



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de L'Enseignement supérieur et de La Recherche*  
*scientifique*



*Université Kasdi Merbah Ouargla*  
*Faculté Des Sciences Appliquées*  
*Département De Génie Mécanique*

**Mémoire de Fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Electromécanique**

**Spécialité : Maintenance industrielle**

**Présenté Par :**

**BERREBEUH Mohammed Hicham**

**&**

**BADDOU Alaeddine Ismail**

**THÈME**

*Analyse et diagnostic de garniture mécanique*  
*d'une pompe à l'huile chaude*

**Soutenue publiquement le 11/06/2023**

**Devant le jury :**

GUEBAILIA Moussa

KAREK Rabie

BOUHEMAME Nasser

MCA Université KM Ouargla

MCA Université KM Ouargla

MCB Université KM Ouargla

Président

Examineur

Promoteur

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2022/2023**

## ***REMERCIEMENTS***

Je remercie tout d'abord mon dieu qui m'a donné la force pour  
terminer ce modeste travail

Je remercie notre encadreur monsieur

Nasser Bouhemame d'avoir accepté de me  
suivre, pour son aide et ses conseils durant la préparation de ce projet

Je remercie également tous les enseignants du département  
génie mécanique

Je remercie aussi les membres de jury d'avoir accepté mon  
Travail.

## *Dédicaces*

En premier lieu, je tiens à remercier notre Dieu,  
pour le courage et la Force qu'il m'a donné pour  
effectuer ce travail

Je dédie ce modeste travail.

A mes chers parents, j'espère que leur rêve est  
réalisé.

A mes frères et sœurs.

A toutes la famille.

Et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin  
durant toute la période de travail surtout, Alaeddine

Toute la promotion 2022-2023

## **M Hicham**

En premier lieu, je tiens à remercier notre Dieu,  
pour le courage et la Force qu'il m'a donné pour  
effectuer ce travail

Je dédie ce modeste travail.

A mes chers parents, j'espère que leur rêve est  
réalisé.

A mes frères et sœurs.

A toutes la famille.

Et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin  
durant toute la période de travail surtout, M. Hicham

Toute la promotion 2022-2023

## **Alaeddine**

## Résumé

Dans les applications technologiques, la fonction « étanchéité » consiste à séparer deux milieux fluides de nature et/ou d'états physico-chimiques différents, leur but est de minimiser ou d'empêcher une contamination d'un milieu par rapport à l'autre, afin d'éviter une pollution, une réaction chimique, une avarie ou surtout une fuite qui conduit à une perte de performances.

Dans notre investigation expérimentale sur les pompes de l'huile chaude P5001A/B connaissent un problème d'étanchéité résultant de la défaillance de leurs garnitures mécaniques à cause de formation des dépôts solides à l'intérieure de ces dernières. Un diagnostic judicieux est fait sur ce problème. L'utilisation du diagramme d'Ishikawa, est un diagramme de causes et effets a pour but délimiter les causes possibles puis les causes réelles à partir desquelles on a proposé des solutions. Parmi la solution la plus importante qui influence sur la performance de la pompe, c'est l'élimination des sources d'oxygène.

**Mot clés :** Pompe centrifuge, garniture mécanique, problème d'étanchéité, diagramme d'Ishikawa.

## Abstract

In technological applications, the "sealing" function consists in separating two fluid media of different nature and/or physicochemical states, their aim is to minimize or prevent contamination of one medium by contribution to the other. , in order to avoid pollution, a chemical reaction, damage or above all a leak which leads to a loss of performance.

In our experimental investigation on the P5001A/B hot oil pumps experiencing a sealing problem, resulting from the failure of their mechanical seals due to the formation of solid deposits inside them. A judicious diagnosis is made on this issue. The use of the Ishikawa diagram is a diagram of causes and effects aims to delimit the possible causes then the real causes from which solutions have been proposed. Among the most important solution that influences the performance of the pump is the elimination of oxygen sources.

**Keywords:** Centrifugal pump, mechanical seal, sealing problem, Ishikawa diagram.

## ملخص

في التطبيقات التكنولوجية، تتمثل وظيفة "الختم" في فصل وسيطين مائعين من طبيعة مختلفة و / أو حالات فيزيائية-كيميائية، وهدفهم هو تقليل أو منع تلوث أحد الوسطاء من خلال المساهمة في الآخر، من أجل تجنب التلوث، تفاعل كيميائي أو تلف أو قبل كل شيء تسرب يؤدي إلى فقدان الأداء.

في التحقيق التجريبي الذي أجريناه على مضخات الزيت الساخن P5001A / B لديه مشكلة إحكام ناتجة عن فشل موانع التسرب الميكانيكية بسبب تكوين رواسب صلبة بداخلها. يتم إجراء تشخيص حكيم لهذه المشكلة. إن استخدام مخطط إيشيكاوا هو رسم تخطيطي للأسباب والتأثيرات يهدف إلى تحديد الأسباب المحتملة ثم الأسباب الحقيقية التي تم اقتراح الحل من خلالها. من أهم الحلول التي تؤثر على أداء المضخة التخلص من مصادر الأكسجين.

**الكلمات المفتاحية:** مضخة الطرد المركزي، الختم الميكانيكي، مشكلة الختم، مخطط إيشيكاوا.

# Sommaire

## Contents

<i>Resumé</i> .....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Introduction générale.....	1
<i>Chapitre 1 : Généralités sur les pompes et les garnitures mécaniques</i>	
<b>I.1 Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Présentation de la région</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.1 Description général</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.2 Historique d'exploitation du champ REB</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.3 Production à REB</b> .....	<b>5</b>
<b>I.3 Généralités sur les pompes</b> .....	<b>6</b>
<b>I.3.1 Définition d'une pompe</b> .....	<b>6</b>
<b>I.3.2 Classification des pompes</b> .....	<b>7</b>
<b>I.3.2.1 Pompes volumétriques (dites aussi à déplacement)</b> .....	<b>7</b>
<b>I.3.2.2 Turbopompes</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4 Généralités sur les garnitures</b> .....	<b>13</b>
<b>I.4.1 Un peu d'histoire</b> .....	<b>13</b>
<b>I.4.2 Garniture mécanique</b> .....	<b>15</b>
<b>I.4.2.1 Garniture mécanique usuelle</b> .....	<b>16</b>
<b>I.4.2.2 Garniture à huile</b> .....	<b>17</b>
<b>I.4.2.3 Garniture à gaz</b> .....	<b>18</b>
<b>I.4.3 Phénoménologie des garnitures mécaniques</b> .....	<b>19</b>
<b>I.4.4 Avantages et inconvénients des garnitures mécaniques</b> .....	<b>20</b>
<b>I.4.5 L'inspection et la réparation de la garniture mécanique</b> .....	<b>21</b>
<b>I.5 Conclusion</b> .....	<b>22</b>
<i>Chapitre 2 : Techniques et matériel</i>	
<b>II.1 Introduction</b> .....	<b>24</b>
<b>II.2 Description Pompes P5001</b> .....	<b>24</b>
<b>II.2.1 Caractéristiques des pompes</b> .....	<b>25</b>
<b>II.2.2 Eléments constitutifs de la pompe</b> .....	<b>25</b>
<b>II.2.2.1 Corps de pompe</b> .....	<b>25</b>
<b>II.2.2.2 Arbre de commande</b> .....	<b>25</b>
<b>II.2.2.3 La roue de la pompe</b> .....	<b>26</b>

II.1.2.4 Palier .....	27
II.3 Garniture mécanique .....	27
II.3.1 Caractéristiques de garniture mécanique .....	29
II.3.2 Eléments constitutifs de la garniture .....	29
II.4 Description de l'huile chaude .....	30
II.4.1 Caractéristiques d'huile chaude.....	30
II.4.2 Ballon d'huile chaude «V5001» .....	31
II.4.3 Filtre « S5001 » .....	31
II.5 Les techniques et les appareils de mesure .....	32
II.5.1 Mesure de pression.....	32
II.5.2 Mesure de la température .....	33
II.5.3 Appareil de mesure des vibrations .....	33
II.6 Diagramme d'ISHIKAWA.....	34
II.6.1 Définition diagramme Ishikawa .....	34
II.7 Conclusion.....	35

### *Chapitre 3 : Diagnostic et solution*

III.1 Introduction .....	38
III.2 Problématique .....	38
III.2.1 Historique du problème .....	39
III.2.2 Explication du phénomène.....	40
III.3 Diagnostic .....	40
III.3.1 Diagramme d'ISHIKAWA .....	41
III.3.1.1 Matériel.....	41
III.3.1.2 Méthode .....	42
III.3.1.3 Milieu .....	44
III.3.1.4 Matière.....	45
III.4 Proposition de solutions .....	45
III.5 Conclusion .....	47
<i>Conclusion générale</i> .....	49
<i>Références</i> .....	51
<i>Références bibliographies</i> .....	51
Annexe 1 : Circuit de l'huile chaude .....	54

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> Situation géographique des champs à REB .....	4
<b>Figure I.2</b> Production à REB.....	5
<b>Figure I.3</b> Différents circuits à REB .....	6
<b>Figure I.4</b> Vue perspective de la pompe centrifuge .....	9
<b>Figure I.5.</b> Vue de coupe d'une pompe centrifuge .....	10
<b>Figure I.6.</b> But de l'accouplement d'une pompe .....	11
<b>Figure I.7</b> Schéma de principe d'un presse-étoupe.....	14
<b>Figure I.8</b> Schéma de principe de la garniture mécanique .....	15
<b>Figure I.9</b> Garniture mécanique usuelle .....	17
<b>Figure I.10</b> Garniture à huile .....	18
<b>Figure I.11</b> Garniture à gaz .....	19
<b>Figure I.12</b> Les différents phénomènes agissant le comportement d'une garniture .....	20
<b>Figure II.1.</b> Une pompe P5001 A/B in site : a) pompe centrifuge à huile chaude, b) vanne d'aspiration, c) vanne de refoulement.....	24
<b>Figure II.2.</b> Arbre de commande de la pompe centrifuge.....	26
<b>Figure II.3.</b> Impulseur de la pompe.....	26
<b>Figure II.4.</b> Roulements à bille .....	27



<b>Figure II.5.</b> Fuite au niveau de la garniture.....	28
<b>Figure II.6.</b> Garniture mécanique simple.....	28
<b>Figure II.7.</b> Composants de la garniture mécanique .....	30
<b>Figure II.8</b> Ballon de stockage.....	31
<b>Figure II.9</b> Filtre d'huile.....	31
<b>Figure II.10.</b> Manomètre à ressort : a) aspiration, b) refoulement.....	32
<b>Figure II.11</b> Test de mesure de la température : a) Thermomètre infrarouge, b) Mesure de la température au niveau de la garniture.....	33
<b>Figure II.12.</b> Test de mesure de vibration : a) Instrument de mesure des vibrations, b) mesure de bruit sur la pompe.....	33
<b>Figure II.13</b> Problème causes et effets.....	35
<b>Figure III.1</b> Couche de dépôt solides : a) face interne du grain mobile, b) face interne du grain fixe c) soufflet.....	39
<b>Figure III.2</b> Fréquence du problème pour la pompe P5001 A/B durant le fonctionnement de l'unité .....	39
<b>Figure III.3</b> Bague de fond.....	41
<b>Figure III.4</b> contrôle de filtre.....	42
<b>Figure III.5</b> exigences de la norme API 23[12].....	43
<b>Figure III.6</b> système de refroidissement.....	44

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1.</b> Organes de la pompe .....	10
<b>Tableau. I.2</b> indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer)	13
<b>Tableau I.3 :</b> Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique.....	22
<b>Tableau II.1</b> Caractéristiques des pompes P5001 A/B.....	25
<b>Tableau II.2.</b> Caractéristiques de garniture mécanique.....	29
<b>Tableau II.3.</b> Caractéristiques d'huile chaude.....	31
<b>Tableau II.4</b> Paramètres de service du filtre.....	32

# Introduction générale

L'évolution permanente des exigences techniques telles que la compression des fluides aux hautes pressions sous différents états et caractéristiques physicochimiques et économiques du monde industriel conduit à une utilisation de plus en plus généralisée des étanchéités dynamiques par garnitures mécaniques. En effet, la technologie sans cesse améliorée des garnitures mécaniques permet d'assurer avec un maximum de fiabilité l'étanchéité de produits les plus divers dans des conditions d'exploitation de plus en plus sévères avec des durées de vie pouvant atteindre plusieurs milliers d'heures. Les performances annoncées par les fabricants de garnitures mécaniques peuvent être affectées par de multiples causes extérieures indirectes. En effet, les défaillances et défauts d'étanchéité des garnitures mécaniques sur 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.

C'est dans ce contexte que ce travail a été mené. Il vise à analyser les problèmes et les anomalies des garnitures mécaniques des pompes centrifuges, ainsi des propositions de solutions pour donner une meilleure exploitation de point de vue économiques et écologique.

Le présent mémoire se compose de trois chapitres organisés comme suit :

**Chapitre 1** présente brièvement la région Rhourd El Baguel qui fait l'un des objectifs de notre stage pratique, différentes pompes centrifuge et garnitures d'étanchéité tout en mettant l'accent sur les éléments de notre analyse.

**Chapitre 2** est consacré à la description de la pompe centrifuge P5001 et leurs caractéristiques, les différentes techniques de mesure utilisées pour la garniture mécanique, ainsi un a été exposée pour analyser et identifier les causes possibles de problème étudié.

**Chapitre 3** expose l'analyse et le diagnostic des garnitures mécaniques dans son environnement, en utilisant le diagramme d'ISHIKAWA pour l'identification les causes et proposé des solutions concrètes.

Pour finir, les principaux résultats sont synthétisés dans la conclusion générale.

# Chapitre I

*Généralités sur les  
pompes et les  
garnitures mécaniques*

### **I.1 Introduction**

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. La plus ancienne pompe connue est la pompe à godets inventée en Chine. Les pompes Diesel et électriques, utilisées à nos jours, peuvent avoir des débits de pompage très élevés. Le principe de la pompe est apparu dès que l'homme a pu construire un habitat artificiel pour son confort.

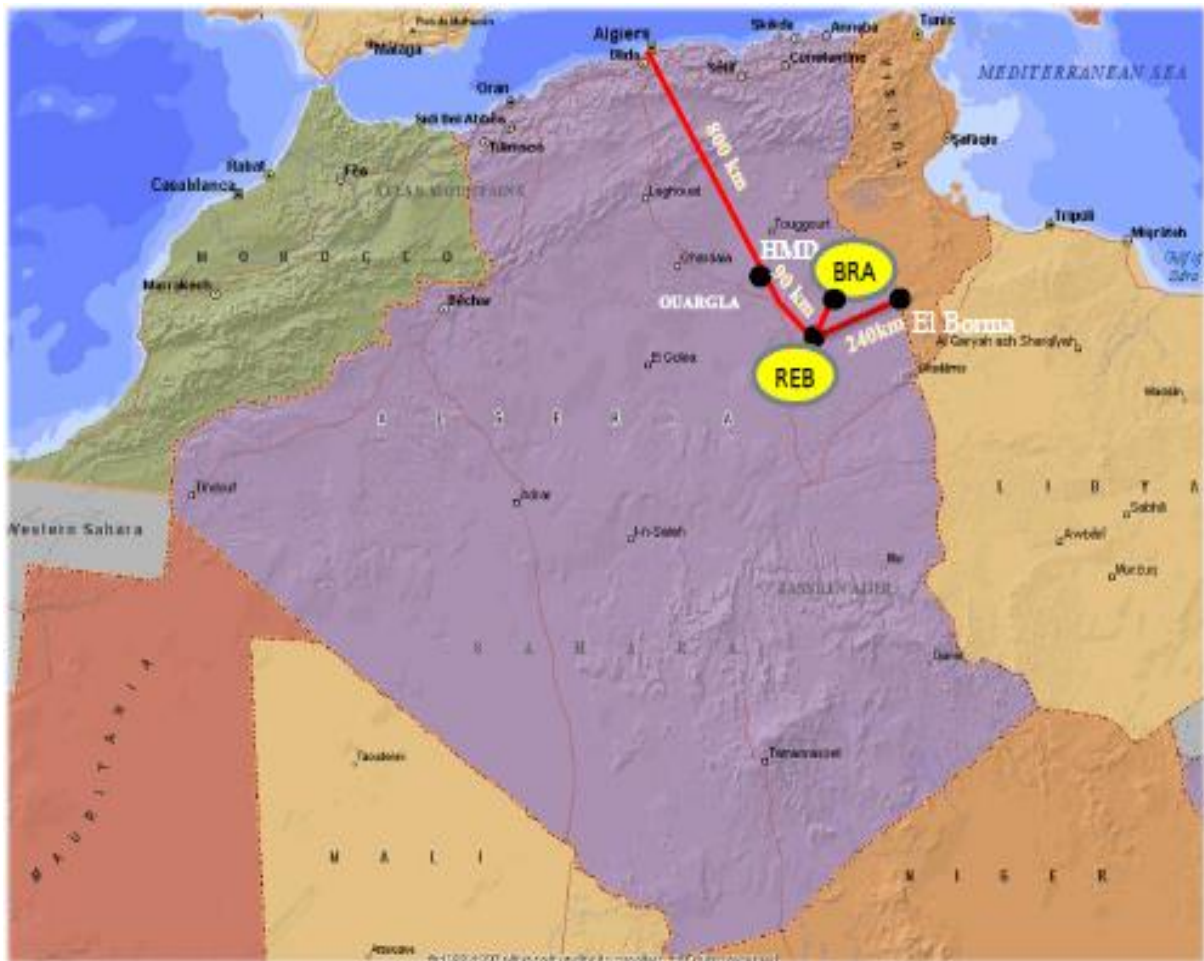
Le besoin en eau nécessaire à sa survie l'oblige à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat. Il utilisa d'abord l'énergie développée par ses muscles pour transporter l'eau à l'aide de récipients naturels ou artificiels. Plus la contenance et la distance étaient grandes, plus l'énergie dépensée a été importante. Les principes des pompes piston, des pompes centrifuges et des pompes à vide sont découverts à cette époque. De manière générale, durant la grande époque de la culture gréco-romaine, de nombreux principes de physique et d'hydraulique sont découverts, mais pas forcément développés.

Tous ces systèmes ne peuvent fonctionner correctement que dans la mesure où l'étanchéité du fluide est assurée. Il faut mettre en œuvre, d'une part, une étanchéité statique entre les différents constituants et d'autre part, une étanchéité dynamique. Cette dernière est beaucoup plus délicate à réaliser en raison du mouvement relatif des éléments contigus. Sur les premières pompes, l'étanchéité est assurée par un presse étoupe qu'on appelle aussi tresse ou éventuellement garniture. A partir des années 1940, un nouveau système apparaît. Il s'agit des garnitures mécaniques. Celles-ci ont maintenant supplanté les presses étoupes dans de nombreuses applications

### **I.2 Présentation de la région**

#### **I.2.1 Description général**

La région Rhourd El Baguel est constituée de deux champs. Le champ Rhourd El Baguel (REB) qui est le premier champ exploité, il est situé dans la partie Nord-est du Sahara algérien à environ 90 Km au Sud-est de Hassi Messaoud sur la route d'El Bourma. Le deuxième champ c'est celui de Bhiret Aissa (BRA) qui est en cours de développement, il est situé à 20 Km au Nord-est de REB.



**Figure I.1** Situation géographique des champs à REB

La production de REB est assurée par le premier champ dont on trouve 85 puits producteurs, 41 puits actuellement en production et 44 puits entre fermés et abandonnés, tandis que le deuxième n'a que trois puits actuellement en production qui ne dépasse pas les 2% de la production totale de la région.

### I.2.2 Historique d'exploitation du champ REB

Le champ REB est l'un des plus anciens champs en Algérie, il est considéré, après sa découverte par la société SINCLAIR OIL en 1959, comme le plus grand gisement après le gisement de Hassi Messaoud avec un réserve de 2.9 Milliards Barils. Son exploitation a connu plusieurs périodes.

- 1962 : Mise en production par la société SINCLAIR OIL.
- 1974 : Départ de SINCLAIR après la nationalisation des hydrocarbures.
- 1974 – 1996 : SONATRACH, Division Production.

- 1996 - 2012: Association SONARCO (SH – ARCO) puis (SH – BP).
- 2012 – Aujourd’hui : SONATRACH, Division Production.

### I.2.3 Production à REB

Au début d’exploitation du champ la production a été par déplétion naturelle. Pour maintenir la pression du gisement et pour augmenter la production, trois techniques assistantes ont été appliquées pour la récupération de pétrole brut, l’injection d’eau à haute pression, l’injection de gaz lift et l’injection de gaz miscible.

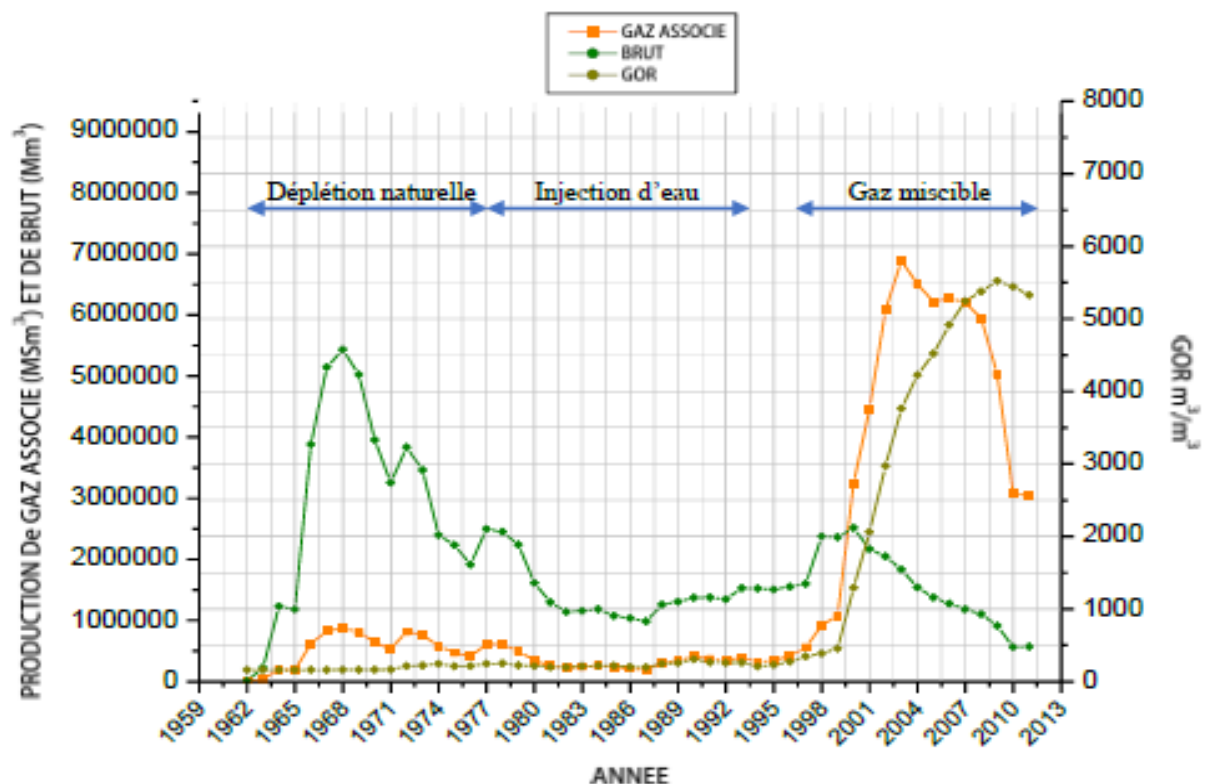


Figure I.2 Production à REB

Le pétrole brut issu des puits se regroupe à l’aide de trois manifolds Nord, Sud et Plant, en le trillant en trois catégories haute pression (HP), moyenne pression (MP) et basse pression (BP). Afin d’optimiser leur exploitation, le champ est doté de deux centres d’exploitation, le centre CPF (Center Production Facilites) et le centre TCF (Turbo Compressor Facilites). Pour assurer une alimentation en eau d’utilité, le champ est doté aussi des puits d’eau de la nappe Albienne qui sont éruptifs et de la nappe Mio-pliocène qui fonctionnent grâce à des pompes immergées.

La figure suivante illustre le processus des différents circuits au niveau du champ REB.

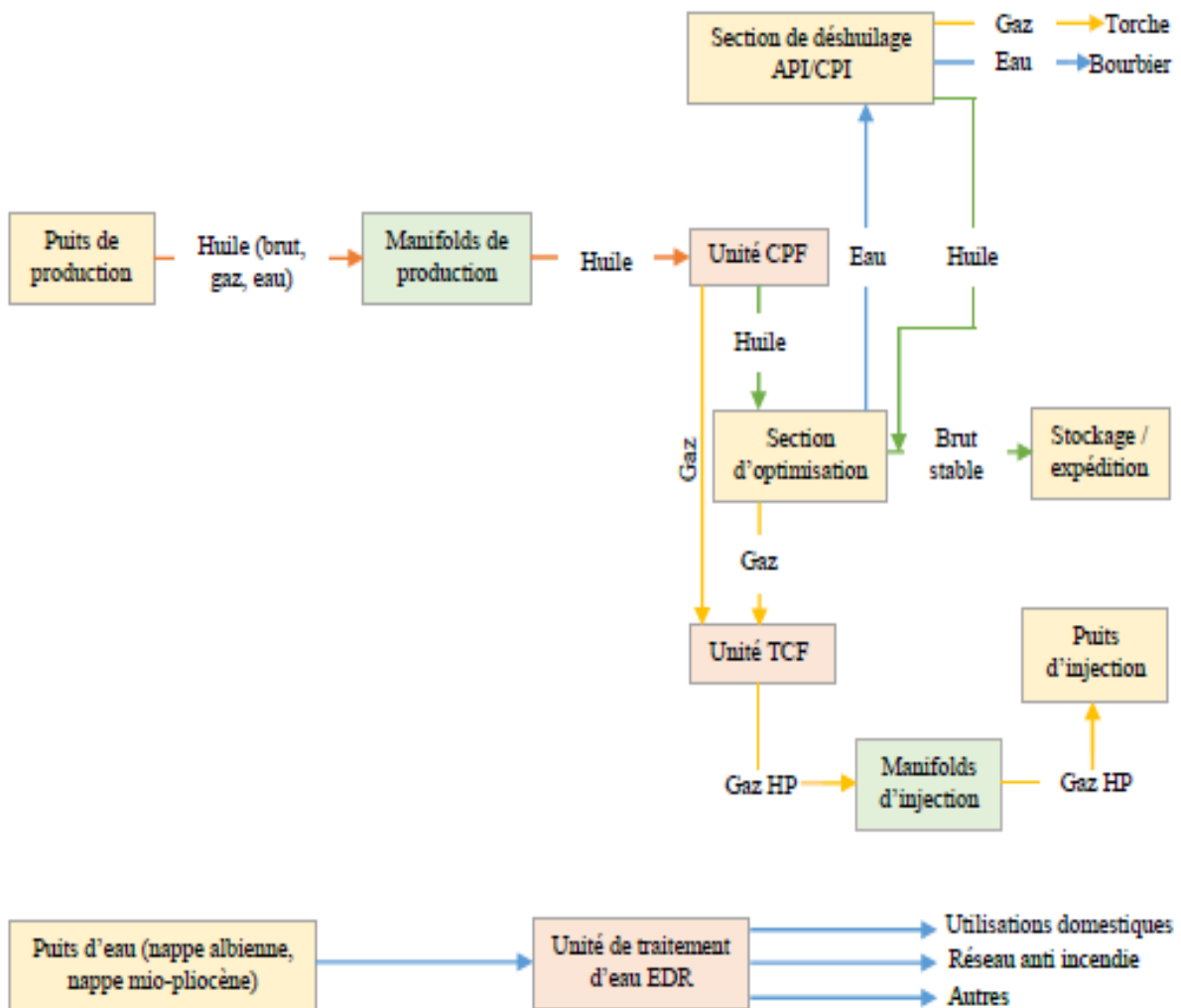


Figure I.3 Différents circuits à REB

### I.3 Généralités sur les pompes

#### I.3.1 Définition d'une pompe

Nous appelons une pompe, une machine permettant d'élever les liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, à refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression ou à mélanger un liquide avec des corps solides. Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement de l'organe actif de la pompe (roue). La différence essentielle entre les pompes et les autres élévateurs de liquide est que les pompes sont pourvues d'un organe actif qui sépare la région d'aspiration de celle du refoulement. Les pompes transmettent aux liquides



qu'elles véhiculent l'énergie mécanique provenant d'une source d'énergie extérieure quelconque. A l'intérieur de la pompe, se produit donc un accroissement d'énergie du liquide. L'énergie du liquide à la sortie de la pompe est utilisée pour élever le liquide, surmonter les pertes hydrauliques dans le tuyau de refoulement. Suivant les modes de déplacement des liquides à l'intérieur des pompes, on classe ces derniers en grandes familles

### **I.3.2 Classification des pompes**

#### **I.3.2.1 Pompes volumétriques (dites aussi à déplacement)**

Le principe de fonctionnement consiste en un déplacement de volume élémentaire du liquide de l'aspiration vers la région de refoulement. Ce mouvement de rotation peut être un mouvement de translation (pompes volumétriques), un mouvement de rotation (pompes rotative) ou un mouvement composé translation et de rotation. Selon le type de commande, on classe les pompes comme suite : les pompes à commande mécanique : Utilisant des moteurs hydrauliques à vapeur ou à combustion interne et les pompe à commande électrique : Utilisant des moteurs électriques.

#### **I.3.2.2 Turbopompes**

Le principe de fonctionnement consiste en un déplacement du liquide de l'aspiration vers le refoulement au moyen de l'enlèvement actif de la pompe qu'on appelle roue à aubes. Aussi, au contact du liquide avec les aubes à lieu la transformation de l'énergie mécanique en énergie hydraulique et cette transformation consiste essentiellement en une augmentation de l'énergie cinétique. Les turbopompes sont classées suivant que la roue produit une augmentation du moment cinétique ou de la circulation du liquide, on peut les classer en plusieurs types :

##### **a. Pompes à circulation de vitesse**

La circulation du liquide autour de la roue ou de son aubage est proportionnelle au couple communiqué à la roue par l'arbre. Dans le cas d'un écoulement permanent, le champ du courant dépend de la forme des espaces entre les aubes consécutives et aussi de la forme intérieure du corps dans lequel est située la roue, il dépend entre autre de la vitesse de rotation de la roue. Suivant la forme du champ du courant ; on peut peu aussi diviser cette catégorie de pompes en plusieurs types : Pompes centrifuges ; Pompes hélicoïdales ; Pompes diagonales ; Pompes à hélices. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux pompes centrifuges

### **b. Pompes centrifuges**

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement. Les pompes centrifuges permettent de faire circuler le fluide dans une installation.

#### **b.1 Principe de fonctionnement**

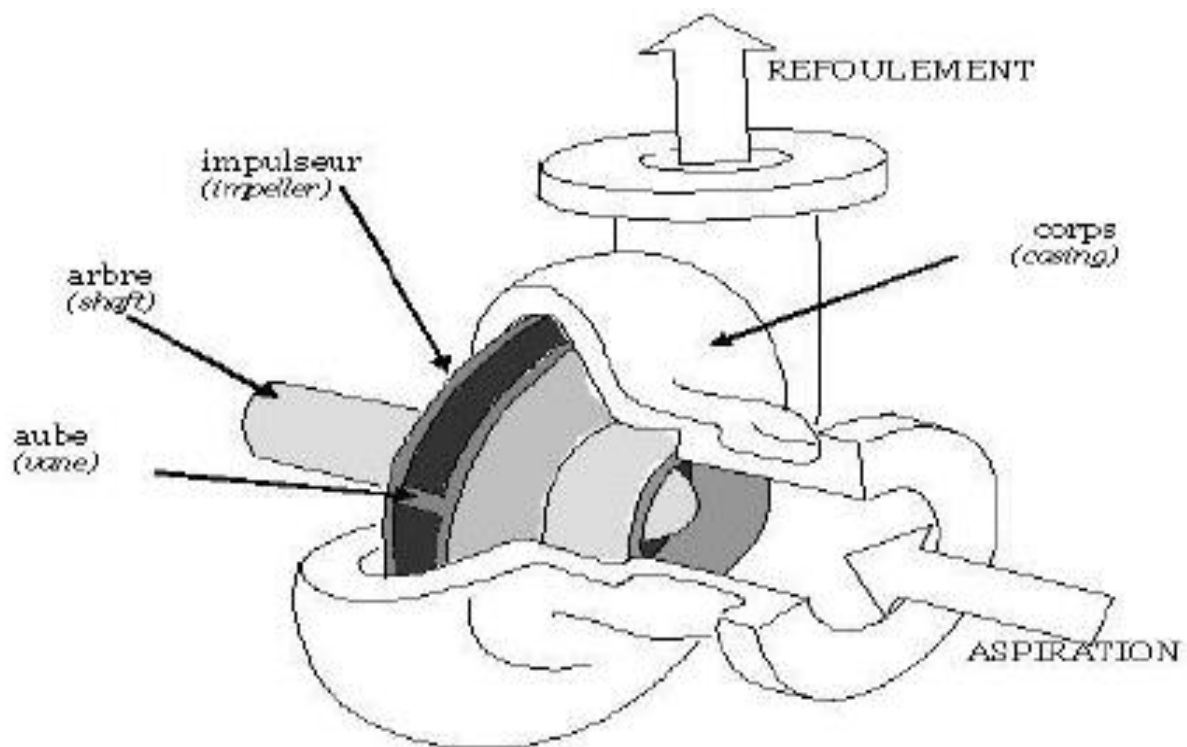
Il est basé sur les « effets » produits par la pompe centrifuge sur la matière déplacée dans son mouvement de rotation. L'effet de la force centrifuge fait que le corps déplacé par le mouvement rotatif « s'échappe » vers l'extérieur. A une vitesse très grande.

Les différentes étapes de passage du liquide sont :

- **L'aspiration** : Est l'action mécanique qui crée un vide partiel à l'entrée de la pompe, permettant à la pression atmosphérique, dans le réservoir, de forcer le liquide du réservoir vers la pompe à traverser la conduite d'aspiration ou d'alimentation. Certaines pompes n'arrivent pas à créer un vide suffisant pour s'alimenter. De ce fait, lors de l'utilisation des pompes, on veillera à ce qu'elles soient en charge ; C'est-à-dire que le réservoir soit situé au-dessus de l'orifice d'alimentation de la pompe. Si ce montage ne peut être réalisé, on utilise une seconde pompe qui a pour rôle d'alimenter la première, ces pompes sont dites pompes de gavage.
- **Le refoulement** : Le liquide pénétrant à l'intérieur de la pompe est transporté puis refoulé, soit par la réduction du volume de la chambre le contenant, soit par addition forcée de volumes dans une chambre à capacité constante ou par centrifugation. La pression relevée au refoulement d'une pompe n'est pas créée par la pompe. Cette pression s'établit en fonction de différentes résistances qui vont s'opposer au flux débité par la pompe. Elles ont pour origine le frottement du fluide sur les canalisations, raccords et organes du circuit et la charge extérieure (charge utile et frottement mécanique).

### b.2 Nomenclature

On appelle « corps de pompe » l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator. Le corps est constitué principalement de la « tubulure d'aspiration », de la « volute », et de la « tubulure de refoulement ». La partie mobile ou rotor est formée de l'impulseur (roue à aubes), monté sur un arbre. Le rotor est actionné par une machine d'entraînement qui est le plus souvent un moteur électrique ou thermique mais peut être également une turbine.

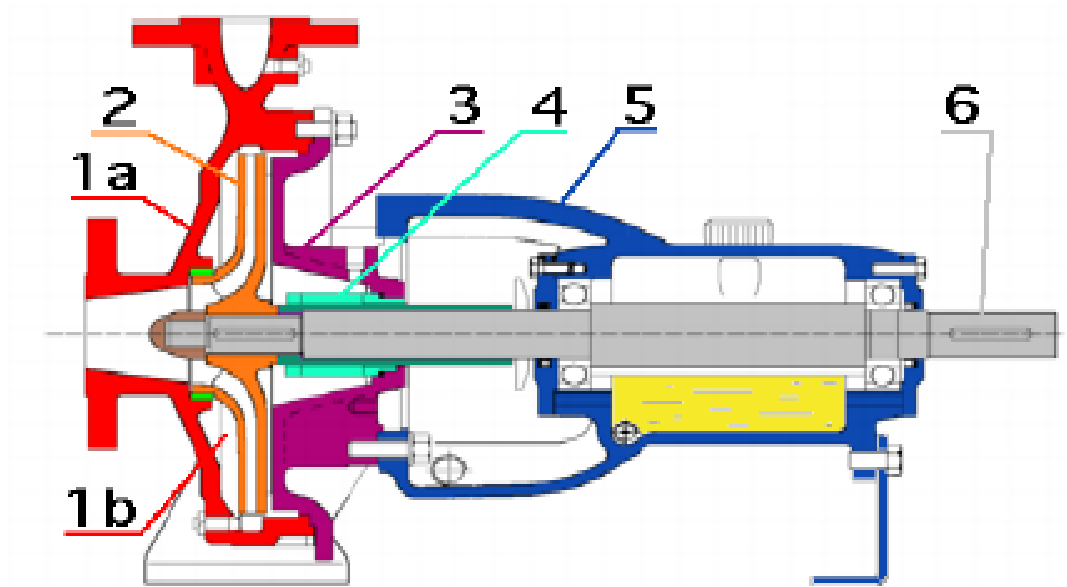


**Figure I.4** Vue perspective de la pompe centrifuge

Comme l'arbre traverse le plus souvent la volute, il est nécessaire de réaliser à cet endroit un dispositif assurant l'étanchéité globale. Ceci est effectué à l'aide de deux types principaux d'accessoires : le presse-étoupe et la garniture mécanique.

On appelle aubes les lamelles grossièrement radiales qui, à l'intérieur de l'impulseur, canalisent le fluide de l'intérieur vers l'extérieur de la volute.

On appelle « flasques » les parois de l'impulseur qui enserrant les aubes. (Les roues à deux flasques dites aussi impulseur fermé sont les plus fréquentes. Il existe également des roues sans flasque, et des roues à une seule flasque (impulseur ouvert ou semi-ouvert)).



**Figure I.5.** Vue de coupe d'une pompe centrifuge

**Tableau I.1.** Organes de la pompe

1a, 3, 5	1b	2	4	6
Corps de pompe	Diffuseur	Impulseur	Garniture mécanique	Arbre

### **b.3 But de l'accouplement**

Lorsque deux arbres sont placés dans le prolongement l'un de l'autre. Ils doivent être solidaires. On réalise leur accouplement en utilisant un organe d'accouplement

Les considérations qui président au choix d'un accouplement sont :

En plus des considérations relatives : à la fiabilité, à la sécurité et à la longévité il faut tenir compte des critères suivants : (Couple transmis, vitesse de rotation, prix du revient, distance entre bouts d'arbres, le diamètre des arbres...).



**Figure I.6.** Accouplement d'une pompe.

#### **b.4 Caractéristiques de la pompe**

Une pompe centrifuge est une machine tournante destinée à communiquer au liquide pompé une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique comportant en général une hauteur géométrique d'élévation de niveau ( $Z$ ), une augmentation de pression ( $P$ ) et toujours des pertes de charges ( $H_j$ )

- **Débit** : Le débit  $Q$  fournit par une pompe centrifuge est le volume refoulé pendant l'unité de temps, il s'exprime en mètres cubes par heure ( $m^3/h$ )
- **Vitesse** : C'est le nombre de tours qu'effectue la pompe par unité de temps, cette vitesse est notée  $N$ . L'unité la plus utilisée est le tour par minute (tour/min)
- **La hauteur** : La hauteur engendrée par une pompe centrifuge représente l'énergie par unité de poids communiqué au liquide pompé. elle s'exprime en mètre (m). La hauteur varie avec le débit, et elle est représentée par la courbe caractéristique  $H = f(Q)$  de la pompe considérée.

### **b.5 Avantages et inconvénients des pompes centrifuges**

**avantages:** construction simple en général, une seule pièce en mouvement : le rotor; prix peu élevé; encombrement réduit; jeu assez large, donc facilité de manipuler des liquides contenant des solides en suspension; entretien en général peu coûteux; Peu d'influence de l'usure ou de la corrosion sur les caractéristiques ; faible NPSH requis en général; très large gamme de qualités matières suivant le service requis; grande flexibilité d'utilisation; ajustement automatique de débit à la pression; puissance absorbée limitée, donc sans danger

**Inconvénients :** limitation de la viscosité ; en fait, la pompe centrifuge est limitée pratiquement à des viscosités de l'ordre de 100 est (centistokes) et son rendement chute rapidement au-delà de cette valeur ; débit légèrement instable, dans les basses valeurs : difficulté de contrôler le débit ;



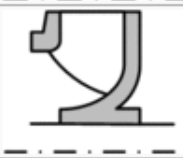



### **b.6 Domaine d'utilisation**

Le domaine d'utilisation des machines centrifuges est extrêmement vaste et couvre les extrêmes suivants : Débits : de 0,001 à 60 m<sup>3</sup>/s; Hauteurs de 1 à 5 000 m; Vitesses de rotation 200 à 30 000 tr/min. D'une manière générale, le nombre de tours spécifique peut servir qualitativement à distinguer des différents design de pompes, sachant que seul son fabricant, à la suite d'essais de type et même des essais effectués sur l'appareil particulier, est en mesure de confirmer les performances particulières de telle ou telle machine. Un nombre de tours spécifique élevé est caractéristique d'un fort débit sous faible hauteur, alors qu'un nombre spécifique faible définit un faible débit sous forte hauteur. Dans l'ordre des nombres caractéristiques croissants, on trouve successivement : Les machines multi étagées, sur lesquelles plusieurs impulseurs sont montés en série sur le même arbre.

Les machines radiales à impulseur fermé ; Les machines radiales à impulseur semi-ouvert ; Les machines mixtes (intermédiaires entre radiales et axiales); Les machines axiales

Le tableau ci-après fournit des indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer avec h et Q respectivement en mètres - et kg/m<sup>3</sup>).

**Tableau. I.2** indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer)

$N_B$ (nombre de Brauer)	Type d'impulseur	Forme impulseur	hauteur maximum	rendement
7–30	pompe radiale		800 m (jusqu'à 1 200 m)	40–88 %
50	pompe radiale		400 m	70–92 %
100	Pompe radiale		60 m	60–88 %
35	Pompe mixte		100 m	70 - 90 %
160	Pompe mixte		20	75–90 %
160–400	Pompe axiale		2–15 m	70–88 %

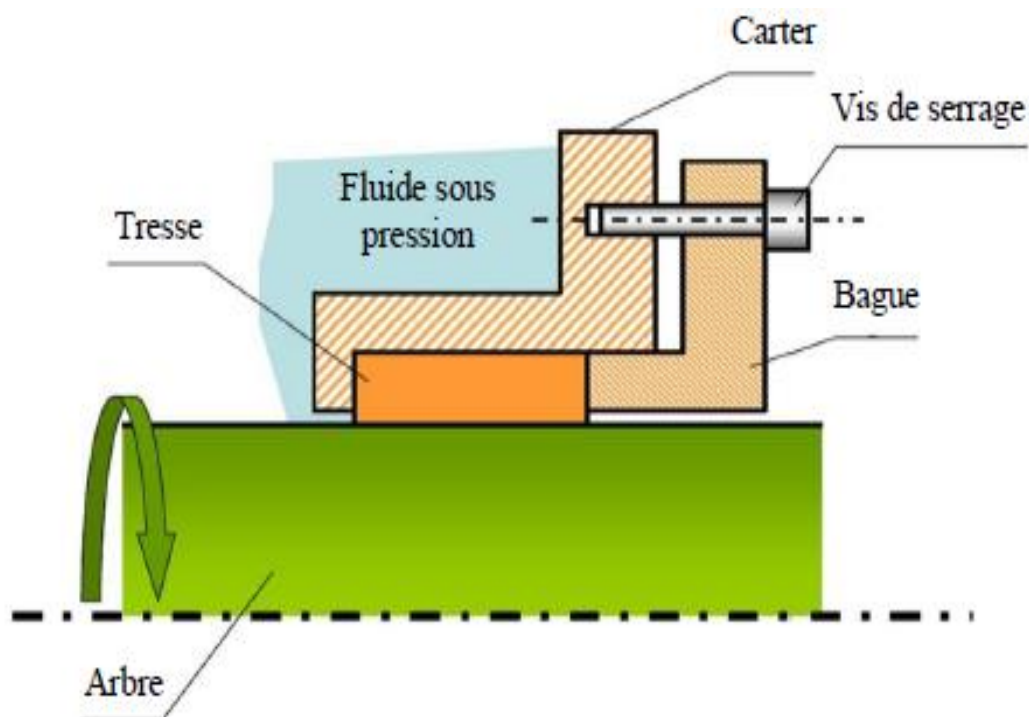
### I.4 Généralités sur les garnitures

#### I.4.1 Un peu d'histoire

Très tôt l'homme a éprouvé le besoin de pouvoir déplacer et conduire des fluides pour permettre le développement de ses activités et rendre son mode de vie plus confortable. Le principal mode de transport du fluide consiste alors à utiliser la gravité pour provoquer l'écoulement du fluide dans une conduite. Ce procédé naturel présente certaines limites notamment dans le sens d'écoulement et a conduit l'homme à envisager d'autres moyens plus performants et contrôlables où le fluide est mis en mouvement par un système mécanique comme une pompe. Ceci n'a été réellement possible que beaucoup plus tard lorsque des nouvelles inventions ont connues comme la machine à vapeur en 1690, le moteur à combustion interne en 1859 et la mise au point du moteur électrique à induction en 1888 ; le transport de l'eau peut alors se faire aisément en utilisant l'énergie mécanique fournie par un moteur. Le



premier puits de pétrole en 1859 va amorcer une seconde révolution industrielle. La nécessité de transporter et pomper des fluides aux différents états physiques en faisant un rapide dénombrement des pompes et compresseurs que l'on connaît aujourd'hui. Tous ces systèmes ne peuvent fonctionner correctement que dans la mesure où l'étanchéité du fluide est assurée. Il faut mettre en œuvre, d'une part, une étanchéité statique entre les différents constituants et d'autre part, une étanchéité dynamique au niveau du passage de l'arbre à travers le carter. Cette dernière est beaucoup plus délicate à réaliser en raison du mouvement relatif des éléments contigus. Sur les premières pompes fabriquées, l'étanchéité est assurée par un presse étoupe qu'on appelle aussi tresse ou éventuellement garniture. Un presse-étoupe se compose principalement d'une tresse qui est introduite dans un espace annulaire entre l'arbre tournant et le carter (figure I.7). A l'aide d'une bague et de vis de serrage, cet élément est comprimé et entre alors en contact avec l'arbre. Le bon fonctionnement de ce type d'étanchéité dépend essentiellement du réglage de l'effort appliqué par les vis.



**Figure I.7** Schéma de principe d'un presse-étoupe

Ce système d'étanchéité présente des inconvénients (encombrement axial, usure de l'arbre, sensibilité au désalignement de l'arbre) qui ont conduit au développement de nouvelles solutions techniques. A partir des années 1940, un nouveau système apparaît. Il s'agit des garnitures mécaniques. Celles-ci ont maintenant supplanté les presses étoupes dans de nombreuses applications.

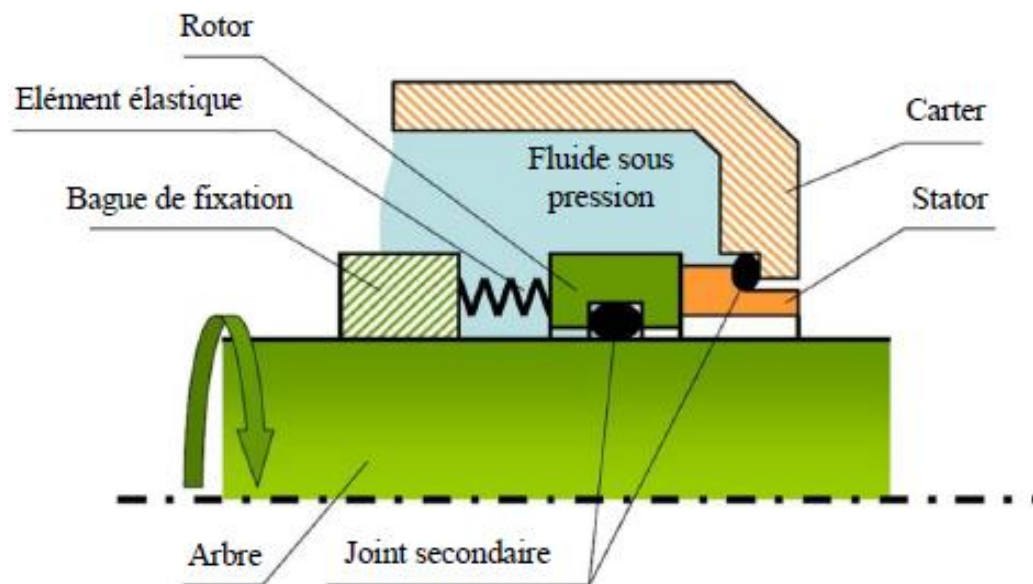


### I.4.2 Garniture mécanique

Une garniture mécanique est un dispositif assurant l'étanchéité entre un arbre rotatif et une enceinte stationnaire, c'est un organe essentiel de toute machine tournante comme les pompes, compresseurs, agitateurs, réacteurs, etc. les garnitures mécaniques se composent principalement d'un ensemble tournant, ou rotor, lié à l'arbre et d'un ensemble fixe, ou stator, lié au carter de la machine. Un de ces deux éléments présente nécessairement une liaison flexible avec son support de manière à permettre un alignement parfait des faces du rotor et du stator.

Les faces de frottement du rotor et du stator constituent la barrière entre deux milieux que sont le fluide sous pression et l'atmosphère par exemple. Celles-ci sont maintenues en contact par l'effort exercé par les éléments élastiques (ressort, soufflet,...) et par le fluide sous pression.

Les étanchéités statiques entre les autres éléments de la garniture sont généralement assurées par des joints toriques (Figure I.8). Enfin, on trouve des éléments permettant l'entraînement ou le blocage en rotation du rotor et du stator. Ces dispositifs, qui ne sont pas représentés sur la figure ci-dessous, peuvent être constitués de pions placés dans une rainure.



**Figure I.8** Schéma de principe de la garniture mécanique

Les garnitures mécaniques sont présentes dans tous les secteurs d'activités : chimie, industrie pétrolière et de transformation, agro-alimentaire, nucléaire... Elles sont donc amenées à assurer l'étanchéité de divers fluides liquides, pâteux ou gazeux et éventuellement chargés de

particules solides sur de nombreuses machines telles que pompes, compresseurs, agitateurs. A ce titre, elles peuvent fonctionner dans des conditions d'exploitation extrêmement sévères :

Hautes pressions : plus de 15 MPa ;

Hautes et basses températures : de -200 à plus de 400°C ;

Grandes vitesses : plus de 10000 tr/min ;

Grands diamètres : supérieur à 500 mm ;

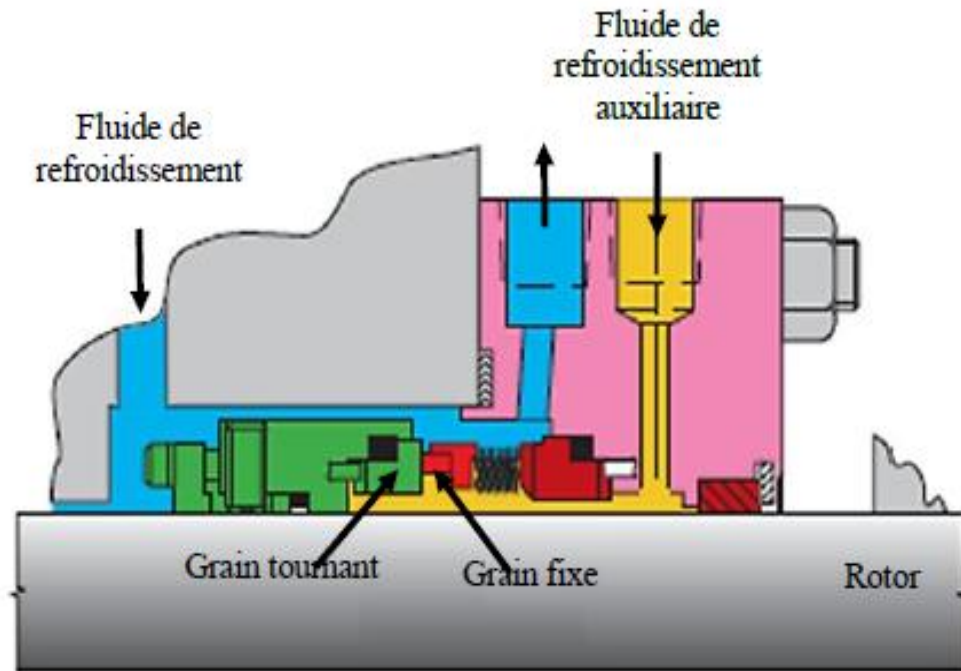
et ceci pour des durées de vie pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers d'heures. Selon le fluide à étancher et les conditions de service de la garniture on utilise plusieurs technologies. Les technologies utilisées sont :

- la garniture mécanique avec contact lubrifiée par un liquide.
- la garniture mécanique sans contact, la lubrification est assurée par un film gaz.

Dans ce qui suit on présentera les principaux types des garnitures et ces principes de fonctionnement.

### **I.4.2.1 Garniture mécanique usuelle**

On trouve généralement ce type des garnitures dans les pompes centrifuge. Le principe de base consiste à assurer l'étanchéité entre deux faces en mouvement relatif, l'une statique et l'autre en rotation, lubrifiées par un film liquide. Ce film entretenu par la rotation provient du fluide véhiculé par la machine ou d'un fluide auxiliaire (figure I.9). Une infime partie du film peut s'écouler hors des faces de frottement, ce débit est appelé fuite ou consommation de la garniture, il a pour but de minimiser le contact entre les deux faces et assurer ces lubrifications.



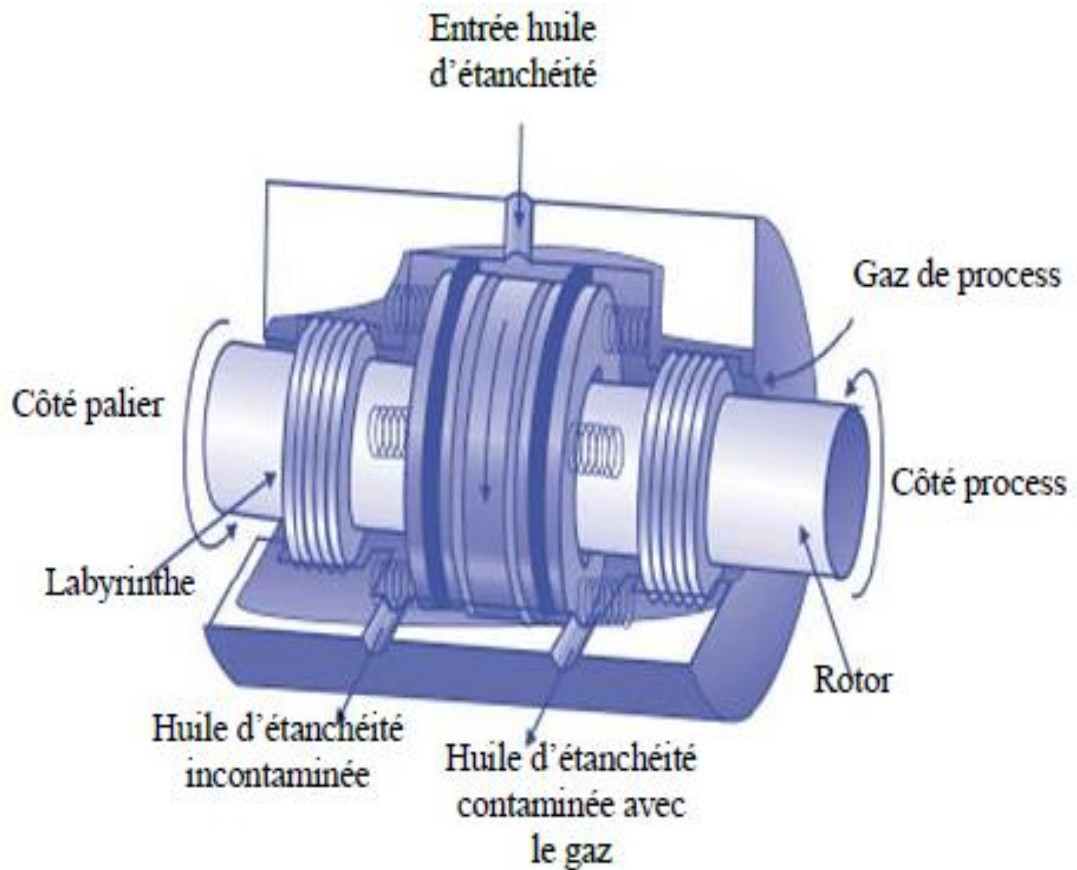
**Figure I.9** Garniture mécanique usuelle

Contrairement à ce type de garnitures dont sa fonction principale est d'assurer une étanchéité, cette fonction devient secondaire pour d'autres types où sa principale fonction étant de maintenir un différentiel de pression. Dans ce genre d'application, les pressions mises en jeu sont généralement élevées et une grande fiabilité est requise telle que les compresseurs centrifuges à gaz, ce qui nécessite un film fluide suffisamment épais pour éviter tout contact, le fluide peut être liquide ou gaz.

### I.4.2.2 Garniture à huile

Dans ce type de systèmes, l'étanchéité est assurée grâce à l'introduction d'huile dans deux chambres situées aux extrémités du compresseur ayant une pression supérieure à celle du gaz, pour empêcher la fuite de gaz au niveau du corps de compresseur.

La garniture à huile se compose de deux anneaux de carbone fixes et d'un anneau rotatif fabriqué d'un matériau de haute qualité, l'anneau rotatif tourne avec l'arbre du compresseur et frotte légèrement contre les anneaux de carbone fixes. Des ressorts derrière les anneaux fixes assurent le frottement de ceux-ci avec l'anneau rotatif. L'huile d'étanchéité, à une pression supérieure à la pression du procédé, forme une mince couche d'huile entre les trois anneaux de la garniture. Cela lubrifie les surfaces et minimise l'usure des anneaux, rince et refroidit aussi les éléments du joint mécanique. Des joints toriques assurent l'étanchéité pour les mouvements latéraux des pièces à l'intérieur du boîtier de la garniture.



**Figure I.10** Garniture à huile

### **I.4.2.3 Garniture à gaz**

Pour prévenir le gaz de process de fuir du corps du compresseur, la garniture à labyrinthes réduit par étape la pression du gaz de process, en franchissant les léschettes de la garniture, de tel sorte que ce dernier se trouvera à une pression relativement faible par rapport à la pression amont des labyrinthes. L'injection d'un gaz propre, c'est le gaz d'étanchéité, de pression légèrement supérieure à la pression du gaz de process, consiste d'une partie d'un barrage contre la venue du gaz de process vers la garniture et d'autre partie d'un film s'infiltrant entre les deux grains à travers les rainures qui se trouvent dans le grain tournant en créant suffisamment de jeu pour éviter le frottement, ce gaz propre finit par s'échapper du premier événement vers torche.

Pour des raisons de sécurité on envoie un gaz inerte, c'est le gaz de séparation, généralement l'azote, vers le deuxième joint qui joue le même rôle que le premier. La pression du gaz inerte est supérieure à la pression du gaz propre dans le premier événement, ce gaz inerte

s'échappe d'une partie par le premier évent et d'autre partie par le deuxième évent vers atmosphère.

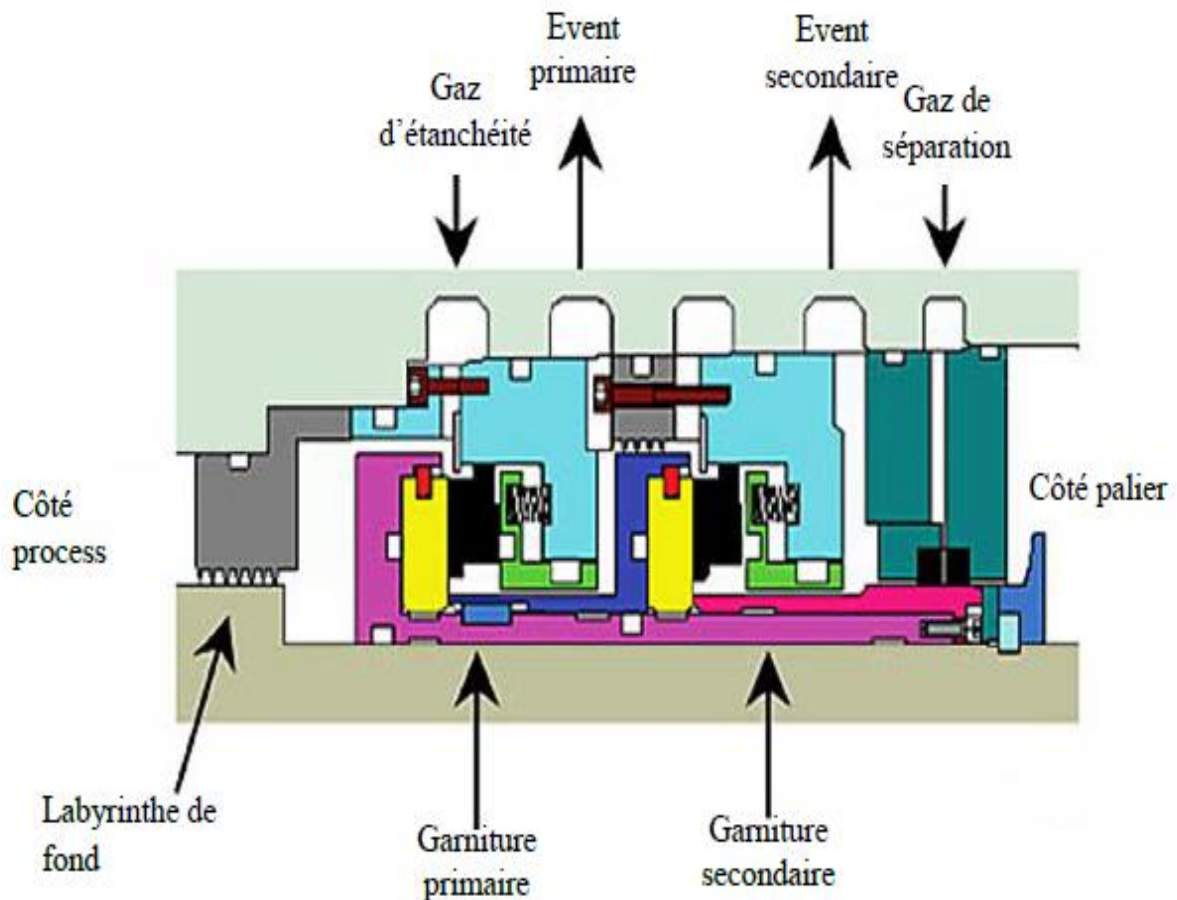
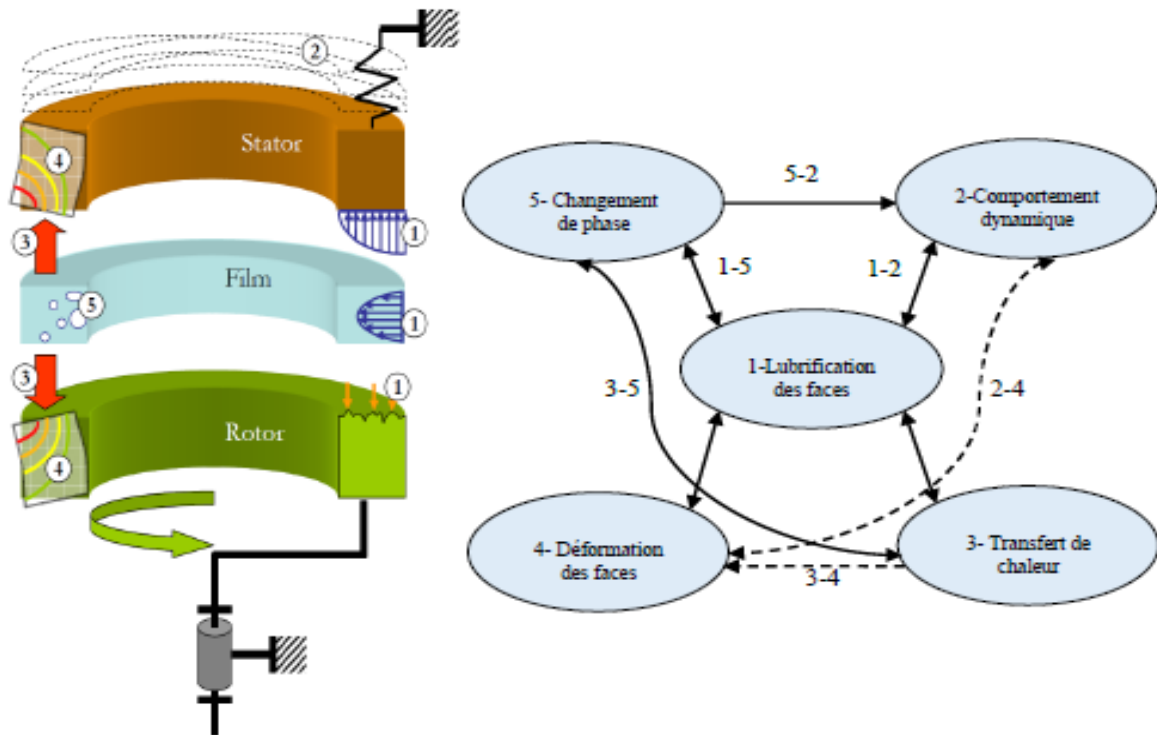


Figure I.11 Garniture à gaz

### I.4.3 Phénoménologie des garnitures mécaniques

Pour comprendre mieux le fonctionnement de garniture mécanique, il est utile de faire un rapide tour d'horizon des phénomènes physiques mis en jeu dans leur comportement, on parlera dans cette partie seulement des garnitures mécaniques lubrifiées par un liquide. Bernard Tournerie a proposé un graphe présentant les différents phénomènes ainsi que leurs interactions. Celui-ci est repris sur la Figure I.12 et complété par un schéma d'illustration. Les phénomènes sont répertoriés par un numéro qui est reporté sur le schéma. Les interactions et actions sont respectivement illustrées par une flèche à double ou simple sens. Un trait plein est utilisé pour les interactions directes et il devient discontinu lorsque l'interaction est faible.



**Figure I.12** Les différents phénomènes agissant le comportement d'une garniture

Une garniture mécanique est principalement composée de deux solides annulaires, l'un d'eux étant en rotation. Le fluide environnant sous pression conduit à la formation d'un film lubrifiant entre les faces du joint. Les caractéristiques de ce film conditionnent le comportement et les performances de l'étanchéité. L'épaisseur de ce film est de 10<sup>3</sup> à 10<sup>5</sup> fois plus petite que les dimensions des solides constituant le joint d'étanchéité. Étant donné sa très faible épaisseur, le film ne sépare pas nécessairement complètement les surfaces dont les aspérités peuvent entrer en contact. Ce phénomène est numéroté 1 sur la Figure I.12.

### I.4.4 Avantages et inconvénients des garnitures mécaniques

➤ **Avantage :**

- On peut remplacer les anneaux du presse-étoupe sans démonter l'équipement
- Pas de fuite visible à l'extérieur
- Durée de vie importante (si la garniture mécanique est bien adaptée)
- Environnement de l'équipement propre
- Pas de surconsommation électrique

### ➤ **Inconvénients :**

- Fuite du fluide pompé vers l'extérieur (pollution extérieure, aspersion sur l'équipement et vers les autres)
- Usure de la portée d'arbre ainsi que des anneaux de tresse, fonction de la teneur abrasive du fluide pompé, peut nécessiter une révision régulière de la machine pour le remplacement de la chemise d'usure des tresses.
- Consommation d'eau : certain presse-étoupe sont équipés de lanterne d'arrosage pour les fluides chargés, l'idée étant de lubrifier les tresses avec de l'eau propre plutôt qu'avec de la boue par exemple
- Consommation électrique : le presse-étoupe venant serrer l'arbre en permanence, il agit comme un frein à main de voiture mal desserré : en fonction des équipements cela peut entraîner jusqu'à 4% de surconsommation électrique
- Nécessite le démontage de l'équipement pour remplacer la garniture mécanique

### **I.4.5 L'inspection et la réparation de la garniture mécanique**

Après l'avoir démonté consiste à :

1. Démontez l'ensemble des organes de la garniture mécanique.
2. Vérifier l'état des pièces du mécanisme et changer les pièces défectueuses (chemise, bague, vis, ressort, ... etc.).
3. Changer toute la jointure de la garniture (les joints V, joints toriques et les joints de compression)
4. Changer les deux grains de la garniture mécanique.
5. Remonter l'ensemble des organes de la garniture mécanique



**Tableau I.3 :** Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique.

<b>Inspection préventive</b>	<b>N</b>	<b>Les étapes de démontage</b>
	1	Installation des plaques de fixation
	2	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
	3	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
	<b>N°</b>	<b>Les étapes de remontage</b>
	1	Installation de l'assemble de garniture mécanique
	2	Fixation de couvercle de garniture mécanique
	3	Alignement de l'accouplement
	4	Levée de l'arbre
	5	Enlèvement des plaques de fixation
	6	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main

### I.5 Conclusion

Ce chapitre fournit une base de données bibliographique, qui concerne les différents types de pompes et garnitures mécaniques. La technologie des garnitures mécaniques est une combinaison d'ingénierie mécanique et de propriétés physiques. En particulier, le cœur de la technologie des garnitures mécaniques est la tribologie : la science qui étudie le frottement, la lubrification et l'usure, c'est-à-dire tous les problèmes qui peuvent survenir dans le mouvement relatif entre des surfaces en interaction sous charge. Cette étude bibliographique succincte a permis de montrer que le comportement des garnitures mécaniques résulte de la compétition entre différents phénomènes physiques : lubrification des faces, comportement dynamique, transferts de chaleur, déformation, changement de phase. Par ailleurs, suivant les applications, on trouve des ordres de grandeur très différents.



# Chapitre II

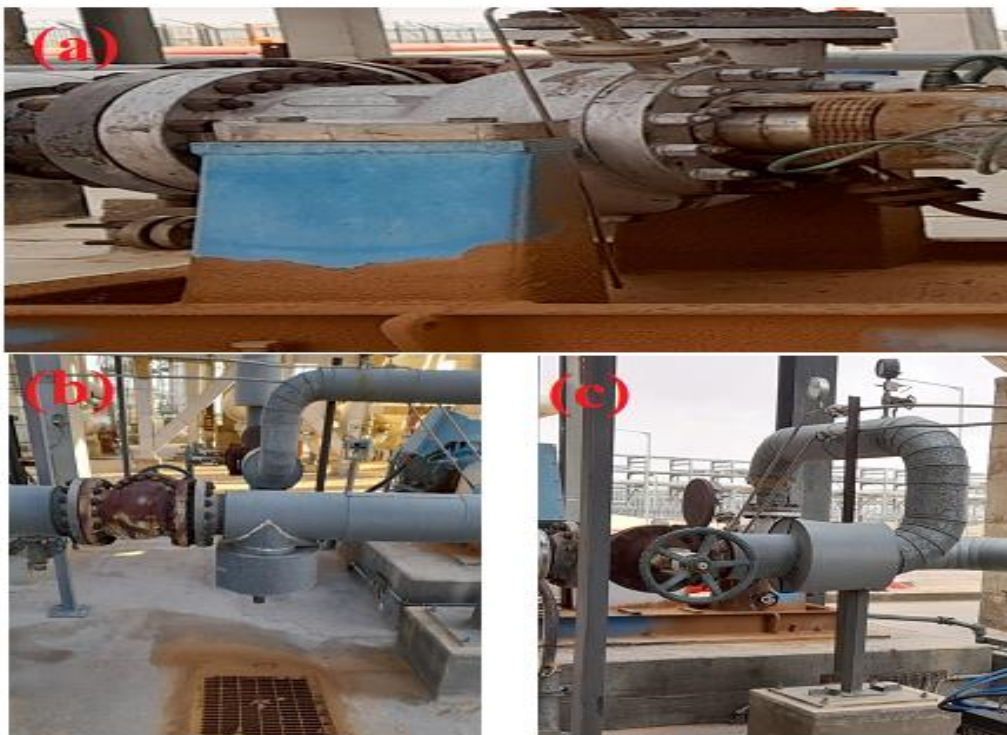
## *Techniques et matériel*

### II.1 Introduction

Ce chapitre décrit de façon détaillée, les différentes techniques expérimentales de mesure utilisées pour la garniture mécanique. Il est consacré à la description de la pompe centrifuge P5001 A/B appartenant au système de l'huile chaude qui se situe au centre de production facilité (CPF). Ainsi qu'un thermomètre infrarouge, manomètre et analyseur de vibration ont été utilisés respectivement pour la mesure de la de température, pression et mesure des vibrations sur l'interface d'une garniture mécanique. Il est à noter aussi qu'un Diagramme d'ISHIKAWA a été exposée pour identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet), ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées.

### II.2 Description Pompes P5001

Les pompes P5001 A/B appartiennent au système de l'huile chaude qui se situe au centre de production facilité (CPF). Elles ont pour rôle de circuler l'huile du ballon de stockage au four thermique pour la chauffer et l'utiliser comme fluide caloporteur et elle revient de nouveau au ballon dans un circuit fermé (Figure II.1). Il y a deux pompes centrifuges similaires qui sont placés dans ce centre le premier est principal qui fonctionne en redondance, et l'autre est en secours.



**Figure II.1.** Une pompe P5001 A/B in site : a) pompe centrifuge à huile chaude, b) vanne d'aspiration, c) vanne de refoulement.

## Chapitre II Techniques et matériel

---

### II.2.1 Caractéristiques des pompes

Le tableau II.1 récapitule les caractéristiques des pompes P5001 A/B centrifuge à huile

**Tableau II.1** Caractéristiques des pompes P5001 A/B.

Paramètre	Caractéristique
Fabriquant	FLOWSERVE
Modèle	6 HPX 12C
Nombre d'étage	1
Diamètre de l'impulseur nominal	276 mm
Nombre de tours par minute	2975 tr/min
Densité du fluide circulant	0.835
Débit nominal	418 m <sup>3</sup> /h
Hauteur manométrique HMT	85.20 m
NPSHr	17.7 m

### II.2.2 Eléments constitutifs de la pompe

#### II.2.2.1 Corps de pompe

Le corps de pompe, qui constitue l'élément fixe de la pompe, est destiné à recueillir le liquide (l'huile chaud) qui sort de la roue, vers l'orifice de refoulement.

#### II.2.2.2 Arbre de commande

L'arbre de commande de la pompe est la pièce principale qui provoque le mouvement de rotation (Figure II.2). Il est souvent fait en acier spécial, car il doit résister à l'usure que certaines autres pièces exercent sur lui (Joint, palier, etc...).



**Figure II.2.** Arbre de commande de la pompe centrifuge.

### II.2.2.3 La roue de la pompe

La roue est le composant principal d'une pompe centrifuge appelée aussi dans ce qui suit impulseur (Figure II.3). Lorsque la roue tourne, il génère la force nécessaire pour pomper ou (déplacer) le fluide. La totalité de l'énergie est apportée au fluide par l'impulseur sous deux formes distinctes. D'une part, directement, sous la forme d'un accroissement de pression cinétique, d'autre part, sous la forme d'un accroissement d'énergie cinétique qui est elle-même transformée en pression dans les organes situés en aval de l'impulseur.



**Figure II.3.** Impulseur de la pompe.

### **II.1.2.4 Palier**

En exploitation, les poussées générées sont transmises aux paliers de pompes, ces derniers doivent avoir la capacité à supporter ces sollicitations de type axial/ radial ou combiné. Les roulements sont choisis en fonction des sollicitations exercés selon la nature des efforts, la vitesse de rotation correspondant aux hautes fréquences. Le type de roulements à bille est utilisé dans les pompes P5001 A/B (Figure II.4).



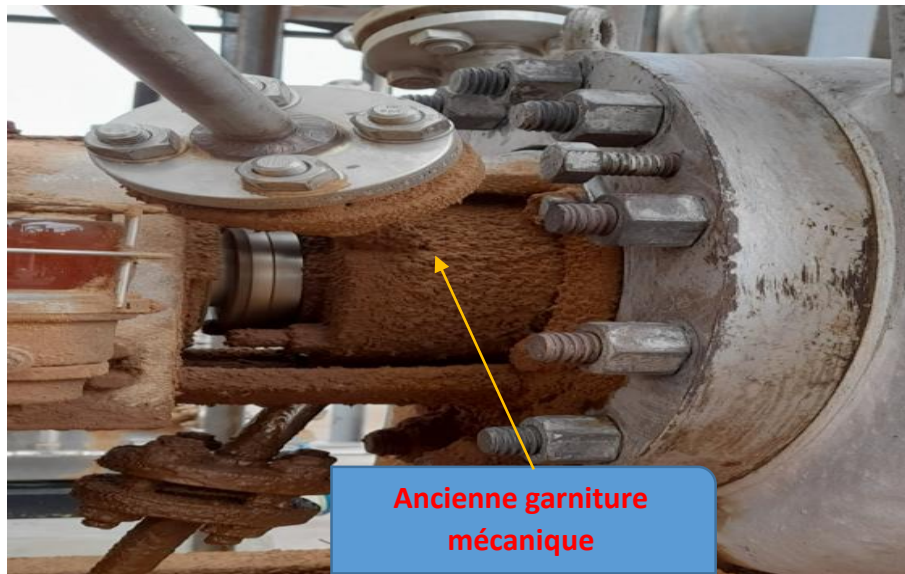
**Figure II.4.**Roulements à bille

### **II.3 Garniture mécanique**

Dans une pompe centrifuge, plusieurs niveaux d'étanchéité sont nécessaires : Etanchéités statiques, dynamiques internes et dynamiques externes.

L'étanchéité la plus délicate est sans aucun doute celle de l'arbre en rotation entraînant la roue de la pompe. En cas de fuite (figure II.5), l'huile chaude peut aller vers l'extérieur, ce qui est parfois incompatible avec les conditions d'hygiène et/ou de sécurité, c'est la raison pour laquelle les pompes P5001 A/B sont équipées par des garnitures mécaniques simples avec le plan de lubrification API 23 [12].





**Figure II.5.** Fuite au niveau de la garniture.

Le point clefs des systèmes d'étanchéité dynamique est d'assurer un refroidissement efficace des pièces en frottement, en général avec l'huile chaude pompé, parfois avec une circulation sur le corps externe de la pompe. La casse répétée des garnitures (perte d'étanchéité) est souvent nécessaire de faire une réparation ou placé une nouvelle garniture mécanique (figure II.6).



**Figure II.6** Garniture mécanique simple.

### II.3.1 Caractéristiques de garniture mécanique

Pour choisir une garniture mécanique, Il est nécessaire de connaître avec précision la valeur de la pression de l'huile chaude de notre pompe à étancher afin de sélectionner une garniture mécanique. Le tableau II.2 présente les caractéristiques de garniture mécanique utilisé pour une pompe centrifuge.

**Tableau II.2.** Caractéristiques de garniture mécanique.

Paramètre	Caractéristique
Fabriquant	JOHN CRANE
Code garniture	0595/1604//F95152
Vitesse de rotation de l'arbre	2975 tr/min
Produit process	DOWTHERM Q
Température process	193 °C
Densité	0.835
Viscosité à température de pompage	0.33 cSt
Pression d'aspiration	1.7 bar
Pression de refoulement	8.5 bar

### II.3.2 Eléments constitutifs de la garniture

La figure II.7 montre les éléments essentiels d'une garniture mécanique simple lors d'un démontage. Elle est composée principalement de deux solides annulaires, l'un d'eux étant en rotation. Les autres pièces sont montées sur ces derniers citer comme suite : les grains fixe et mobile, la volute, le soufflet, la bague de fixation.



**Figure II.7** Composants de la garniture mécanique

### II.4 Description de l'huile chaude

L'huile pompée dans le site CPF est de type DOWTHERM Q utilisée comme fluide caloporteur. Elle a pour rôle dans ce centre de l'utiliser dans les réchauffeurs du gaz combustible des turbines à gaz et les rebouilleurs des colonnes.

#### II.4.1 Caractéristiques d'huile chaude

L'huile utilisée c'est « DOWTHERM Q », elle est conçue spécifiquement pour usage dans les systèmes de transfert de chaleur en phase liquide. DQ a une bonne stabilité thermique à des températures montant jusqu'à 330°C (625°F), une faible viscosité, une bonne pompabilité à basses températures, et elle est non corrosive vis à vis les métaux et alliages. Les caractéristiques d'huile chaude DQ sont récapitulées dans le tableau II.3.

**Tableau II.3.** Caractéristiques d'huile chaude

Paramètre	Caractéristique
Couleur	Jaune clair
Plage de température	-35°C à 330°C
Température normale de circulation	193 °C
Point d'ébullition	267 °C
Point d'éclair	120 °C
Point d'inflammation	124 °C
Point d'auto inflammation	412 °C



### II.4.2 Ballon d'huile chaude «V5001»

La figure II.8 montre le réservoir de stockage est un élément important de la boucle d'huile à partir de laquelle l'huile est aspirée et transportée vers le four à convection pour être chauffée par la pompe.



**Figure II.8**Ballon de stockage

### II.4.3 Filtre « S5001 »

Un filtre de l'huile chaude a été utilisé au niveau de la station (Figure II.9) pour éliminer les impuretés et les particules solides des fluides qui provoquent une usure prématurée et des dommages aux composants.



**Figure II.9** Filtre d'huile.

Une vérification du système de filtration est obligatoire. Le filtre est muni et protégé par une alarme de haute différence de pression par laquelle on peut savoir quand le filtre est colmaté.

Le tableau II.4 illustre les paramètres de service d'un filtre utilisé dans une station de CPF.

**Tableau II.4** Paramètres de service du filtre.

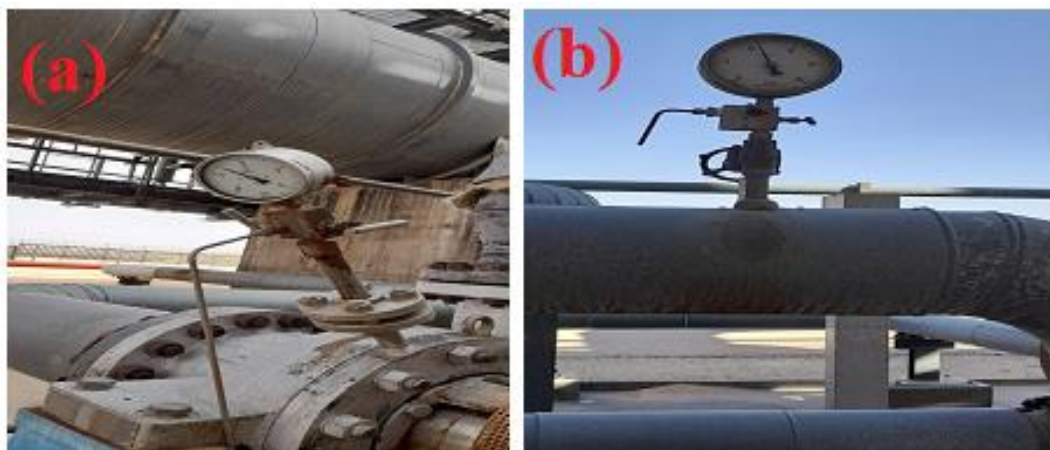
Paramètre	Caractéristique
Liquide véhiculé	Huile chaude
Température	246 °C
Pression	1.38 bar
Masse volumique	733 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosité	0.46 mPa.s
Dimension des particules	80µm et plus
$\Delta P$ différence de la pression entre aspiration et refoulement	0.34 bar propre, 2.07 bar sale

### II.5 Les techniques et les appareils de mesure

Pour un bon fonctionnement de la pompe P5001 A/B, il est nécessaire de faire un contrôle de différents organes de notre pompe pour éviter tout problème et l'intervention immédiatement sur place. Dans ce cas les techniques de mesure sont primordiales pour connaître la pression et température du l'huile chaude et les vibrations de notre système étudié.

#### II.5.1 Mesure de pression

Un manomètre à ressort a été utilisé pour mesurer la pression d'huile chaude sur la pompe et dans la conduite. Ce type de manomètre utilise la déviation mécanique d'une boucle de tube où simple ou spirale (manomètre a cadran de type bourdon) ou une membrane pour indiquer la pression.



**Figure II.10.** Manomètre à ressort : a) aspiration, b) refoulement.

### II.5.2 Mesure de la température

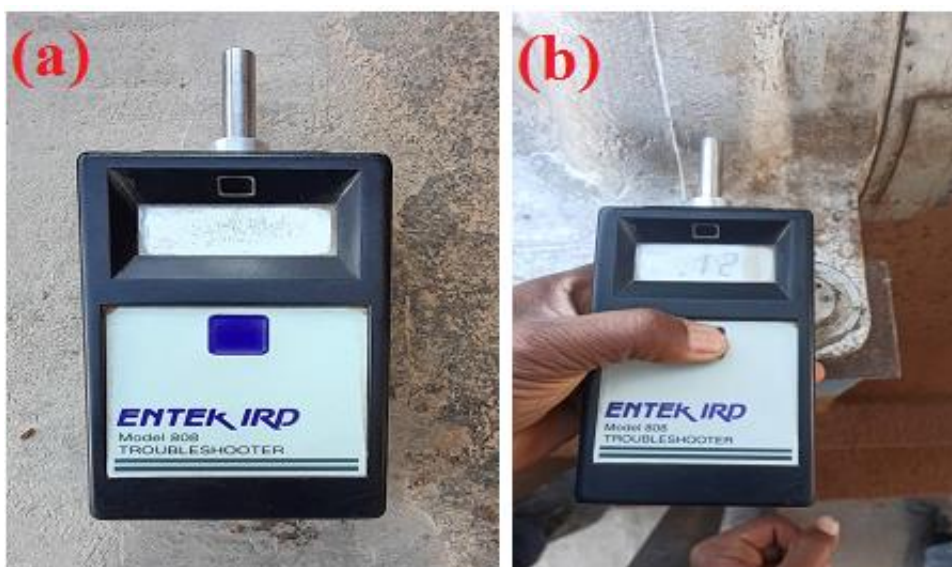
Un thermomètre infrarouge est un instrument de mesure de la température de surface d'un objet à partir du rayonnement du corps noir, Cette méthode permet de mesurer la température à distance (Garniture, aspiration et refoulement de la pompe...), contrairement aux autres types de thermomètres comme les thermocouples.



**Figure II.11.** Test de mesure de la température : a) Thermomètre infrarouge, b) Mesure de la température au niveau de la garniture.

### II.5.3 Appareil de mesure des vibrations

Un appareil de mesure des vibrations a été utilisé pour effectuer une variété d'analyses de vibration qui peut fonctionner en conjonction avec des transducteurs qui ont une sortie sensible aux vibrations au contact direct c.à.d. d. sur la surface de la pompe.



**Figure II.12.** Test de mesure de vibration : a) Instrument de mesure des vibrations, b) mesure de bruit sur la pompe.

### II.6 Diagramme d'ISHIKAWA

#### II.6.1 Définition diagramme Ishikawa

Le diagramme de causes et effets, ou diagramme d'Ishikawa, ou diagramme en arêtes de poisson ou encore 5M, est un outil développé par **Kaoru Ishikawa** en 1962 et servant dans la gestion. Ce diagramme est une démarche qui permet d'identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet). Il convient ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées.

##### II.6.1.1 Les préalables à la construction d'un diagramme de cause à effet

- La construction du diagramme d'Ishikawa est basée sur un travail de groupe. Il est important de former une équipe de travail multidisciplinaire et de faire participer chaque membre ;
- Pratiquer auparavant un brainstorming et trouver toutes les causes possibles au problème. Chacun doit émettre ses opinions librement sur les origines possibles ;
- Sélectionner les causes principalement responsables du défaut ou du problème ;
- Classer les causes liées au problème posé.

##### II.6.1.2 Construction du diagramme

Le diagramme d'Ishikawa se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson.

Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5 M (Matière, Main d'œuvre, Matériel, Méthode, Milieu). Il se construit en cinq étapes :

**Etape 1 :** Placer une flèche horizontalement, pointée vers le problème identifié ou le but recherché (Figure II.13).

**Etape 2 :** Regrouper à l'aide de la méthode de « brainstorming » par exemple, les causes potentielles en familles, appelées communément les 5M :

- **M1** - Matières : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention
- **M2** - Matériel : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance



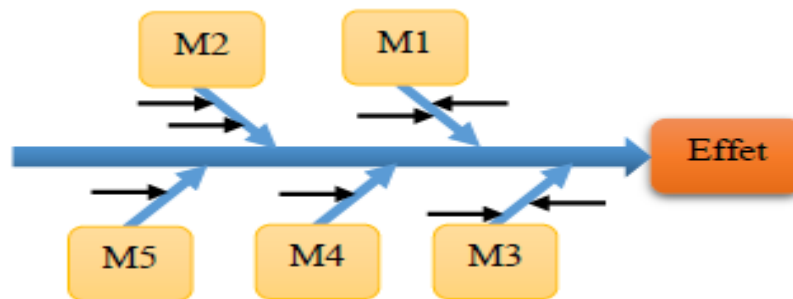
## Chapitre II Techniques et matériel

---

- **M3** - Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management
- **M4** - Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation
- **M5** - Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires.

**Etape 3 :** Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles de causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale. Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles.

**Etape 4 :** Incrire sur de minis flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.



**Figure II.13** Problème causes et effets.

**Etape 5 :** Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié. Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger.

### II.7 Conclusion

Au travers de ce chapitre, l'objectif était de présenter les moyens mis en œuvre pour déterminer les éléments constitutifs de la pompe et la garniture mécanique. Ainsi, le contexte de l'étude expérimentale a pu être abordé en présentant l'instrumentation existante, avec ses contraintes techniques, son fonctionnement, ses éléments

Enfin, dans le but d'obtenir la meilleure analyse du problème étudié possible, le diagramme Ishikawa pour la détermination de causes et effets de la garniture mécanique a été abordée.

# Chapitre III

## *Diagnostic et solution*

### III.1 Introduction

Afin de déterminer les propositions de solutions du problème étudié, il est nécessaire de comprendre le comportement mécanique de la garniture mécanique dans un environnement confiné, mais également d'établir les contributions en contraintes entrant en jeu dans ce problème. Les caractéristiques mécaniques de la pompe et de la garniture mécanique confèrent une structure interne particulière. Par la suite, son comportement mécanique est étudié au travers des démontages expérimentaux effectués et de montrer l'influence de certains facteurs.

En plus, l'application du diagramme d'ISHIKAWA a été utilisée afin de quantifier le degré d'influence de certaines causes comme (Conformité et conditions de service de la garniture, filtration...), et à la vue des objectifs que nous avons imposés à notre travail. Des propositions de solutions sont abordées à la fin de ce chapitre.

### III.2 Problématique

Les pompes P5001A/B connaissent un problème d'étanchéité. Il y a eu plusieurs interventions aux niveaux de ces dernières en réparant leurs garnitures ou en les changeant, avec une courte durée entre deux interventions successives qui ne dépasse pas les deux mois, le problème reste toujours. A chaque fois qu'on démonte la garniture on constate les mêmes symptômes, formation d'une couche de dépôt solide sur les faces internes des grains fixe et mobile et de soufflet (Figure III.1).



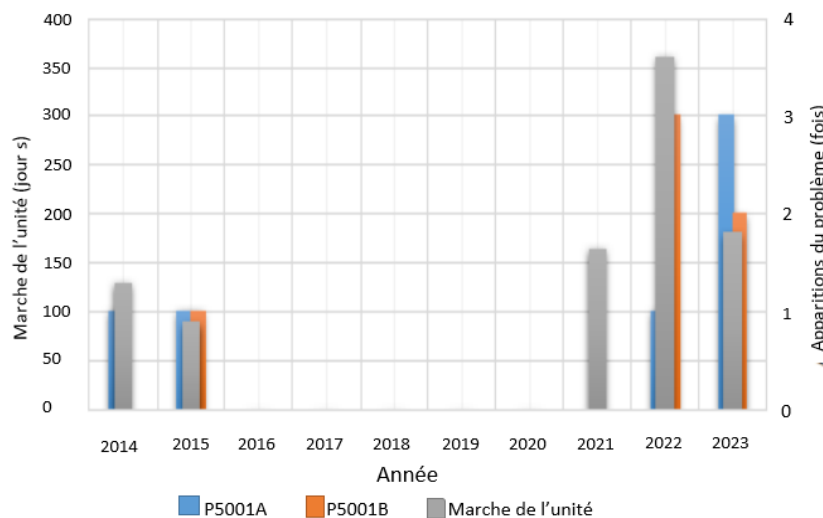


**Figure III.1** Couche de dépôt solides : a) face interne du grain mobile, b) face interne du grain fixe c) soufflet

### III.2.1 Historique du problème

Avant de commencer notre investigation sur le problème on a fait une recherche sur son historique notamment ces pompes ont connu une grande perturbation dans leur marche ce qui fait que la réalité du problème n'est pas évidente. Les pompes appartiennent à l'unité de l'huile chaude, donc en revenant aux rapports journaliers de l'ingénieur de poste CPF depuis la mise en marche de l'unité qui a eu lieu le 25/08/2014 on a pu repérer les périodes de marche et arrêt de l'unité jusqu'au 30/02/2023 ; et en revenant aux ordres de travail du problème d'étanchéité pour les deux pompes sur le logiciel de GMAO « MAXIMO » on a pu compter le nombre de fois d'apparition du problème entre les dates citées précédemment.

Le graphe ci-dessous montre le pourcentage de marche de l'unité, donc l'une des deux pompes en marche, pendant l'année en fonction de la fréquence du problème pendant la même année pour les deux pompes.



**Figure III.2** Fréquence du problème pour la pompe P5001 A/B durant le fonctionnement de l'unité



## **Chapitre III Diagnostic et solution**

---

### **III.2.2 Explication du phénomène**

Ce dépôt fait perturber le fonctionnement correct de la garniture ce qui influe directement sur l'étanchéité de la pompe. Son accumulation sur les rainures du soufflet élimine sa flexibilité, qu'il a pour objectif de minimiser le défaut de désalignement et parallélisme des faces des grains, et donc par la suite une fuite plus importante. Ainsi son accumulation sur les faces internes des grains va amplifier certains défauts qui sont engendrés par la déformation des faces lors du fonctionnement. Ces déformations ajoutées aux déformations résultant des gradients thermiques, étant la garniture n'est pas propre, affectent de façon significative les performances de l'étanchéité. Donc notre objectif dans ce travail est faire un diagnostic pour arriver aux résolutions du problème après avoir localisé les causes réelles du phénomène.

### **III.3 Diagnostic**

La fuite de l'huile chaude au niveau des pompes est due à la défaillance des garnitures mécaniques à cause de la formation d'un dépôt solide à l'intérieur de la garniture comme on a cité précédemment. Le diagnostic a pour objet de déterminer les causes réelles de ce problème pour cette raison la connaissance des dispositions et le mode de fonctionnement de la pompe, le mode de lubrification des garnitures sont nécessaire pour mettre en place une méthode d'analyse adéquate. Parmi nos propositions la méthode 5 M basé sur l'identification causes possibles d'un problème ou un défaut (effet). Il convient ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut.

**Question 1 :** pourquoi le dépôt est formé ?

Pour répondre à cette question il faut savoir sa nature. On a pris un échantillon de dépôt au laboratoire d'analyses chimiques (SONATRACH REB), l'analyse nous a affirmé que le dépôt est insoluble résultant de la dégradation de l'huile.

**Question 2 :** pourquoi l'huile se dégrade ?

Les principales causes de la dégradation de l'huile sont généralement l'oxydation, l'hydrolyse et la dégradation thermique [10].

**Question 3 :** pourquoi la température est élevée et l'oxygène est présent ?

La présence de ces deux facteurs a plusieurs causes possibles. Pour arriver à déterminer les causes réelles on va suivre la méthode des 5M ou aussi diagramme d'ISHIKAWA.

### III.3.1 Diagramme d'ISHIKAWA

Dans ce qui suit, nous analyserons toutes les causes possibles par catégorie en suivant le diagramme d'Ishikawa.

#### III.3.1.1 Matériel

##### a. Conformité de la garniture

En comparant les caractéristiques de la garniture avec celles des pompes, notre garniture est bien conforme à notre système. Car la pompe et la garniture utilisent respectivement l'huile chaude et de type DOWTHERMQ qui ont les mêmes spécifications techniques trouvées comme : vitesse de rotation de l'arbre, température process, pression d'aspiration, pression de refoulement (voir tableau II. 1 et II.2 du chapitre II).

##### B. Bague de fond

Etant l'huile de lubrification un mélange de quantité venant de l'enceinte de la pompe et la quantité venant de l'aéroréfrigérant, donc sa température sera entre les températures des deux quantités mélangées, ce qui nous met à la restriction de température d'huile du process qui doit être au minimum possible. Pratiquement le jeu de passage d'huile de l'enceinte de la pompe à la chambre garniture doit être minime, comme ça on minimise le transfert de matière. Ce jeu est gardé par la bague de fond. L'inspection de la bague est nécessaire. D'après la figure III.3, la bague est intacte donc le jeu est maintenu.

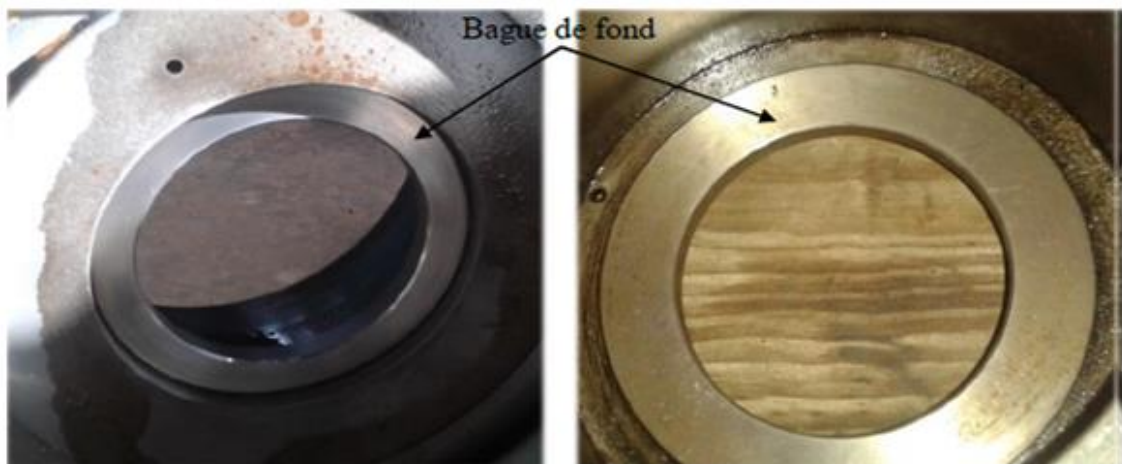


Figure III.3 Bague de fond.

### III.3.1.2 Méthode

#### a. La filtration

Parmi les possibilités qu'on a aussi, l'huile se décompose en dehors de la garniture et forme ce qu'on appelle sous-produits de dégradation qu'il s'agit de particules submicroniques, c'est un liquide dans un liquide. Il faut éliminer ces sous-produits avant qu'ils n'aient le temps de continuer de réagir et de former des boues et des dépôts insolubles à l'intérieur de la garniture [10]. Ou peut-être même des solides résultants de la dégradation de l'huile ou des particules métalliques résultants de l'arrachement par érosion viennent d'ailleurs et vont s'accumuler à l'intérieur de la garniture.

D'abord on va vérifier l'état de notre filtre. La figure III.4 montre le circuit d'huile chaude commandé avec le pilotage d'un logiciel DCS.

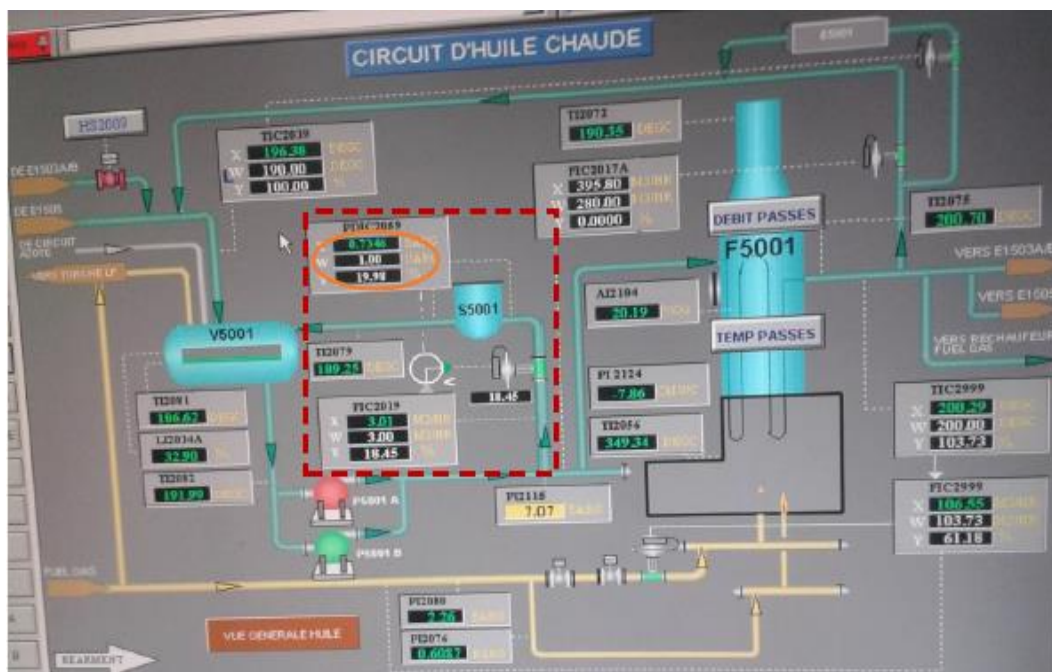


Figure III.4 contrôle de filtre.

L'indication dans le tableau débord montre que la  $\Delta P$  est égale à 0.7346 bar donc notre filtre n'est pas colmaté.

D'après ce qui est passé les solides se forment à l'intérieur de la garniture, mais il y a possibilité d'être précédés par la formation sous-produits de dégradation en dehors de la garniture qui n'ont pas été retirés par le filtre étant les particules de dimension inférieure à 80  $\mu\text{m}$  ne peuvent pas être retirés.

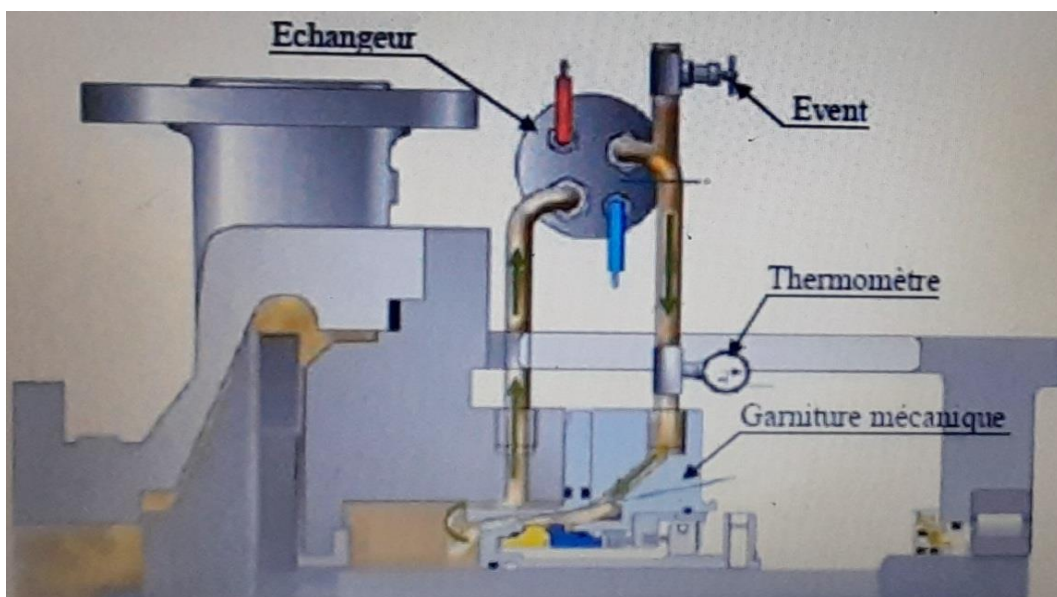
### b. Refroidissement de la garniture

Le refroidissement de la garniture est lié avec la température de flush qu'il doit être bien refroidi pour assurer son efficacité.

- **Refroidissement**

La vérification du système de refroidissement a été examinée. Après le démontage de l'aéroréfrigérant et la tuyauterie d'entrée et de sortie flush, on a met l'acide à l'intérieur pour quelque heurs puis on les a lavé avec l'eau sous pression afin d'arracher toute particule solide qui peut les boucher. Aucune trace de tartre trouvée c'est à dire ils ne sont pas bouchés. Une deuxième action est faite, c'est le changement d'angle d'inclinaison des ailettes de l'hélice en vue d'augmenter le débit d'air écoulé à travers l'aéroréfrigérant. Cette action n'a rien changé sur le problème aussi.

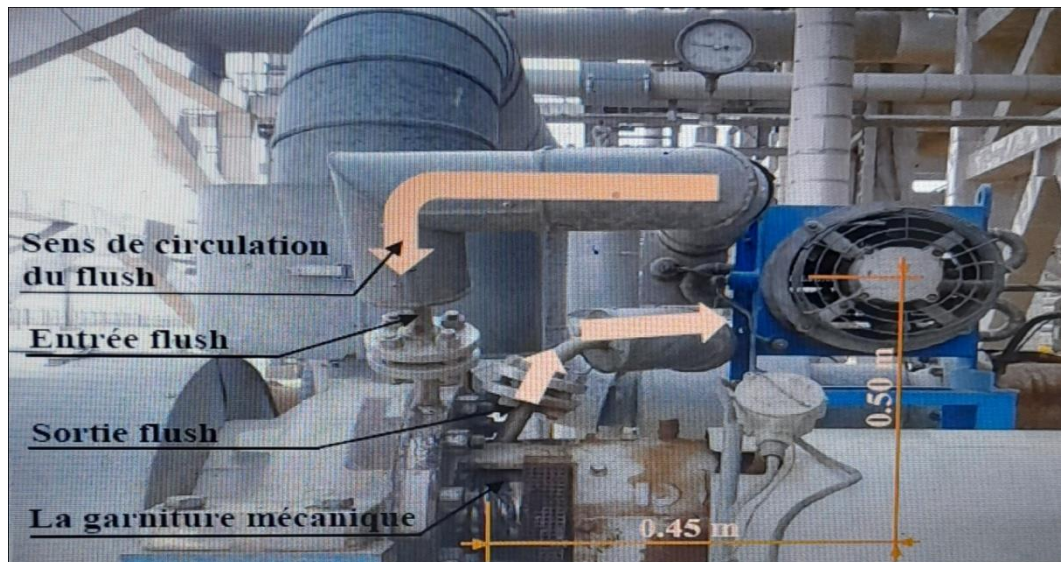
D'après le fabricant JOHN CRANE, la garniture est conçue suivant la norme API 682 [11] avec un plan de lubrification API 23 [12]. On doit vérifier sa conformité avec la norme.



**Figure III.5** exigences de la norme API 23[12]

Ce plan montre que l'installation doit contenir un échangeur de chaleur dont on trouve un fluide réfrigérant, un évent au point haut de la tuyauterie et un thermomètre à la sortie de l'échangeur. Le flush circule par moyen du roué de la chambre garniture vers l'échangeur de chaleur pour le refroidir et il passe ensuite à la garniture pour la lubrifier.





**Figure III.6** système de refroidissement

Notre système contient un aéroréfrigérant au lieu d'un échangeur de chaleur à fluide réfrigérant, qui n'a pas une vanne de dégazage (Figure III.6). Le flush circule de la chambre garniture, ensuite passe par la garniture puis par l'aéroréfrigérant.

- La constatation qu'on peut tirer de cette analyse, que le sens de circulation du flush a un grand impact sur sa température dont on trouve leur passage par l'échangeur ensuite passe directement à la garniture ce qui minimise son affectation par la température d'huile de process.
- Comme conséquence de ce diagnostic de notre l'installation de refroidissent n'est pas conforme avec le plan de la norme API, c'est ce qui minimise l'efficacité de flushing et on aura comme conséquence directe l'élévation de la température à l'intérieur de la garniture notamment les faces internes des grains qui fonctionnent sous friction où la température peut atteindre plus de 470°C.

### III.3.1.3 Milieu

#### a. Conditions de service de la garniture

Dans notre cas la garniture mécanique de type JOHN CRANE exige des conditions de fonctionnement, d'après le fabricant la pression et la température de service sont bien déterminées respectivement 8.5 bar et 193 °C (voir chapitre II tableau II.2).

Concernant la vitesse de rotation de service de la pompe égale 2975 tr/min sur laquelle la garniture a été conçue sont conformes avec les conditions fabricant.

### **b. Conditions de cokage**

La norme API exige et insiste dans le système de refroidissement l'installation de l'évent, au point haut de la tuyauterie qui doit être ouvert au moment de démarrage de la pompe et fermé en marche normal, alors que notre installation ne contient pas d'évent. Ce qui conduit à la formation des dépôts solides (Cokage) au niveau des garnitures a cause l'existence de l'air dans la tuyauterie. Comme conséquence, l'emplacement de l'évent permet d'évacuer l'air pour éviter la décomposition d'huile chaude par combustion qui provoque la dégradation de la garniture.

### **III.3.1.4 Matière**

#### **a. Nature d'huile**

La nature de l'huile circulée dans notre garniture « flush » a une grande importance. En effet ses propriétés physiques ou sa contamination s'il y a eu lieu peut amplifier la formation du dépôt. En marche de la pompe, une quantité d'huile passe à travers les faces des grains ou ce qu'on appelle « fuite » pour la lubrification. Sous l'effet de température cette quantité se vaporise mais cette vapeur reste emprisonnée sous les grains et le soufflet, où se forme le dépôt, tant qu'elle n'a pas un issue pour s'échapper. L'accumulation des vapeurs d'huile à des hautes températures qui ne sont pas résistibles provoque sa dégradation.

La viscosité de cette huile varie énormément entre la température à la marche de la pompe et la température à l'arrêt.

À l'arrêt de la pompe où il n'y pas de rotation, une quantité d'huile passe à travers les faces des grains et reste emprisonnée aussi sous les grains et le soufflet et sous l'effet de diminution de son volume par diminution de sa viscosité ce qui permet de contenir un volume plus important. Après le redémarrage de la pompe sans vidange où la température est élevée, cette quantité emprisonnée n'a aucun issues pour circuler donc elle va se dégrader facilement en formant des dépôts insolubles.

Nos garnitures mécaniques ne fonctionnent pas convenablement à cause de la formation du dépôt solide à l'intérieur ce qui empêche de garder l'étanchéité de nos pompes.

### **III.4 Proposition de solutions**

Proposition de solutions concrètes aux problèmes de garnitures mécaniques. Au cours de l'analyse et diagnostic, et à la vue des objectifs que nous avons imposés à notre travail, quatre

propositions majeures et concrètes sont basées sur des techniques différentes ont été développées.

### **1. Eliminer les sources d'oxygène.**

Installation de l'évent est obligatoire, qui permet d'évacuer l'air (oxygène) pour éviter la décomposition d'huile chaude par combustion qui provoque la dégradation de la garniture. Cette prise d'air on doit se débarrasser dans tout le système, pour cela le purgeage doit être dans le début de démontage de la pompe et l'ensemble des lignes d'aspiration, de refoulement et de l'enceinte de la pompe. Cet événement doit être ouvert avant le démarrage et fermé en marche normale.

### **2. Assurer l'efficacité de refroidissement**

- **Bague de fond**

La bague de fond est utilisée pour minimiser le jeu entre le corps de la pompe et l'arbre afin de minimiser l'échange de matière entre la chambre garniture et l'enceinte de la pompe. Dans notre cas les pompes contiennent des bagues en acier inoxydable. Le remplacement de ces bague en Polyétherétherkétone (PEEK) permet de réduire ce jeu mieux que l'acier inoxydable et permet davantage de réduire le transfert de chaleur d'une façon significative vue ces caractéristique thermique.

- **Norme API 62**

La proposition de l'application d'un autre plan de la norme API 62[13]qui consiste à refroidir rapidement ou brusquement notre garniture mécanique (Quench). Cette application permet d'assurer aussi le bon refroidissement des surfaces internes de la garniture, et empêche ainsi la dégradation d'huile par cokéfaction, oxydation, etc... en balayant toutes vapeurs ou huile emprisonnée.

### **3. Evacuer l'huile emprisonnée**

- **Norme API 65**

Une autre proposition de la norme API 65qui consiste à diriger la fuite de la garniture via une conduite de drainage. Ce plan permet d'évacuer l'huile emprisonnée sous les grains et le soufflet.

### **4. Changement du filtre**

Le processus de dégradation génère un certain nombre de produits indésirables. La proposition c'est son élimination avant qu'ils n'aient le temps de continuer de réagir et de former des boues et des dépôts insolubles. Les sous-produits de dégradation de l'huile ne peuvent pas être éliminés au moyen des filtres ordinaires avec un grand maillage car il s'agit d'un liquide dans un liquide. Vu la nature du fluide utilisé « huile chaude » et les conditions de service, le filtre doit être très fin aussi bien efficace en tant que agent absorbant.

### **III.5 Conclusion**

Le but de ce chapitre était d'améliorer notre connaissance du comportement mécanique d'une garniture mécanique placée dans une pompe centrifuge. Au travers d'une analyse des grains des facies internes mobile et fixe de la garniture et du soufflet de la pompe ont pu être observée. De plus, le diagramme Ishikawa a permis de mettre en avant de causes à faible impact, négligeable et ainsi, de préciser les causes importantes qu'on doit prendre en charge. Comme la formation d'une couche de dépôt solide sur les faces internes des grains fixes et mobiles et de soufflet. Certaines solutions peuvent être mises en œuvre immédiatement car elles n'impliquent pas de coût et sont simples à mettre en œuvre. Toutefois, il serait opportun de profiter de la réunion des 2 entités pour mettre en place un système commun, performant, pérenne qu'il soit établi en interne ou externalisée : La peut constituer une première étape pour mettre en place un archivage électronique complet et efficace.



# *Conclusion générale*

Les garnitures mécaniques répondent aux besoins de tous les secteurs d'activités tels que chimie, pétrochimie, industrie pétrolière, etc. la garniture est donc un organe essentiel de toute machine tournante, comme les pompes centrifuges, compresseurs centrifuges, réacteurs, etc..., pour garder leurs étanchéité notamment le cas des fluides dangereux

Les composants entrant dans la technologie des garnitures mécaniques, tels que les grains fixe et mobile sont des éléments faisant appel à la mécanique de haute précision et au savoir-faire.

Le problème d'étanchéité des pompes P5001 A/B dû à l'endommagement de leurs garnitures mécanique à cause de cokage d'huile à l'intérieur. L'élimination des causes de cokage permet d'augmenter la durée de vie de la garniture ainsi de réduire le coût de maintenance et d'assurer la disponibilité de l'unité.

Une investigation approfondie en utilisant le diagramme d'ISHIKAWA a eu lieu pour déterminer les causes potentielles du problème. Ainsi comme proposition de solution l'élimination d'oxygène de la garniture, ses installations connexes et l'application de quelques normes API fait augmenter l'efficacité de refroidissement de la garniture et assurer aussi la propriété de l'huile circulante en faisant des analyses systématiquement et en changeant le filtre.

# *Références*

### *Références bibliographiques*

[1] Troubleshooting Centrifugat Pumps and their systems, Copyright 2003 Elsevier Ltd. Published by Elsevier Ltd.

[2] BERNARD, Techniques d'ingénieur (B 4320) Pompes Volumétriques pour Liquides, PARIS.

[3] Les Pompes", TOTAL Manuel de Formation : EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Dernière Révision : 13/04/2007.

[4] ABA. A, « Diagnostic vibratoire sur des pompes rotatives EP2 & P112 ». Rapport de Fin de Mise en Situation Professionnelle du Technicien Supérieur en Mécanique Industrielle, DIRECTION REGIONALE HAUD BERKAOUI (2015).

[5] Documentation DP HaoudBerkaoui SONATRACH DP

[6] Technique de l'ingénieur. Garnitures mécaniques, Technologie.

[7] Noel Brunetière. Les garnitures mécaniques : Etude théorique et expérimentale. Mechanics. Université de Poitiers, 2010.

[8] Flow serve. Manuel de pompe d'huile chaude P5001.

[9] Dow Chemical. MSDS DOWTHERM Q

[10] Dégradation de l'huile Roumaïssa, K. N. A. (2022). *Les huiles usagées : Caractérisation et contribution à la valorisation* (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences et Technologies univbba).

## **Références**

---

[11] la norme API 682 Angel, J. P. C. (1997). *Diseño de un banco de pruebas para ensayo de sellos mecánicos según la norma api 682* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Facultad de Minas.).

[12] Un plan API-23 Dodd, V., & Hinkel, T. E. (1997). Mechanical Seal Reliability Improved with API Piping Plan 23. In *Proceedings of the 14th International Pump Users Symposium*. Texas A&M University. Turbo machinery Laboratories.

[13] Un plan API-62 Goldschmidt, A., & Gürtler, T. (2013). DiamondFace-coated seals ensure pumps run smoothly at remote oilfield in Ecuador. *Sealing Technology*, 2013(8), 10-11

# Annexe

### Annexe 1 : Circuit de l'huile chaude

L'unité de l'huile chaude se compose de deux parties, la première partie c'est celle de l'ancien système et la deuxième c'est celle du nouveau système comme il est illustré dans le schéma de l'installation de l'huile chaude. Une connexion à l'ancien système fournit la flexibilité pour utiliser l'huile chaude du nouveau système pour les utilisateurs d'huile chaude existants.

L'huile utilisée c'est « DOWTHERM Q », elle est conçue spécifiquement pour usage dans les systèmes de transfert de chaleur en phase liquide. DQ a une bonne stabilité thermique à des températures montant jusqu'à 330°C (625°F), une faible viscosité, une bonne pompabilité à basses températures, et elle est non corrosive vis à vis les métaux et alliages.

Dans cette partie nous allons faire une description seulement du circuit qui est en service actuellement.

Le four thermique « F5001 » fournit la chaleur pour chauffer l'huile pour atteindre les besoins de fonctionnement du rebouilleur de stabilisateur LP « EA4501 /S », rebouilleur de la colonne de condensat « EA4505 », réchauffeurs de gaz combustible des PGT « E2303A/B/C », réchauffeur de gaz combustible de MP BOOSTER « E2304 », et réchauffeurs de gaz combustible des trains HP « E2302A/B/C/D ».

Sous les conditions de fonctionnement normales, la pompe de circulation d'huile chaude « P5001A/B » prend l'aspiration de ballon d'huile chaude « V5001 ». La pompe montée horizontalement et fonctionne grâce à un moteur électrique. La pompe circule l'huile du ballon vers le four, coulant sous réglage de débit à travers le filtre « S5001 ». Le filtre sert à retirer des particules de matière qui peuvent s'accumuler dans le système comme la conséquence d'une dégradation thermique de l'huile circulant ou d'une contamination

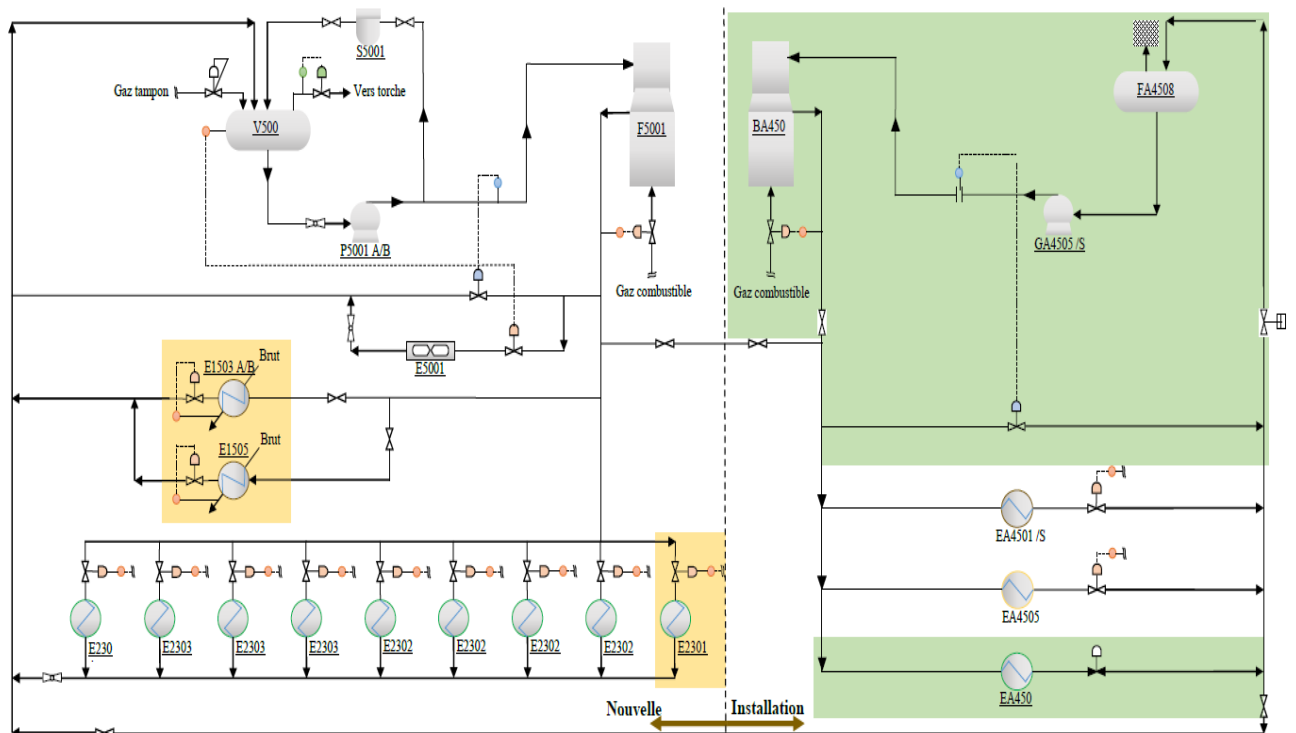
L'huile circulant coule depuis la décharge de la pompe au collecteur d'entrée du four « F5001 » en fonctionnement, où elle se divise dans six passes séparées avant d'entrée dans le four. Après le préchauffage dans la zone de convection supérieure du four, l'huile dans chaque passe écoule à la zone de radiation du réchauffeur et ensuite à travers la zone de convection inférieure du four, où il atteint la température de sortie désirée. Les six passes se rejoignent au collecteur de sortie du réchauffeur et s'acheminent en aval vers les utilisateurs.

Chacun des utilisateurs opère sous un contrôle de température indépendant pour accepter une portion de la quantité totale de l'huile chaude requise par l'utilisateur. Selon le besoin des utilisateurs, une portion d'huile circulante du four peut être retournée au ballon « V5001 » pour maintenir l'écoulement minimum à travers le four. Un contrôleur de débit dans la décharge de

## Annexe

---

la pompe contrôle la vanne régulatrice de débit pour régler l'écoulement de by-pass de retour vers « V5001 ». Egalement, un contrôleur de température contrôle la vanne de régulation de débit pour régler la température de l'huile chaude à l'entrée du ballon en orientant une portion de l'écoulement de by-pass à travers l'aéroréfrigérant E5001. Cet aéroréfrigérant sert au refroidissement d'huile seulement si la température à l'entrée du réservoir cylindrique est trop chaude. L'écoulement de by-pass rejoint le flot des utilisateurs au collecteur d'entrée de V5001. L'huile circulant s'écoule du ballon vers l'aspiration de la pompe, et le cycle de chauffage commence à nouveau.



**V5001** : Ballon d'huile chaude  
**P5001 A/B** : Pompes pour l'huile chaude  
**F5001** : Four thermique  
**S5001** : Filtre  
**E5001** : Aéroréfrigérant  
**E1503 A/B** : Rebouilleur de stabilisateur HP  
**E1505** : Réchauffeur de brut  
**E2301** : Réchauffeur du gaz combustible process  
**E2302 A/B C/D** : Réchauffeur du gaz combustible ZINA pour les trains HP

**E2303 A/B/C** : Réchauffeur du gaz combustible ZINA pour les PGT  
**E2304** : Réchauffeur du gaz combustible pour MP BOOSTER  
**FA4508** : Ballon d'huile chaude  
**GA4505 /S** : Pompes d'huile chaude  
**BA4501** : Four thermique  
**EA4501 /S** : Rebouilleurs pour le stabilisateur LP  
**EA4505** : Réchauffeur pour le récupérateur du condensat  
**EA4507** : Réchauffeur du gaz combustible process

● : Régulateur de température  
● : Régulateur de débit  
● : Régulateur de pression

  : Section isolée  
 : Vanne manuelle  
 : Vanne automatique

  : Section opérationnelle avec le fonctionnement de stabilisateur HP

Schéma de l'installation de l'huile chaude

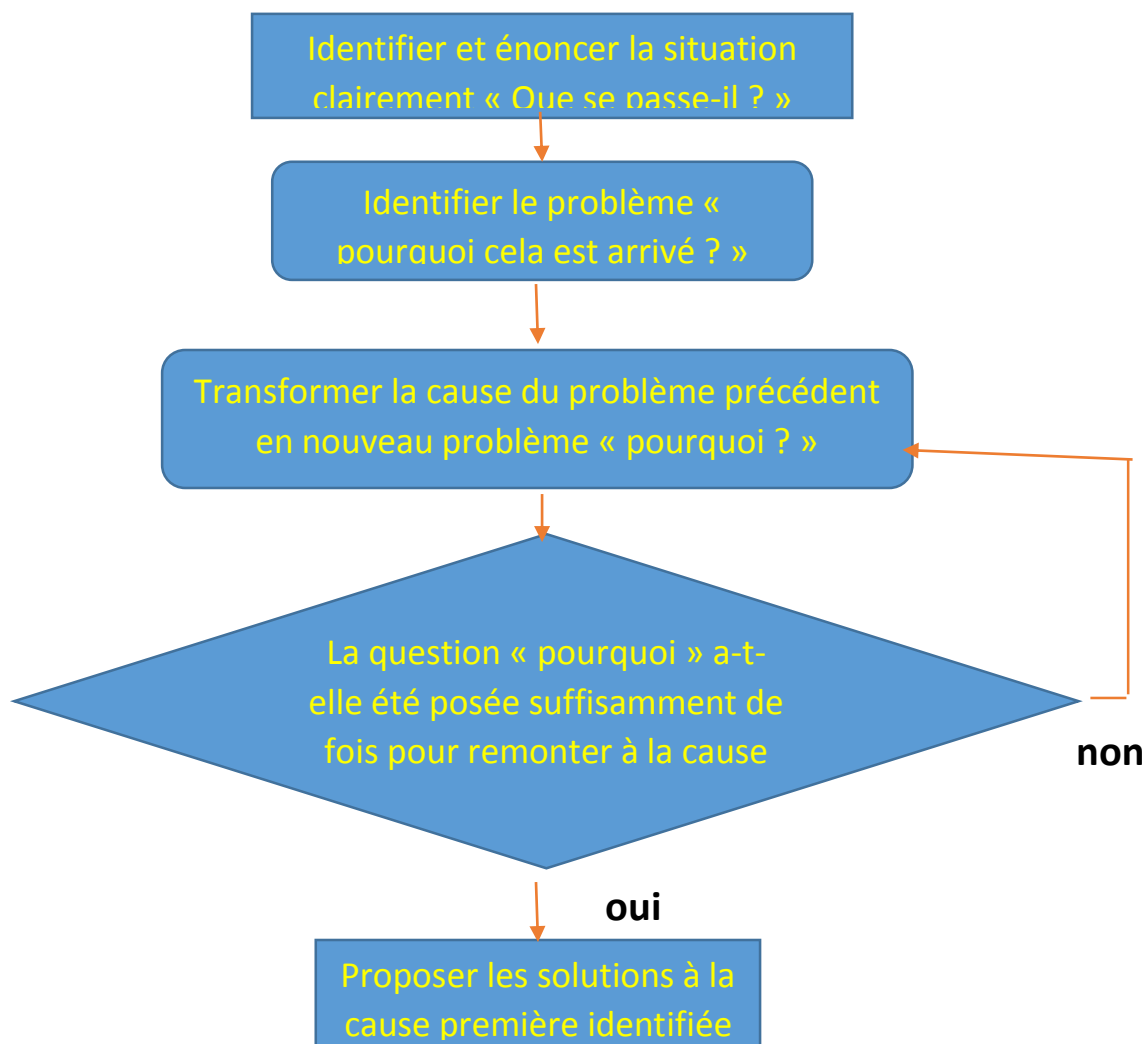


### Annexe 2 : Méthode des 5P

La méthode des 5 Pourquoi, est un outil qualité utilisé la résolution de problème. Elle permet d'identifier les causes fondamentales d'un dysfonctionnement ou d'une situation problématique afin de pouvoir proposer des solutions efficaces et définitives.

#### III.1.3.1 Déploiement de la méthode

La méthode des 5 Pourquoi permet l'identification des causes racines d'un problème. En posant plusieurs fois la question « Pourquoi ? » au problème, on retire une à une les couches de symptômes qui mène aux causes racines. Bien que la méthode se nomme « Les 5 Pourquoi », il se peut que vous ayez à vous poser la question « Pourquoi ? » moins de 5 fois ou plus de 5 fois selon le problème.



## Annexe

---

Bien que simple d'utilisation, la méthode 5 Pourquoi comporte des pièges à éviter, dans ce contexte il est nécessaire de :

- déployer la méthode avec les personnes directement concernées par le problème afin d'identifier les véritables causes
- rester factuel, rapporter ce qui s'est réellement passé clairement
- ne jamais travailler par déduction ou supposition de ce qui s'est passé
- se cantonner aux causes sur lesquelles il est possible d'avoir un contrôle