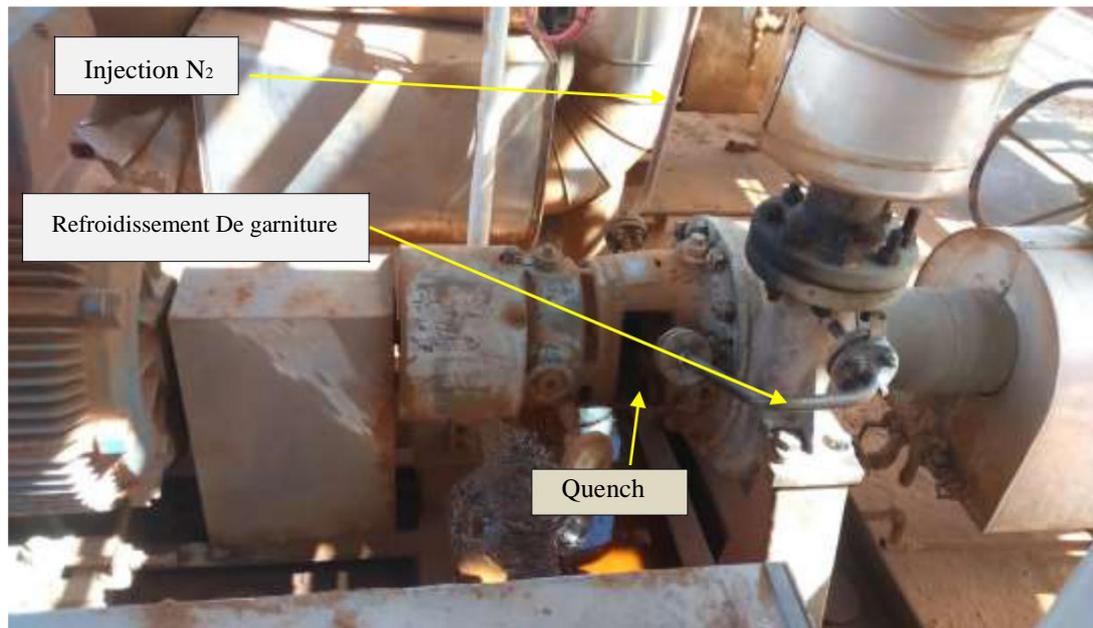


Figure.V.1: Pompe d'huile chaude 60-P-01 B

V.2.2. Caractéristiques de la garniture mécanique :

La garniture utilisée est une garniture simple à soufflet : les deux parties humides avec contact, de marque John crane (voir son schéma technique dans l'annexe A).

La partie fixe munie d'injection de N₂ l'extérieur (l'inertie et empêche l'huile de se fuir à l'extérieur) de 0.5 bar g (1.5KG/HEURE) pour éviter l'explosion. La garniture est équipée d'un pot de drainage, et d'un système de refroidissement de l'huile par circulation de fluide elle-même suivant le plan API 11,72 .

V.2.3. Défaillances et diagnostic de la garniture :

Selon l'historique, les pompes ont subi des fuites énormes d'huile chaude vers l'extérieur au niveau de sa garniture mécanique. Selon les techniciens de l'ONR: deux des trois pompes ont déjà subi une telle défaillance A et C, et la pompe B n'est pas liée au groupe électrogène donc presque toujours reste au repos.

Pendant ces défaillances, les agents de service mécanique ont intervenu sur les garnitures, où ils ont constaté la déformation du joint o-ring situé entre le manchon de garniture et l'arbre de la pompe (Figure. V.2), et présence des impuretés sur le soufflé du grain mobile (voir les figures au-dessous Figure.V.3), ont procédé à son changement.

Déformation du joint



Figure.V.2: Différentes constatations sur le joint de manchon de garniture
Pompe de transfert d'huile chaude

Blocage du soufflet



Figure.V.3: Différentes constatations sur la partie tournant de garniture
Pompe de transfert d'huile chaude

Interprétation des constatations :

- 1- La déformation du joint de manchon a entraîné la fuite d'huile chaude de la pompe via le jeu existant entre le manchon de la garniture et l'arbre.
- ✓ Cette dégradation de joint est due à la compression rémanente sous une chaleur limite (sachant que la température d'huile chaude dans la pompe est de 280⁰C) (appelée en anglais « *compression set* »)
- 2- L'encrassement de la partie tournante subi au blocage de soufflet, qui conduit à mauvais étanchéité au niveau de garniture mécanique qui entraîné une fuite d'huile chaude à l'extérieure de la pompe.
- ✓ Cette dégradation de la garniture est due à la concentration des impuretés au niveau de soufflet.
- 3- l'équipe d'intervention mécanique ils proposent une méthode pour éviter l'encrassement du soufflet par la rectification de la chemise de garniture mécanique. Cette rectification permet d'augmenter légèrement la durée de vie de garniture mais ne pas suffisent.

V.2.4. Remèdes :

1- Changer le joint présent de la matière CHEMRAZ (c'est du perfluoroelastomer qui combine la force d'étanchéité d'élastomère et la résistance de PTFE) par un joint CHEMRAZ le plus résistant à la chaleur (CHEMRAZ 615) qui peut supporter jusqu'à 324⁰C (voir

l'annexe B).

2- Installation d'un système de filtration par une crépine ou strainer filtre. Pour ce faire, on ajoute un filtre on Y au niveau de picage dans la pipe installée juste après le refoulement de la pompe (**Fig. V.5. a**).

❖ Le dimensionnement d'un strainer filtre en Y :

Pour mesurer la porosité de l'ensemble du filtre, ou seulement le volume de l'adsorbant qu'il contient?

Porosité = 1 - densité (système poreux) / densité (solide),

d (système poreux) = masse (système poreux) / Volume (système poreux)

d (solide) est la densité squelettique du matériau solide à partir duquel le système poreux est faite (par exemple autour de 1,8 g / cm³ pour les grains de charbon actif.

On ne peut pas calculer la porosité de strainer filtre à cause de manque des analyses des huile chaude fonctionné (torada 46) au niveau de labo ONR

3- Installation d'un système ou un échangeur thermique par une convection naturelle après l'orifice pour réduire la température de fluide de refroidissement selon le plan **API 22** parce que selon l'installation de la pompe avec injection d'azote insuffisant pour réduire la température de fonctionnement de garniture (voir l'**annexe A**). (Voire **Fig.V.5.b**).

❖ **Le dimensionnement d'un échangeur :**

Le dimensionnement d'un échangeur thermique dépend de plusieurs paramètres, dans notre cas on a essayé de dimensionne un échangeur qui base à la convection naturelle :

Les complexités de l'écoulement des fluides rendent très difficile l'obtention de relations analytiques simples pour la convection naturelle. Ainsi, la plupart des relations en convection naturelle sont basées sur des corrélations expérimentales.

Le nombre de Rayleigh est défini comme le produit des nombres de Grashof et de Prandtl:

$$Ra = GrPr = Pr.g\beta(T_s - T_\infty)l^3/V_2$$

Le nombre de Nusselt en convection naturelle est sous la forme suivante:

$$Nu = hl/k = CR_a^n$$

Les constantes C et n dépendent de la géométrie de la surface et du flux. Ces relations sont pour des surfaces isothermes, mais pourraient être utilisées approximativement dans le cas de surfaces non isothermes en supposant que la température de surface soit constante à une valeur moyenne.

Les plaques verticales isothermes :

Pour une plaque verticale, la longueur caractéristique est L.

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0.59 Ra^{1/4} & 10^4 < Ra < 10^9 \\ 0.1 Ra^{1/3} & 10^4 < Ra < 10^9 \end{array} \right\}$$

Noter que les gaz parfaits, $\beta = 1 / T_\infty$

Convection naturelle des surfaces à ailettes :

Des surfaces à ailettes de différentes formes (dissipateurs thermiques) sont utilisées dans le refroidissement microélectronique. L'un des paramètres les plus cruciaux dans la conception des dissipateurs thermiques est l'espacement des ailettes. Les ailettes très compactes auront une plus grande surface pour le transfert de chaleur, mais un plus petit coefficient de transfert thermique (en raison de la résistance supplémentaire des ailettes supplémentaires).

Un dissipateur thermique avec des ailettes largement espacées aura un coefficient de transfert de chaleur plus élevé mais une plus petite surface. Ainsi, il existe un espacement optimal qui maximise la convection naturelle du dissipateur de chaleur.

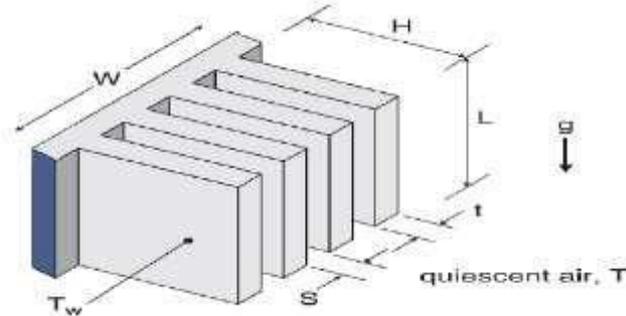


Figure V.4.a.: Dissipateur de chaleur vertical.

Considérons un dissipateur de chaleur de dimension de base W (largeur) et L (longueur) dans lequel les ailettes sont supposées isothermes et l'épaisseur de l'ailette t est faible par rapport à l'espacement des ailettes S . L'espacement optimal des ailettes pour un dissipateur thermique vertical est donné par :

$$S_{opt} = 2.714.L/Ra^{1/4}$$

L est la longueur caractéristique en nombre. Toutes les propriétés du fluide sont déterminées à la température du film. Le coefficient de transfert de chaleur pour l'espacement optimal peut être trouvé à partir de

$$h = 1.31k/S_{opt}$$

Les propriétés de l'air sont évaluées à la température du film:

$$T_f = (T_s + T_\infty)/2 = 523 \text{ K}$$

À cette température 523 K la propriété de l'air voir (le tableau V.2) ce dessous

- La conductivité de la plaque $K = 0.04357 \text{ watt /mk}$
- Le nombre de Prandtl $Pr = 0.68$
- Viscosité cinématique $\nu = 4.439 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\beta = 1/T_f = 0.00191 \text{ K}^{-1}$

La longueur caractéristique est $L = 0.25 \text{ m}$.

$$Ra = GrPr = g\beta((T_s - T_\infty)l^3/V^2)Pr = 2.9 \cdot 10^8$$

L'espacement optimal des ailettes est déterminé

$$S_{opt} = 2.714L/Ra^{1/4} = 2 \text{ cm}$$

✓ Le nombre d'ailettes et le coefficient de :

$$n = W/S_{opt} + t = 42 \text{ plaques}$$

- ✓ transfert thermique pour le cas optimal d'espacement des ailettes sont :

$$h = 1.31k/Sopt = 2.85 \text{ watt /mK}$$

- ✓ Le taux de transfert de chaleur par convection naturelle devient :

$$Q = h(2nlH)(Ts - T\infty) = 38.4 \text{ w}$$

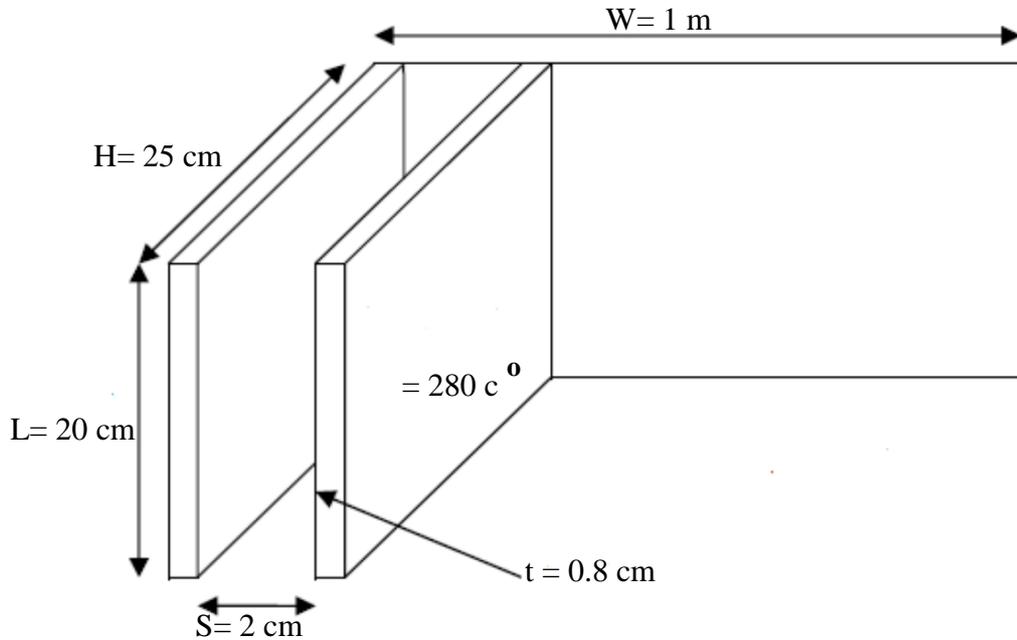


Figure V.4.b : Les diamètres de dissipateur

Tableau V.2 Propriété de l'air pour diffèrent température

Temperature (K) (deg C)	Specific Heat		Ratio of Specific Heats - k - (Cp/Cv)	Dynamic Viscosity - μ - (10 ⁻⁵ kg/m s)	Thermal Conductivity (10 ⁻⁵ kW/m K)	Prandtl Number	Kinematic Viscosity ¹⁾ - ν - (10 ⁻⁵ m ² /s)	Density ¹⁾ - ρ - (kg/m ³)	Diffusivity - α - (10 ⁻⁸ m ² /s)
	- Cp - (kJ/kgK)	- Cv - (kJ/kgK)							
175	1.0023	0.7152	1.401	1.182	1.593	0.744	0.586	2.017	
200	1.0025	0.7154	1.401	1.329	1.809	0.736	0.753	1.765	10.17
225	1.0027	0.7156	1.401	1.467	2.020	0.728	0.935	1.569	
250	1.0031	0.7160	1.401	1.599	2.227	0.720	1.132	1.412	15.67
275	1.0038	0.7167	1.401	1.725	2.428	0.713	1.343	1.284	
300	1.0049	0.7178	1.400	1.846	2.624	0.707	1.568	1.177	22.07
325	1.0063	0.7192	1.400	1.962	2.816	0.701	1.807	1.086	
350	1.0082	0.7211	1.398	2.075	3.003	0.697	2.056	1.009	29.18
375	1.0106	0.7235	1.397	2.181	3.186	0.692	2.317	0.9413	
400	1.0135	0.7264	1.395	2.286	3.365	0.688	2.591	0.8824	36.94
450	1.0206	0.7335	1.391	2.485	3.710	0.684	3.168	0.7844	
500	1.0295	0.7424	1.387	2.670	4.041	0.680	3.782	0.7060	
550	1.0398	0.7527	1.381	2.849	4.357	0.680	4.439	0.6418	
600	1.0511	0.7640	1.376	3.017	4.661	0.680	5.128	0.5883	

- Le choix du la porosité filtre concerne à les impuretés qui véhicule sur l'huile (le manque d'analyse d'huile au niveau de labo ONR pour calculer la porosité du filtre). Ce plan doit être équipé d'un indicateur de pression différentielle et d'une alarme pour avertir l'utilisateur que le filtre ou la crépine est bouché (Voire Figure.V.5.c)

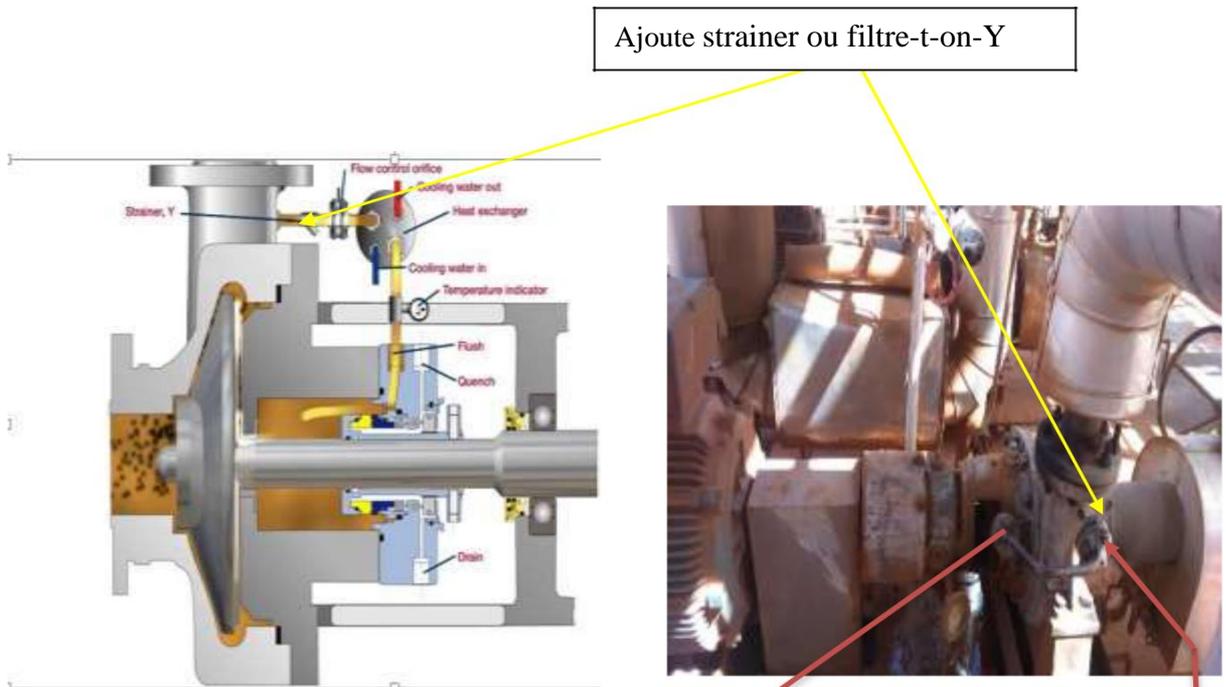


Figure V.5.a: filtration par un strainer ou filtre on Y
Application de plan API 12, 22

Figure V.5.b: Pompe 60-B application
de plan API 11

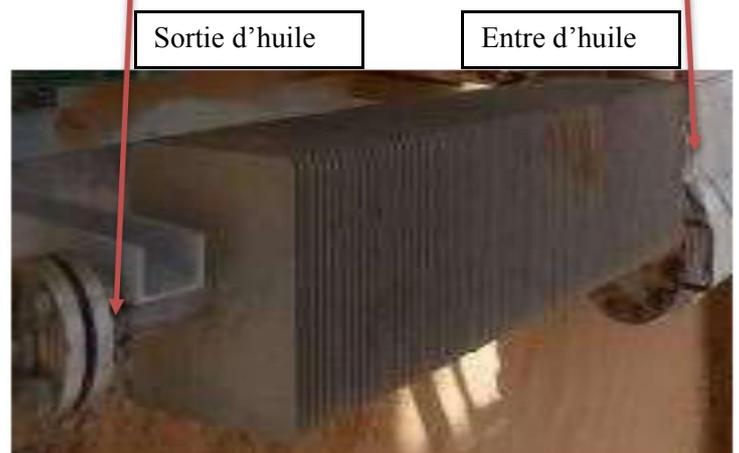


Figure V.5.c: Installation d'un échangeur thermique avec
une convection naturel

V.3. Pompes d'expédition GPL :

V.3.1. Fonction et caractéristiques :

Les Trois pompes d'expédition de GPL 50-P-01 A/B/C, sont des pompes centrifuges multicellulaires qui expédient le GPL provenant de sphères de stockage on-spec, avec une pression de 57,9 barg, avec débit de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, vers Hassi R'mel passant par la station de pompage.

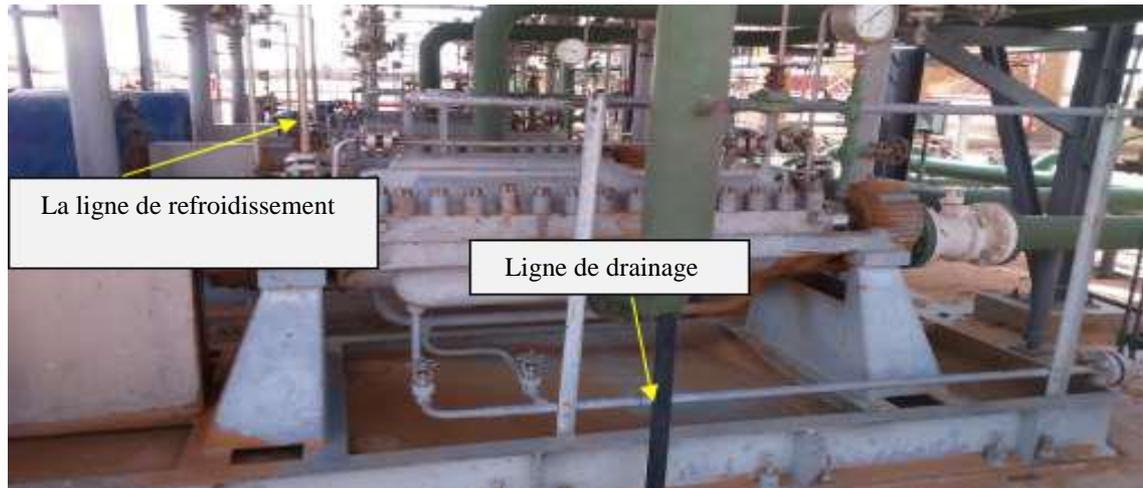


Figure V.6: Pompe d'expédition du GPL 50-P-01 A

VI.3.2. Caractéristiques de la garniture mécanique :

La garniture utilisée est une garniture double en tandem (deux garniture montée en série) : les deux parties humides avec contact, de marque John crane (voir son schéma technique dans l'annexe C).

La partie secondaire, qui est conçue pour créer un fluide tampon (fluide buffer) contre la fuite à l'extérieur par un fluide extérieur -comme au notre site installe réservoir pour fluide de barrage 25 % l'eau + 75% glycol est un dispositif conçu pour les plan **API 11, 52** il permet le refroidissement, la lubrification et le confinement des faces de la garniture mécanique double.

V.3.3. Défaillances et diagnostic de la garniture :

Selon l'historique, la pompe en fonctionnement a subi une fuite de GPL vers l'extérieur au niveau de sa garniture mécanique, et une fuite de liquide durant son arrêt. On a constaté:

- 1- des traces de liquide noir qui sort avec le GPL

2- Des impuretés noires dans la garniture et son logement dans la pompe.



Figure V.7: Dépôts noirs dans le logement de garniture de la pompe d'expédition de GPL

3- Des dépôts noirs genre d'une coke sur le manchon de la garniture.



Figure V.8: Dépôts noirs sur le manchon de la garniture

Interprétation des constatations :

- 1- La fuite à l'extérieur traduit une défaillance de l'étanchéité secondaire
- 2- Le liquide sorti peut être les traces de liquide (C₅+) dans le GPL et surtout quand il est off-spec, qui stagne dans la boîte de la garniture en arrêt (froide) et cesse de s'évaporer par la chaleur de frottement des grains et échapper via l'évent. (Voir le rapport de labo au niveau ONR l'annexe D).
- 3- La cokéfaction de GPL sur le manchon de la garniture signifie son sur échauffement, qui vient du frottement sec des grains secondaires (absence de glycol).
- 4- Les impuretés noires dans la garniture et son logement de la pompe sont dues à la malpropreté de GPL. Elles entraînent l'usure rapide des grains, et l'encrassement des ressorts qui ne parviennent pas à compenser le jeu par la force de la raideur.

V.3.4. Remèdes :

- a) Installation d'un système de filtration par un séparateur cyclone. Pour ce faire, on ajoute un picage dans la pipe installée juste après le refoulement de la pompe (**Fig. 4.9. a**).

❖ Le dimensionnement d'un séparateur cyclone :

Les séparateurs à cyclone sont des dispositifs qui utilisent les forces centrifuges et la faible pression provoquée par le mouvement de rotation pour séparer les matériaux de densité, de taille et de forme différentes. Les cyclones gazeux sont largement utilisés dans l'industrie pour la séparation des particules des flux de gaz et d'air, tandis que les cyclones d'eau, également appelés hydro cyclones, sont utilisés pour la séparation de fluides de densités différentes

Pour le choix de d'un séparateur a cyclone doit être déterminé :

La géométrie d'un séparateur a cyclone

Cyclone avec entrée d'aérosol tangentielle.

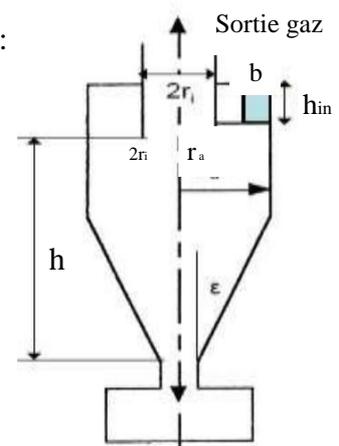
Cylindre de rayon: r_a

Rayon du tube de sortie de gaz: r_i

Hauteur de l'entrée: h_{in}

Largeur d'entrée: b

Demi-angle de cône: ε



PROCÉDURE DE CONCEPTION:

1. Sélectionnez la conception à haut rendement ou à haut débit en fonction des performances requises.
2. Trouver le diamètre du cyclone pour une vitesse d'entrée fixe.
3. Calculez les facteurs d'échelle en fonction des graphiques disponibles.
4. Calculer la performance du cyclone et l'efficacité globale (récupération des solides). Si insatisfaisant, essayez un diamètre plus petit.

Les formules utilisées:

$$d2/d1 = (Dc2/Dc1)^3 \times (Q1/Q2) \times (u1/u2) \times (\Delta p2/\Delta p1)^{1/2}$$

Dc1: Diamètre du cyclone standard = 8 " (203 mm), Dc2: Diamètre du cyclone proposé

Q1: Débit standard : Pour une design haute efficacité = 223 m³ / h, pour un débit élevé = 669 m³ / h

Q2: débit proposé (huile chaude) 100 m³ / h

$\Delta p1$: différence de densité solide-fluide dans la condition standard,

$\Delta p2$: Différence de densité, conception proposée

Densité de cendres volantes = 2000 kg / m³ à 230° C, Densité de cendre volante = 2300 kg / m³ à 280° C

$\mu1$: Fluide de viscosité d'essai (huile chaude, 380° C) = 0,18 mN s / m²,

$\mu2$: Viscosité, fluide proposé = 0,33 mN s / m²

d2: Diamètre moyen des particules séparées selon la conception proposée, avec la même efficacité de séparation

d1: Diamètre moyen de la particule séparée dans les conditions standard, à l'efficacité de séparation choisie

- La vitesse d'entré = 2975 tr/min
- La surface de cyclone = $4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $0.1 \cdot Dc_2^2 = 4 \cdot 10^{-4}$

Dc = 0.145 m < 0.203 m (standard design diameter).

Facteur d'échelle = $d2/d1 = 0.67$

Surface de cyclone, $As = \pi \cdot Dc \cdot (1.5 \cdot Dc) + \pi \cdot Dc \cdot (2.52 \cdot Dc) = 50.3 \text{ mm}^2$

CONCEPTION FINALE:

- Diamètre du cyclone = $D_c = 0,063 \text{ m}$
- Surface d'entrée de flux = $0.5D_c * 0.2D_c = 4 * 10^{-4} \text{ m}^2$
- Longueur cylindrique = $1,5 D_c = 0,0945 \text{ m}$
- Section conique ht. = $2.5D_c = 0,1575 \text{ m}$
- Diamètre de l'extrémité conique = $0,375D_c = 0,0236 \text{ m}$
- Diamètre de sortie = $0.5D_c = 0,0315 \text{ m}$

b) Installation un dispositif de remplissage couverte au niveau de réservoir sur l'entonnoir de remplissage de (25% glycol+75 % l'eau) pour évite la présence des grains de sable dans le liquide de refroidissement

c) Installation du système d'injection de N_2

Pour étanche la fuite GPL vers l'extérieur

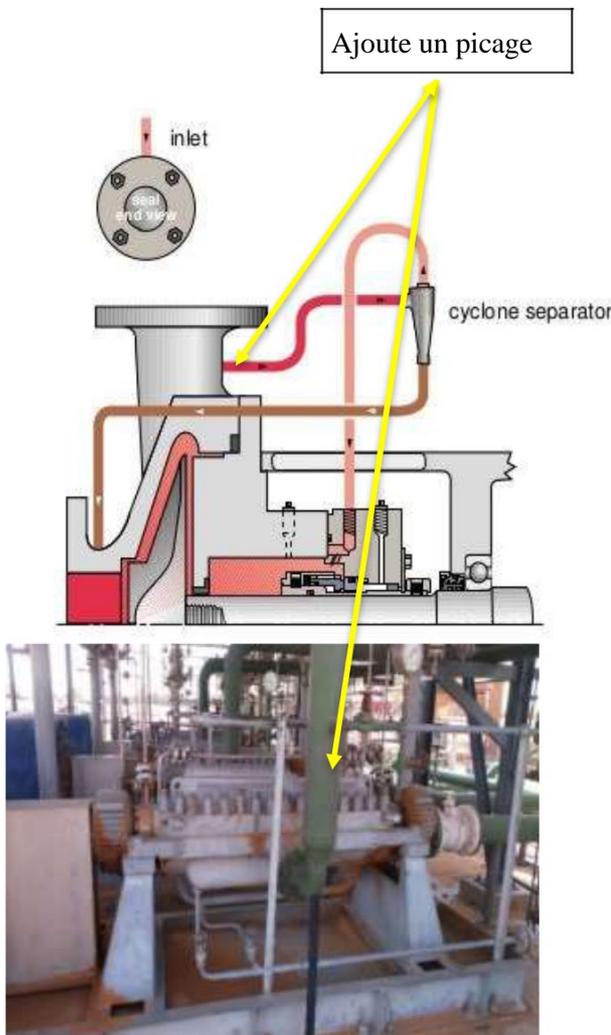


Figure V.9.a: Filtration par séparateur cyclone Application de plan API 31

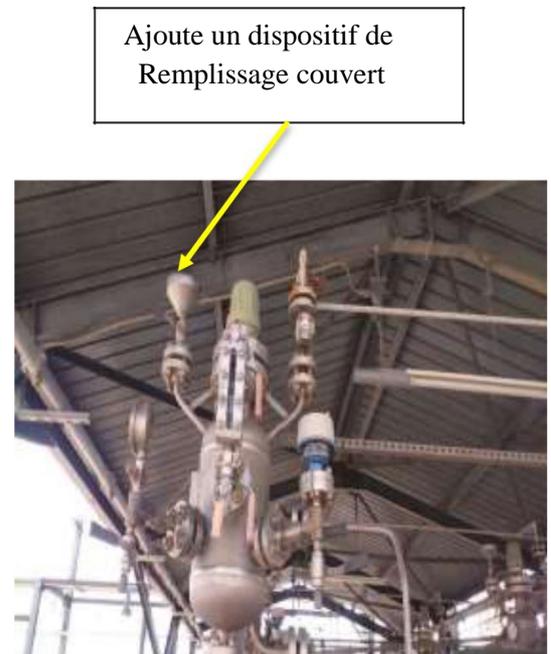


Figure V.9.b: Installation couverte pour empêcher les grains de sable dans le fluide de refroidissement

V.4. Pompes d'expédition brute :

V.4.1. Fonction et caractéristiques :

Les deux pompes d'expédition de brut 70-P-01 A/B, sont des pompes centrifuges multicellulaires (deux étages) qui expédient le brut provenant de bac de stockage, avec une pression de atmosphérique, vers Haoud Hamra passant par la station de pompage.



Figure V.10: Pompe d'expédition du brut 70-P-01 A

V.4.2. Caractéristiques de la garniture mécanique :

La garniture utilisée est une garniture simple a ressort : les deux parties humides avec contact, de marque John crane (voir son schéma technique dans l'annexe E).

Les parties fixes munis d'injection de fluide elle-même qui assure son refroidissement des garnitures pour les deux garnitures (coté charge et coté libre). Suivant le plan API 11.

V.4.3. Défaillances et diagnostic de la garniture :

Selon l'historique, les pompes ont subi des fuites de brut vers l'extérieur au niveau de leurs garnitures mécaniques(les deux coté charge et libre).

Après l'ouverture de la garniture, les intervenants ont constaté:

- 1- Des impuretés noires dans la garniture et son la boîte dans la pompe (Figure V.11.a).
- 2- Bouchage des orifices au niveau picages qui liée avec la ligne de refroidissement (Figure V.11.b).

- 3- Le ressort de grain mobile a perdu sa fonctionnalité.
- 4- Usure moyen sur le grain fixe et le grain mobile (des rayures superficielles).

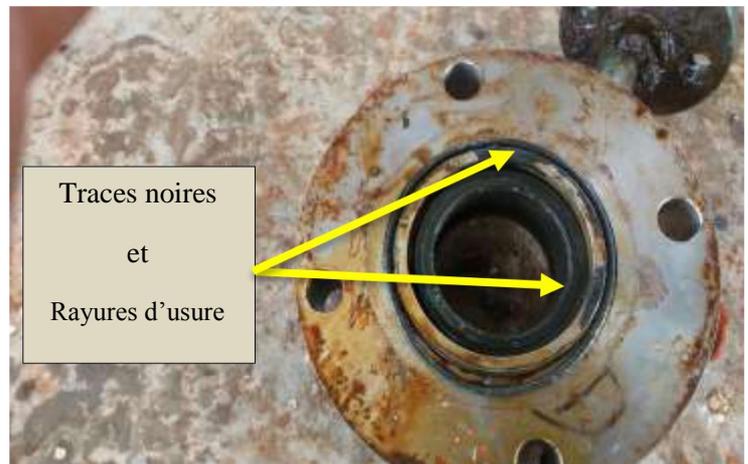


Figure V.11.a: Dépôts noirs dans la boîte de garniture de la pompe d'expédition du brut.



Figure V.11.b: Bouchage des orifices au niveau picages qui liée avec la ligne de refroidissement la pompe d'expédition du brut.

Interprétation des constatations :

- Présence des impuretés dans la boîte de garniture et l'encrassement des ressorts indiquent la malpropreté de brut qui arrose les grains de la garniture. (Manque des analyses de brut au labo ONR).
- Elles entraînent l'usure rapide des grains, et les ressorts encrassés ne parviennent pas à compenser le jeu par la force de la raideur.

V.4.4. Remèdes :

- Installation d'un système de filtration par une crépine ou filtre on Y, c.-à-d. Pour ce faire, on ajoute un filtre on Y au niveau de picage dans la pipe installée juste après le refoulement de la pompe (Figure V.12). Le même cas de la pompe huile chaude on ne peut pas exprime la porosité exacte a cause de manque des analyse de brut.

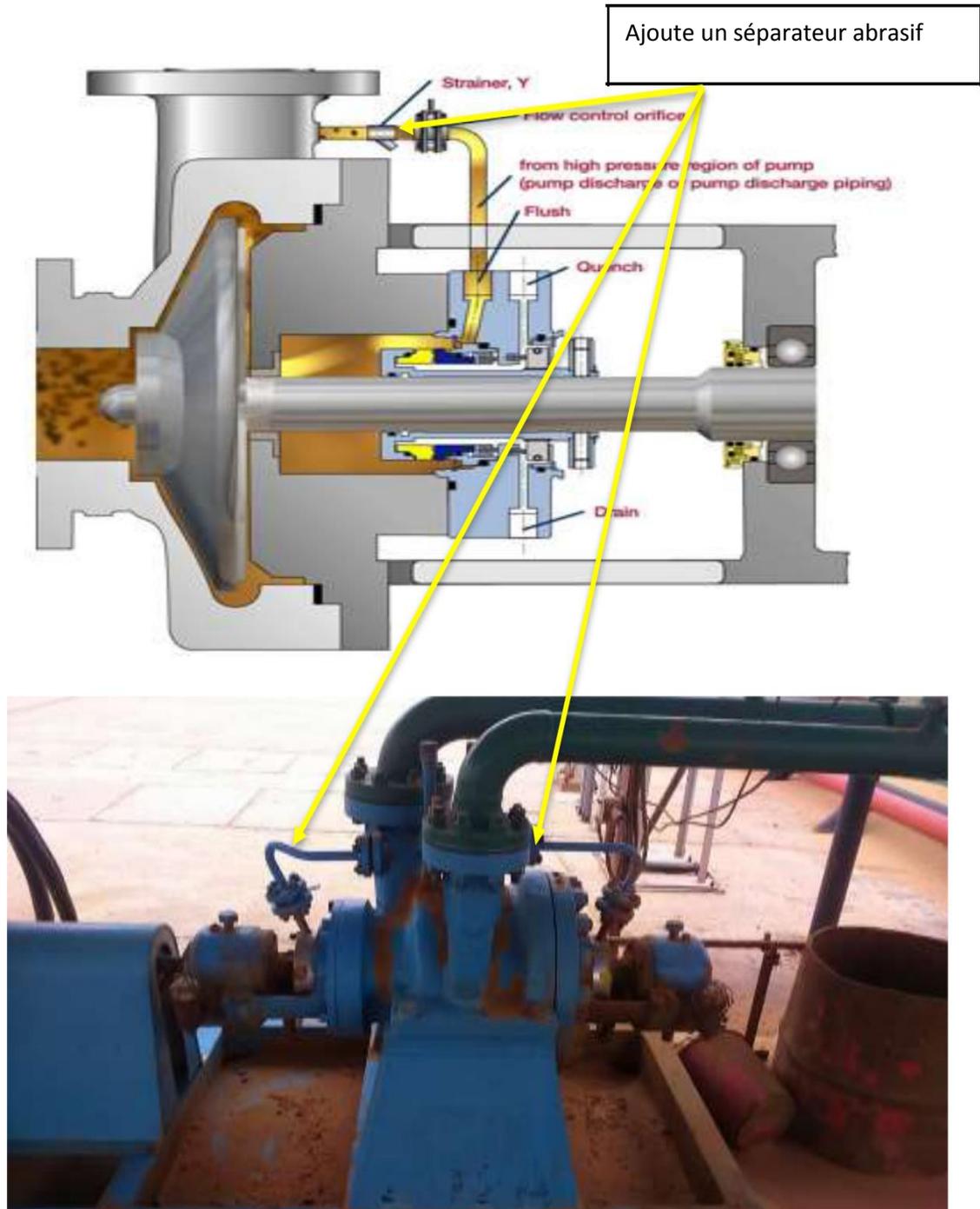


Figure V.12: Filtration par séparateur abrasif Application de plan API 31

V.5. Pompes Condensat :

V.5.1. Fonction et caractéristiques :

Les deux pompes reflux de condensat 40-P-05 A/B, sont des pompes centrifuges monocellulaires (1 étages) qui transfèrent le condensat vers tête deethaniseur avec pression de 25 barg et une température de -16°C , le condensat stock a une pression atmosphérique avec le brut.



Figure V.13: Pompe transfère condensat 40-P-05 A

V.5.2. Caractéristiques de la garniture mécanique :

La garniture utilisée est une garniture double en tandem (deux garniture montée en série): les deux parties humides avec contact, de marque John crane (voir son schéma technique dans l'annexe F).

La partie secondaire, qui est conçue pour créer un fluide tampon (fluide buffer) contre la fuite à l'extérieur par un fluide extérieur -comme au notre site installe réservoir pour fluide de barrage 25 % l'eau +75 % glycol est un dispositif conçu pour les plan **API 11, 52** il permet le refroidissement, la lubrification et le confinement des faces de la garniture mécanique double.

V.5.3. Défaillances et diagnostic de la garniture :

Selon l'historique, les pompes ont subi des fuites de condensat vers l'extérieur au niveau de leurs garnitures mécaniques.

Lors de la réparation, les intervenants mécaniciens ont constaté :

- Arrachement de la matière au grain mobile (Figure V.14.a).



Figure V.14.a: Grain mobile de la pompe reflux condensat 40-P-06 A

- Traces noires dans la garniture et son logement dans la pompe. (Fig.V.14.b).

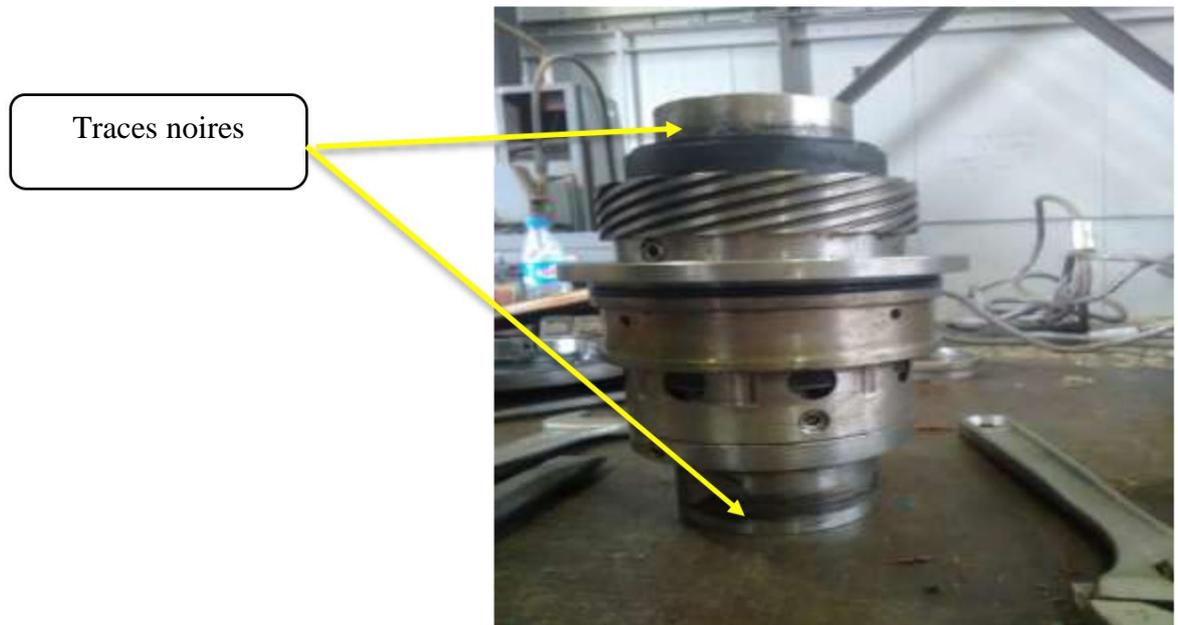


Figure V.14.b: Garniture mécanique de la pompe de reflux avec des traces noires de la fuite condensat

Interprétation des constatations :

- La fuite à l'extérieur traduit une défaillance de l'étanchéité secondaire.
- Le liquide sorti peut être les traces de liquide (C₇+) dans le condensat, qui stagne dans la boîte de la garniture en arrêt (froide) et cesse de s'évaporer par la chaleur de frottement des grains et échapper via l'évent.

VI.5.3. Remèdes :

- Installation un dispositif de remplissage couverte au niveau de réservoir sur l'entonnoir de remplissage de (25% glycol+ 75 % l'eau) pour évite la présence des grains de sable dans le liquide de refroidissement (comme la Fig. V.9.b).
- Installation du système d'injection de N₂ 3.3 pour étanche la fuite GPL vers l'extérieur. A cause de cette fuit, l'équipés mécanique évité d'intervenu sur pompe

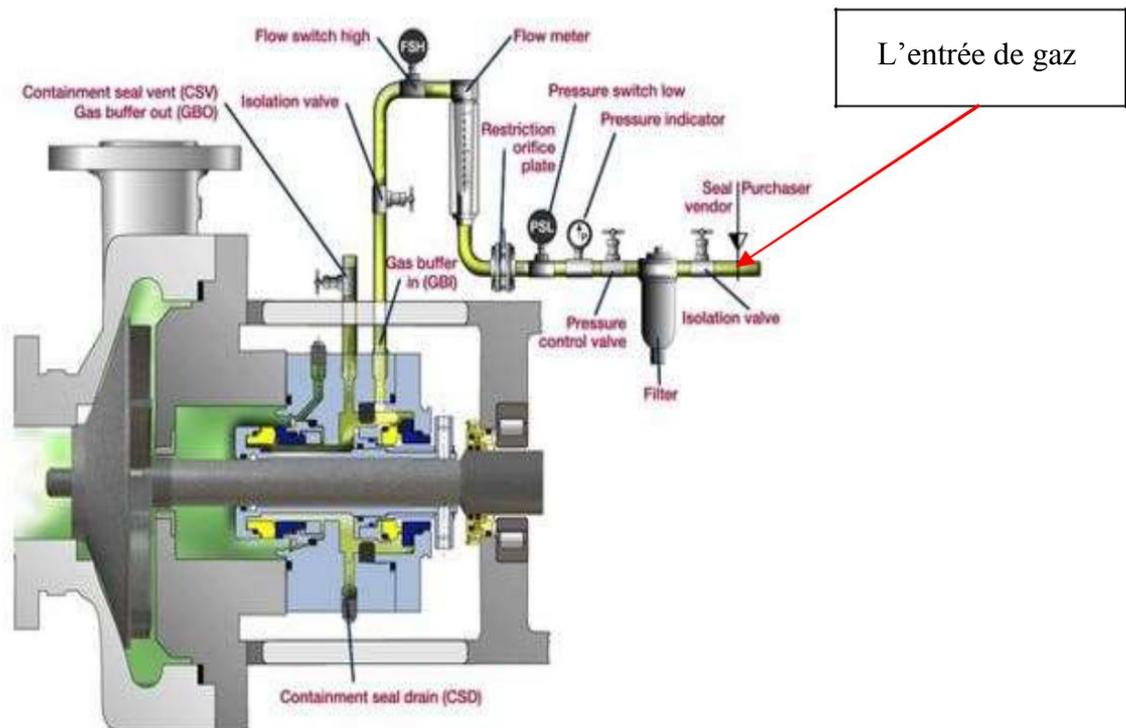


Figure V.15: Installation du système d'injection de N₂ pour réduire l'efficacité de produit danger

V.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons contribué au diagnostic des défauts de garnitures mécaniques dans quelques pompes centrifuges du CP et CR qui ont subi des changements de garnitures lors des travaux de maintenance corrective, à savoir : les pompes de reflux condensat les pompes d'expédition de GPL , les pompes de transfert d'huile chaude et les pompes d'expédition de brut. De plus, nous avons proposé quelques modifications et solutions qui permettront d'augmenter la disponibilité de ces équipements vitaux et de prévenir les risques des défauts d'étanchéité.

CONCLUSION GENERALE

Les machines tournantes ou les turbomachines ce sont des machines rotatives qui forment une famille importante d'appareils qui utilisent un fluide pour effectuer une transformation d'énergie, On rencontre les turbomachines dans un grand nombre d'application comme la production d'électricité (turbine à gaz – turbine à vapeur), l'industrie lourd (pompe centrifuge – compresseur centrifuge). On peut classifier ces machines selon plusieurs facteur (leur principe fonctionnement – direction d'écoulement – type d'installation – transfert énergétiques).

Le système d'étanchéité est un système qui nous permet de réduire ou de minimiser les fuites de fluide. Il y a deux types d'étanchéité statique et dynamique, on utilise dans ce système des joints des garnitures mécaniques qui varie en plusieurs types selon la fonction de leur utilisation. Ces derniers ont besoin d'un système de refroidissement et d'une lubrification.

La maintenance est nécessaires dans l'industrie pour assurer la continuité le fonctionnement du l'usine, il y a deux grandes familles de maintenance: maintenance préventive c'est le plus importants, cela nous aide à éviter les pannes et maintient les conditions d'utilisation des machines, et l'autre type c'est la maintenance corrective qu'elle s'applique après la panne et consiste au dépannage ou à la réparation.

Nous avons contribué au diagnostic des défauts de garnitures mécaniques dans quelques pompes centrifuges du CP et CR, nous avons constaté que 65% (environ) des interventions sur les pompes centrifuges (hors nettoyages des filtres) sont dues aux garnitures, et 70% (environ) de ces interventions ont nécessité leur changement, nous avons proposé quelques modifications et solutions qui permettront d'augmenter la disponibilité de ces équipements vitaux et de prévenir les risques des défauts d'étanchéité .

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Documentation Sonatrach.
- [2] Théorie des turbomachines, M.Reggio et J-Y.Trépanier.
- [3] Turbines à gaz [archive], sur mines-paristech.fr, consulté le 24 décembre 2017.
- [4] GE Oil & Gas Heavy Duty Gas Turbine June 2013.
- [5] André LALLEMAND, 1195, "Production d'énergie électrique par centrales.
- [6] S. DAGHBOUDJ, A. GAHMOSSE, Contribution à l'étude des aubes des turbines à vapeur. Vrillage, Structure & vibration, Thèse de Magister, Université d'Annaba, (1997).
- [7] Google image.
- [8] Daghboudj S, Gahmousse A, Harkati L, "Etude des fréquences propres d'une poutre encastree-libre cas d'une section constante (application aux aubes des turbines à vapeur et validation des résultats avec ABAQUS) ", Communication Université Labri Tébessi, Tébessa.
- [9] L. VIVIER, Turbine à vapeur et à gaz, Edition Albin Michel, (1965).
- [10] S. Müller, M. Deicke, R.W. De Doncker, (Doubly fed induction generator systems for wind turbines). IEEE. Industry Applications magazine, pp. 26-33, 2002.
- [11] web site : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2240>
- [12] (Petites centrales hydrauliques – les turbines hydrauliques) rapport Programme d'action PACER – Energies renouvelables en suisse ISBN 3-905232-55-3
- [13] SAADI et MADOUNI (2014) : « Les stations de pompage dans les réseaux d'assainissement » Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme De License en Hydraulique, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCEN.
- [14] Iap sonatrach formation.
- [15] Salmi Abdelhafid et Gassarellil Brahim : « contribution à la maintenance preventive d'une installation de pompage cas (elma labiod tebessa) » Mémoire de projet de fin d'étude

pour l'obtention du diplôme De master en Electromécanique Minière UNIVERSITE LARBI TEBSSI – TEBESSA- 2015/2016.

[16] KARA Omar Abdoullah (2011) : « Etude théorique et expérimental de performance de pompes centrifuges ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme De master en Hydraulique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF ORAN.

[17] web site : http://www.wontu.fr/COURS/CHAP-5_POMPES.pdf

[18] Cour de formation sur le compresseur, centrifuge, nuovo pugnone, SONATRACH.

[19] Définitions lexicographiques et étymologiques de « Ventilateur » du Trésor de la langue française informatisé, sur le site du Centre national de ressources textuelles et lexicales.

[20] Ventilateurs. Compresseurs Aspects technologiques par Jean-Marie MÉRIGOUX Ancien Ingénieur en chef à la Direction technique de l'établissement Rateau de la société Alsthom.

[21] web site : <https://www.energiepluslesite.be/index.php?id=10869#c4192+c4193>

[22] G. Maillard, Technologie de l'automobile, juin 1986.

[23] Moteurs à combustion interne, Pierre Duysinx Université de Liège Année académique 2009-2010.

[24] web site : <http://www.bricoloverteu.com/e-commerce/dossier/1/moteur-4-temps.php>

[25] Y.TEMMAR , B.GOUAMID, KH.SEBIHI et I.BENCHEIKH, « Les Machines Électriques» MÉMOIRE De Fin d'Etude Pour Obtenir le Diplôme de Licence en Mécanique Université de QASDI MERBAH –OUARGLA.

[26] Machines électriques à courant alternatif, Dr. Bendaoud- Université de Sidi Bel Abbès.

[27] GEORGES SPINLER « Conception des machines (Principes et Applications) » 3 Dimensionnement 1997.

[28] Matthieu Barreau (octobre 2000) « Technologie de l'étanchéité ».

[29] document (etancheire)L.P.T.I. Saint Joseph La Joliverie .

[30] «Electromécanicien(ne) de Maintenance Industrielle .Notice Technique : Différents types de joints. » AFPA Foulayronnes 47-JPM-08/2013.

- [31] «Aperçu de la gamme Etanchéité industrielle » Busak+Shamban Suisse S.A., Division Export, Edition juin 2005.
- [32] « Etude numérique et expérimentale des paliers de moteur thermique et des joints d'étanchéité dynamique » Habilitation à diriger les recherches ,Aurelian Fatu, Soutenue prévue le 19 septembre 2013
- [33] web site : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Segmentation_\(mecanique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Segmentation_(mecanique)) « Dispositif mécanique »
- [34] « Étancher » - Matthieu Barreau ,AM2004.
- [35] « Étude expérimentale et numérique du comportement des joints à lèvres », thèse Mhammed ELGADARI , soutenance prévue en novembre 2013.
- [36] Kammüller, M. Zur Abdichtwirkung von Radial- Wellendichtringen. Thèse de doctorat, Stuttgart: Universität Stuttgart, 1986.
- [37] FRANCE JOINT.
- [38] « Joints industriels ». SKF. Publication 6373 FR · Octobre 2008
- [39] Flitney, R. "Seal and sealing handbook", Elsevier Ltd. 2007.
- [40] Alan O. Lebeck, "Principles and design of mechanical face seals", John Wiley & Sons Inc.1991.
- [41] « analyse des étanchéités annulaires a bague flottante » Présentée par : Manh Hung NGUYEN. Mars 2011.
- [42] « les équipements ». 'Garnitures et presse-étoupes' .manuel de formation. Cours exp-pr-eq230.révision 0.1 TOTAL .05/2007.
- [43] « «POMPES » ». 'Fonctionnement des garnitures d'étanchéité'. ENSPM Formation Industrie - IFP Training. 19/04/2005.
- [44] Mémoire fin étude : Adaptation D'un Nouveau Système D'étanchéité (La Garniture Sèche) Au Compresseur K201B ; 2010/2011.

- [45] l'Association française de la Mécanique de haute précision (AFMHP), Commission technique « Garnitures mécaniques » composée des sociétés : Burgmann France, Chesterton, Cyclam, John Crane France, Latty International
- [46] MT Bouzianne, Peliachi, S Bensaada (Principe de la maintenance industrielle) Edition universitaire européennes 2011.
- [47] Andres Biarciotto ; Pierre ; Boye Pascal (Guide de maintenance industrielle) Deiegrave 2008.
- [48] « Garnitures mécaniques, Montage et maintenance » l'Association française de la Mécanique de haute précision (AFMHP), composée des sociétés : Burgmann France, Chesterton, Cyclam, John Crane France, Latty International
- [49] API Standard 682 “Pumps—Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps” American Petroleum Institute, 4th edition, May 2014.

Annexe B: Caractéristiques de joint CHEMRAZ 615



CHEMRAZ® 615

SEALING SOLUTIONS

Greene, Tweed's Chemraz® 615 exhibits outstanding high-temperature properties, with a temperature range from 0°F to 615°F (-18°C to 324°C). Chemraz 615's chemical resistance and low compression set characteristics combine to out perform tin-cured perfluoroelastomers.

Chemraz 615 shows lower compression set at high temperatures and a higher retained sealing force than other perfluoroelastomers available.

Because Chemraz 615 allows for the use of higher process operating temperatures, it is ideal for a range of markets, from chemical process to petroleum refining. This superior perfluoroelastomer performs well in a variety of fluids such as inorganic and organic chemicals, acids, reagents, heat transfer fluids and hydrocarbons.

Chemraz 615 is available in standard O-rings and custom shapes for a range of equipment, from pumps and valves to agitators and mixers, from mechanical seals and process control instruments to heat exchangers and diagnostic equipment.



APPLICATIONS

- Mechanical seals
- Process control instruments
- Heat exchangers
- Valves
- Agitators & mixers
- Pumps
- Couplings

TYPICAL PROPERTIES		
Physical Properties	ASTM Method	Typical Value
Color		Black
Specific Gravity	D297	2.02
Hardness, Shore A, Points	D2240	80
Mechanical		
Elongation @ Break, %	D1414	170
Modulus @ 50% Elongation, psi (MPa)	D1414	400 (2.8)
Modulus @ 100% Elongation, psi (MPa)	D1414	1,000 (6.9)
Tensile Strength @ Break, psi (MPa)	D1414	1,700 (11.7)
Thermal		
Service Temperature Range, °F (°C)		0°F to 615°F (-18°C to 324°C)

FEATURES & BENEFITS

- Low compression set at continuous temperatures up to 615°F (324°C)
- Ability to handle severe thermal cycles, meaning longer life and lower downtime costs
- Does not stick at high temperatures
- Superior service life in a variety of media, including heat transfer oils
- Excellent chemical resistance



Seal & Design Able Division

5533 Steeles Avenue West Unit 11
Toronto, Ontario M9L 1S7
Ph: (416) 741-0750
Gasket@AbleSealAndDesign.com



Seal & Design Corporate Headquarters

4015 Casilio Parkway
Clarence, NY 14031
Ph: (716) 759-2222
Info@SealAndDesign.com
www.SealAndDesign.com



Seal & Design Higbee Division

6741 Thompson Rd N
Syracuse, NY 13221
Ph: (315) 432-8021
Sales@Higbee-Inc.com

Annexe D : Rapport d'analyse des gaz et GPL

سوناتراش SONATRACH
 DIVISION PRODUCTION
 DIRECTION REGIONALE HRM
 DIRECTION OUED-NOUMER
 DEPARTEMENT PRODUCTION
 sonatrach Sce : TRAITEMENT-CORROSION

30/04/2018

*RAPPORT JOURNALIER**BRUT PRODUIT*

Heure	Densité/T°C	Densité à 15°C	salinité (ppm)	Observation	Bac
>4,5m	0,786à15°C	0,786	111		
<3m	0,782à16°C	0,7827	117		
3-4,5m	0,782à13°C	0,7813	47		

GAZ ET GPL

	GAZ U70	GPL PRODUIT	GPL EXP	Observation
heure	18h00	08h00	17h00	
N2	3,49			
CO2	0,19			
C1	85,47	0	0	
C2	9,50	1,99	0,77	
C3	1,11	62,6	54,72	
IC4	0,08	11,2	14,69	
NC4	0,12	24,15	29,79	
IC5	0,02	0,04	0,02	
NC5	0,02	0,02	0,01	
C6+	0,00			
Total	100,00	100,00	100,00	
DENSITE	0,6305	0,5321	0,5401	
PCS(kcal/m3	10017,73			
PM	18,48	48,79		
C2-	94,97		0,77	
C5+	0,04	0,06	0,03	
TENEUR EAU	24ppm			

analyse faite par: H. Hamel

