

N°Ordre..... /DGM/FT/UMBB/2024



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Filière : Electromécaniques
Spécialité : Maintenance Industrielle

THEME

Application de la méthode Ishikawa à la
Pompe centrifuge «530 P 025 »

Présenté par : BAHOUALA Walid

Promoteur : Mme ATMANI T.D.

Co-promoteur : NACER ZINDINE.

Promotion 2023- 2024

Dédicaces

NUL NE PEUT ÉGALER LA TENDRESSE ET LÀ
GENTILLESSE
DES PARENTS, NUL NE PEUT SAVOURER LES
Succès DE
QUELQU'UN AUTANT QUE LES PARENTS, POUR
CETTE
RAISON ; JE DÉDIÉ CE MODESTE TRAVAIL à MES
Très CHERS
PARENTS AUQUEL J'EXPRIME MA Sincère
ÉTERNELLE
GRATITUDE POUR LE SOUTIEN, CONSEILS ET LEUR
ÉDUCATION
QUE DIEU LES GARDE POUR NOUS.
JE LE DÉDIE AUSSI
À MON Frère ET MES Sœurs ET À TOUS MES AMIS

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, l'intelligence et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Un merci bien particulier adressé à M NACER ZINDINE, mon encadrant pour ses directives son suivi ainsi ses orientations qui m'ont été bénéfiques pour achever mon projet.

Je tiens exprimer mes remerciements aux mon encadrant sur l'université Mme ATMANI T.D, et aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Je présente mes sincères remerciements à tous mes enseignants du département de Génie Mécanique.

Résumé

La raffinerie *Sidi-Arcine* d'Alger est l'une des cinq raffineries algériennes gérée par la société nationale Sonatrach vouée pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures.

Le but primordial de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière. Et l'utilisation d'équipements assurant le transport des produits, comme les pompes, est essentiel. Celles-ci sont souvent sujettes à des dysfonctionnements. Pour identifier les causes qui ont une influence sur les problèmes rencontrés nous avons utilisé le diagramme d'Ishikawa.

Cet outil nous a permis de synthétiser et de structurer les idées, avec une visualisation particulièrement efficace du problème offrant une aide à la suggestion de la décision d'action pour régler les problèmes et les dysfonctionnements rencontrés. Après analyse, il a été constaté les défaillances érosion au niveau de la garniture mécanique (grain mobile) et fuite de fluide transporté par la pompe 350-p-025. Les causes sont principalement liées aux particules abrasives drainées par la pompe. Une amélioration du grain mobile de la garniture, ainsi que le changement de l'huile ont été effectués.

Mots clés : érosion abrasive, pompe centrifuge 530-p-025, Diagramme Ishikawa, Garniture mécanique, Diagnostique des pannes.

Abstract

The *Sidi-Arcine* Refinery in Algiers is one of the five Algerian refineries managed by the national company Sonatrach, dedicated to the exploration, production, transportation, processing, and marketing of hydrocarbons.

The primary goal of the refinery is to continuously meet the demand for essential products as well as various products for the petroleum industry. The use of equipment that ensures the transportation of these products, such as pumps, is crucial. These pumps often experience malfunctions. To identify the causes influencing these problems, we used the Ishikawa diagram.

This tool allowed us to synthesize and structure ideas, providing an especially effective visualization of the problem and potentially aiding in suggesting actions to address and resolve issues and malfunctions. Upon analysis, we identified erosion failures at the mechanical seal (mobile face) and fluid leaks transported by pump 530-p-025. The causes are primarily linked to abrasive particles being transported by the pump. Improvements to the mobile face of the seal and the replacement of the oil were carried out.

Keywords: abrasive erosion, centrifugal pump 530-p-025, Ishikawa diagram, mechanical seal, fault diagnosis.

ملخص

تُعدُّ مصفاة سيدي-أرشين بالجزائر واحدة من خمس مصافي تكرير جزائرية تُدار من قِبَل الشركة الوطنية "سوناطراك"، التي تتخصص في البحث، والإنتاج، والنقل، والتحويل، والتسويق للهيدروكربونات.

الهدف الرئيسي للمصفاة هو مواصلة تلبية الاحتياجات من المنتجات الأساسية، وكذلك توفير مختلف المنتجات للصناعة النفطية. واستخدام المعدات التي تضمن نقل المنتجات، مثل المضخات، أمرٌ ضروري. ولكن غالباً ما تتعرض هذه المعدات للأعطال. لتحديد الأسباب التي تؤثر على المشاكل التي تواجهها، استخدمنا مخطط "إيشيكافا" (Ishikawa) "وقد سمحت لنا هذه الأداة بتلخيص وتنظيم الأفكار بشكل فعال، مع توفير رؤية واضحة للمشكلة واقتراح الإجراءات اللازمة لحل الأعطال والمشاكل.

بعد التحليل، تبين أن الأعطال تتركز في التآكل عند مستوى الجوانات الميكانيكية (العنصر المتحرك) وتسرب السوائل التي يتم نقلها بواسطة المضخة P-025. 350- وكانت الأسباب الرئيسية لهذه الأعطال مرتبطة بالجزئيات الكاشطة التي تُسحب بواسطة المضخة. لذلك، تم تحسين العنصر المتحرك للجوانات وتغيير الزيت المستخدم.

كلمات مفتاحية : التآكل الكاشط، المضخة الطاردة المركزية P-025-530، مخطط إيشيكافا، الجوانات الميكانيكية، تشخيص الأعطال

Sommaire

Introduction générale.....	1
I Chapitre : Présentation et description de la raffinerie d'Alger « ex.Naftec ».....	2
I.1 Introduction	3
I.2 L'historique de la raffinerie	3
I.3 Présentation de la raffinerie d'Alger	4
I.4 La situation géographique de la raffinerie	4
I.5 L'organigramme de la raffinerie d'Alger	5
I.6 Atelier de maintenance	6
I.7 Capacité de production	7
I.8 Les différentes unités de la raffinerie d'Alger	7
II Chapitre : les équipements de circulation : les pompes.....	15
II.1 Introduction	16
II.2 Classification des pompes	17
II.2.1 Les pompes Roto dynamiques.....	19
II.2.2 Les pompes centrifuges	22
II.3 Problèmes rencontrés dans les pompes centrifuges.....	26
II.3.1 Phénomène d'érosion abrasive.....	26
II.3.2 Causes de l'érosion abrasive dans une pompe	29
II.3.3 Les effets de l'érosion abrasive sur les matériaux	30
III Chapitre : Exploitation et maintenance du secteur pompage.....	41
III.1 Introduction	42
III.2 But de la maintenance.....	43
III.3 Types de maintenance	43
III.3.1 La maintenance corrective	43
III.3.2 La maintenance préventive.....	45
III.3.3 La maintenance prédictive	48
III.4 Critères de choix de la maintenance	49
III.5 Les fonctions d'un service maintenance	50
III.6 Les niveaux de maintenance.....	51
III.7 Le rôle de la maintenance.....	52
III.8 Les objectifs de la maintenance.....	53
III.9 Place du service maintenance dans l'entreprise	54
III.10 Optimisation de la maintenance.....	55
III.11 Méthodes de maintenance.....	55
III.11.1 Méthode AMDEC.....	55

III.11.2	Diagramme Pareto	56
III.11.3	Méthode KAIZEN	57
III.11.4	La maintenance basée sur Ishikawa (5M)	57
III.12	Exploitation et Maintenance de la pompe 530P025	61
III.13	La Surveillance	62
III.13.1	Maintenance prédictive :	62
III.13.2	Le plan de maintenance appliqué à la pompe P025.....	63
IV	Chapitre IV : Application de la méthode du diagramme d'Ishikawa.....	13
IV.1	Introduction	70
IV.2	Analyse fonctionnelle externe de la pompe 530p025.....	70
IV.3	Analyse fonctionnelle interne de la pompe 530p025	72
IV.3.1	Les caractéristiques techniques de la pompe 530- P-025 sont :.....	72
IV.3.2	Organigrammes techniques de la pompe	73
IV.3.3	Les organes constitutifs de la pompe 530 P 025	73
IV.4	Détermination et analyse des causes d'indisponibilité de la pompe 350p025	81
IV.5	L'analyse des causes-effets	82
IV.5.1	Analyse des problèmes de la pompe centrifuge 530 p 025	88
	Conclusion.....	89
	Conclusion générale	90
	Références bibliographiques	92
	Annexes	94

Liste des figures

Figure I.1: Emplacement de la raffinerie d'Alger (Google earth).....	5
Figure I.2: Organigramme de la raffinerie d'Alger.....	5
Figure I.3 : Service maintenance.....	6
Figure I.4 : Produits de la raffinerie d'Alger.....	7
Figure I.5 : Parc de Stockage de la raffinerie d'Alger.....	9
Figure I.6 : Schéma de l'unité RFCC.....	11
Figure II.1: Montage d'une pompe en aspiration et en charge.....	16
Figure II.2 : Illustration d'une roue à godets chinoise [5]......	17
Figure II.3 : Classification des pompes.....	18
Figure II.4 : Domaine d'utilisation des deux grandes catégories de pompes.....	19
Figure II.5 : Les types des roues de pompe (impulseur).....	20
Figure II.6 : Pompe centrifuge multi-étage.....	20
Figure II.7: Vues en éclaté et extérieure d'une pompe verticale.....	21
Figure II.8 : Pompe centrifuge.....	22
Figure II.9 : Les principales composantes d'une pompe centrifuge.....	24
Figure II.10 : Fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	25
Figure II.11: Comportement des surfaces lors de l'érosion,.....	27
Figure II.12: Influence de l'angle d'incidence des particules sur le taux d'usure.....	28
Figure II.13 Caractéristique de l'érosion (a) calculé et (b) simulé [10].....	28
Figure II.14 Usure par érosion du corps de pompe [11]......	29
Figure II.15 (a) érosion et (b) corrosion inter-granulaire, provoqués par le contact du Slurry dans les pompes [11]......	31
Figure II.16 Densité d'érosion dans le corps d'une pompe centrifuge à Slurry [11]......	31
Figure IV.1 : IV.2 Diagramme Bête à cornes des pompes 530P025.....	70
Figure IV.3 : Vue extérieure de la pompe 530p025.....	71
Figure IV.4: Vue en coupe de la pompe centrifuge monocellulaire.....	72
Figure IV.5 Organigramme technique de la pompe.....	73
Figure IV.6: Le corps de pompe.....	74
Figure IV.7 : Impulseur.....	75
Figure IV.8 : Volute.....	75
Figure IV.9 : Arbre de la pompe.....	76
Figure IV.10 : Coussinets.....	76
Figure IV.11 : Grain mobile de garniture mécanique.....	77
Figure IV.12 : Chemise de garniture.....	77
Figure IV.13 : Accouplement de pompe P025 avant et après le montage.....	78
Figure IV.14: Anneau de pompage.....	78
Figure IV.15 : Joints à lèvres.....	79
Figure IV.16: Exemples d'applications des joints toriques.....	79
Figure IV.17 : Garniture mécanique de pompe P025 avant et après le montage.....	80
Figure IV.18 : Garniture mécanique pour les fluides visqueux et sales (Slurry).....	80
Figure IV.19 : La garniture mécanique double de la pompe 530 P025.....	82
Figure IV.20 : Diagramme causes-effets (Diagramme Ishikawa (5M)).....	84

Figure IV.21 Bague de fond dans la chambre à garniture.....	85
Figure IV.22 : Grain mobile de garniture mécanique usé.....	86
Figure IV.23: Interventions de maintenance de la pompe	88
Figure V.1: Différents modèles des pompes volumétriques rotatives.	95
Figure V.2 : Pompe à engrenage [6]	96
Figure V.3: Pompe à palettes [7].....	97
Figure V.4 : Pompe à lobes	98
Figure V.5 : Pompe à vis (cas à 2 vis).....	99
Figure V.6 : Pompe à piston.....	100
Figure V.7 : Pompe à membrane.....	101
Figure V.8 : Dessin de définition de la pompe P025	102
Figure V.9 Garniture mécanique de la pompe P025	105

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les mouvements des produits entre la raffinerie, les dépôts et le port.....	14
Tableau IV.1 Application de la méthode d'ISHIKAWA 5M	83
Tableau IV.2 Couples de frictions les plus Utilisées	86
Tableau A.1: Les avantages et les inconvénients des pompes à lobes	98
Tableau A.2 : Les avantages et les inconvénients des pompes à vis.....	99

Introduction générale

L'industrie pétrolière joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale en fournissant des carburants essentiels et des produits connexes à nos modes de vie modernes, et la raffinerie de Sidi-Arcine en fait partie. Pour atteindre les objectifs escomptés, il est impératif de maintenir l'efficacité opérationnelle de ses installations. Dans ses installations se trouvent des équipements clés tels que les pompes centrifuges, qui assurent le pompage et le déplacement des produits pétroliers. L'application de la maintenance dans cette industrie doit être nécessaire pour augmenter la qualité et la quantité de production. De plus, la qualité du produit fabriqué est elle-même tributaire de la fiabilité des équipements.

Dans ce travail nous avons appliquée à la pompe centrifuge monocellulaire 530P025 de la Raffinerie Sidi-Arcine d'Alger la méthode Ishikawa (cause-effet). Celle-ci est sujette à des défaillances répétées. Cette étude vise donc à identifier les causes potentielles des défaillances et leurs effets sur la pompe 530P025.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la raffinerie de Sidi-Arcine d'Alger.

Dans le deuxième chapitre, nous avons donné quelques notions sur le système de pompage utilisé dans l'industrie pétrolière et tout particulièrement dans la raffinerie d'Alger.

Ensuite dans le troisième chapitre nous avons introduit les notions de base de la maintenance appliquées dans le domaine industriel, en générale, et à la pompe à Slurry utilisée dans la raffinerie d'Alger, en particulier.

Dans le quatrième chapitre on met en application une étude de cas pratique sur un équipement stratégique de la raffinerie d'Alger en utilisant la méthode d'analyse basée sur le diagramme d'Ishikawa.

Nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale et quelque recommandation pour éviter ou minimiser ce problème.

Chapitre I :
Présentation et
description de la
raffinerie d'Alger
« ex.Naftec »

I.1 Introduction

En Algérie, l'histoire de l'industrie de raffinage est intimement liée à la découverte et à l'exploitation du pétrole brut de *Hassi Messaoud*. La première unité de raffinage a été érigée sur le site même de cette découverte, avec pour objectif principal de répondre aux besoins croissants des sociétés impliquées dans la recherche et l'exploitation du pétrole brut.

Dès l'obtention de son indépendance, l'Algérie s'est résolument engagée dans une voie de développement économique, mettant un fort accent sur la création d'une industrie pétrolière dynamique, grâce à la transformation méthodique de ses ressources en hydrocarbures.

I.2 L'historique de la raffinerie

La raffinerie d'Alger « ex.Naftec » est une filiale de Sonatrach spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien. Elle a été mise en service en février 1964. A l'origine, le raffinage était une activité intégrée dans Sonatrach.

En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et érigés en entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers.

En 1988, le raffinage, est à son tour, séparé de l'activité distribution est érigé en entreprise nationale de raffinage de pétrole « Naftec Algérie ». En avril 1998, l'entreprise devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le « Holding raffinage et chimie » du Groupe Sonatrach avec un capital social de 12 000 000000 DA, dénommée Société nationale de raffinage de pétrole Naftec-Spa.

En 2009, la société Naftec a été dissoute et a été récupéré par la société mère, sous le nom de « Sonatrach Activité Aval Division Raffinage ».

Depuis le 10 Janvier 1964 jusqu'à 1971 la raffinerie d'Alger était alimentée par Tankers du port pétrolier de Bejaia au port pétrolier d'Alger, et puis par pipe de diamètre 26" jusqu'au parc de stockage.

En 1971, un piquage a été effectué au niveau de Béni-Mansour à partir de la pipe de 24" reliant *Hassi-Messaoud* par un oléoduc de 16" alimentant la raffinerie en pétrole brut ainsi que l'extension du parc de stockage (un bac de brut, divers bacs de produits finis et semi-finis et une sphère de butane).

La raffinerie d'Alger est donc approvisionnée par le pétrole de *Hassi-Messaoud* qui est caractérisé par une faible teneur en soufre et une grande richesse en hydrocarbures légers [1].

I.3 Présentation de la raffinerie d'Alger

Sonatrach est une société nationale pour la recherche, la production, le transport, La transformation et la commercialisation des hydrocarbures. C'est la première entreprise du continent Africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel.

L'Algérie dispose de Cinq raffineries : La raffinerie d'Alger, la raffinerie de *Hassi-Messaoud*, la raffinerie d'*Arzew*, la raffinerie de *Skikda*, et enfin la raffinerie d'*In Amenas* (RIA). Elles sont gérées par Sonatrach/activité/aval/Division Raffinage [1].

I.4 La situation géographique de la raffinerie

La situation géographique de la raffinerie à Alger a été soigneusement choisie en raison de sa proximité avec une nappe d'eau qui permet l'alimentation continue des systèmes de refroidissement. La raffinerie se trouve au nord du pays, plus précisément au centre à *Sidi Arcine Baraki*, à 5 km au sud de la ville d'*El-Harrach* et à 20 km à l'est d'Alger.

Le site de la raffinerie occupe une superficie totale de 182 hectares, dont 96 hectares sont construits et clôturés. Il est délimité comme suit :

- Au nord-ouest par le dépôt de NAFTAL GPL et le centre en flûteur.
- Au nord par les habitations d'*El Harrach*.
- Au sud par les habitations de *Baraki*.
- Au sud-est, le site est délimité par la Direction Générale de Sonatrach/Activité Aval/Division Raffinage et le siège de Sonatrach/TRC.
- Au nord, nord-ouest, sud-ouest et à l'est, il est entouré de terrains agricoles.



Figure I.1: Emplacement de la raffinerie d'Alger (Google earth).

I.5 L'organigramme de la raffinerie d'Alger

Le schéma sur la figure I.2 représente l'organigramme de la raffinerie d'Alger.

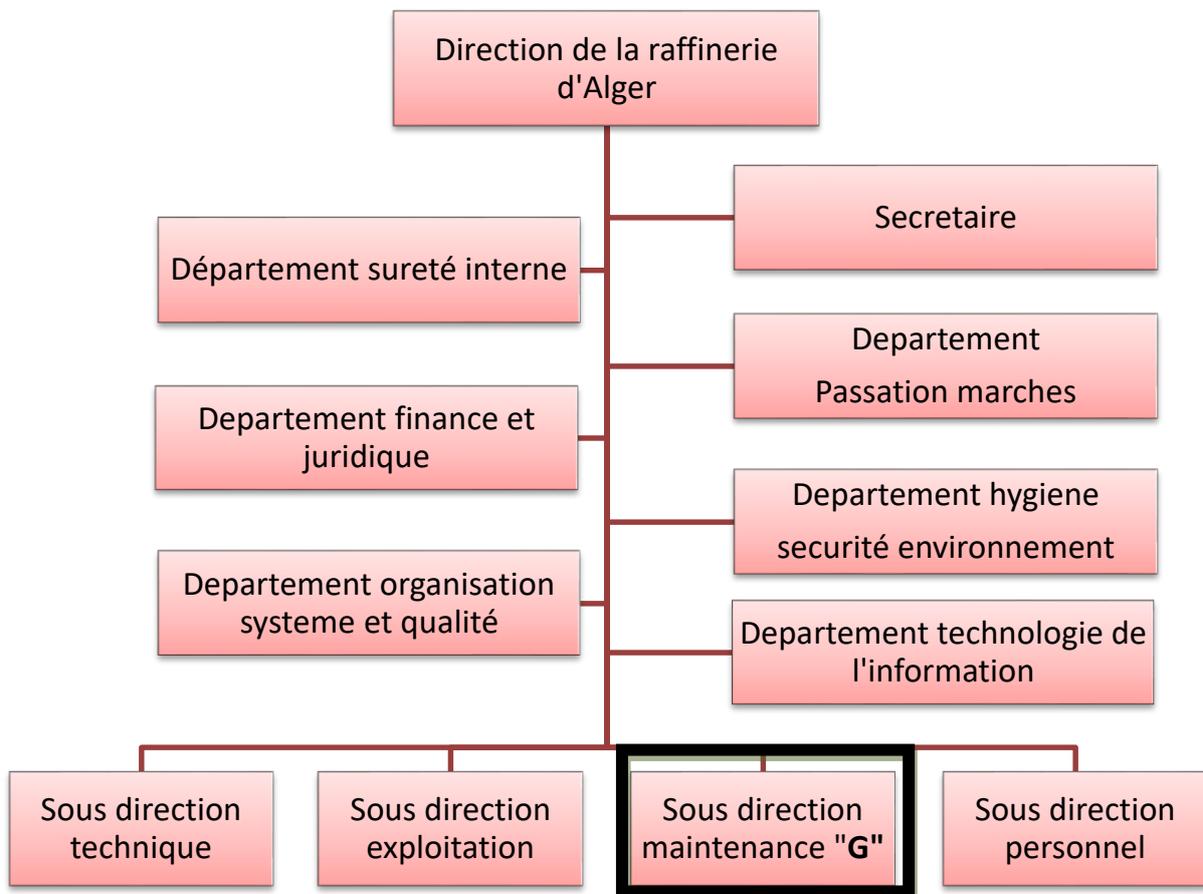


Figure I.2: Organigramme de la raffinerie d'Alger

I.6 Atelier de maintenance

Le secteur Maintenance (G) défini par « planning méthode » est la plaque tournante de la maintenance à travers le programme journalier de travail.

Dans cet atelier, l'équipe de maintenance est chargée de réparer les équipements de différentes unités tel que : pompes, échangeurs, vannes, moteurs, etc.

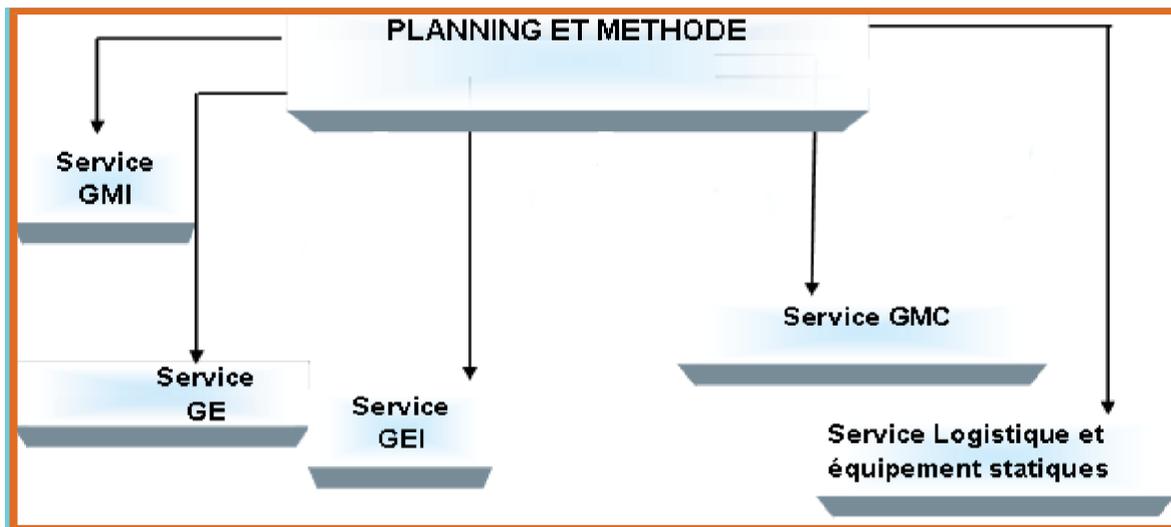


Figure I.3 : Service maintenance.

Où

GMI : service maintenance mécanique industrielle.

GE : service maintenance électrique.

GEI : service maintenance électronique instrumentation.

GMC : service maintenance chaudronnerie.

En cas de problème, l'opérateur doit le signaler au chef de quart ensuite au service mécanique, et une intervention sur site selon le degré de gravité. La décision est prise après une réunion des responsables de : zone, sécurité et le chef de département mécanique.

Les différentes zones sont :

- Zone 01 : Les unités 100, 200, 300.
- Zone 02 : La pomperie, expédition, gaz liquéfié.
- Zone 03 : Utilités, sécurité.
- Zone 04 : Le port pétrolier.
- Zone 05 : Magasins généraux pour stockage de matériels et outillage.

I.7 Capacité de production

Le but primordial de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière.

La raffinerie à une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales, et qui sont :

- Butane et propane commerciaux,
- Naphta (30% essence SR+70% solvant total),
- Essences normale et super,
- Jet (Kérosène),
- Gas-oil,
- Fuel lourd.

La capacité de production de la raffinerie d'Alger est de 2 700 000 tonnes/an [1] [2].

La figure I.4 montre les produits de la raffinerie d'Alger.

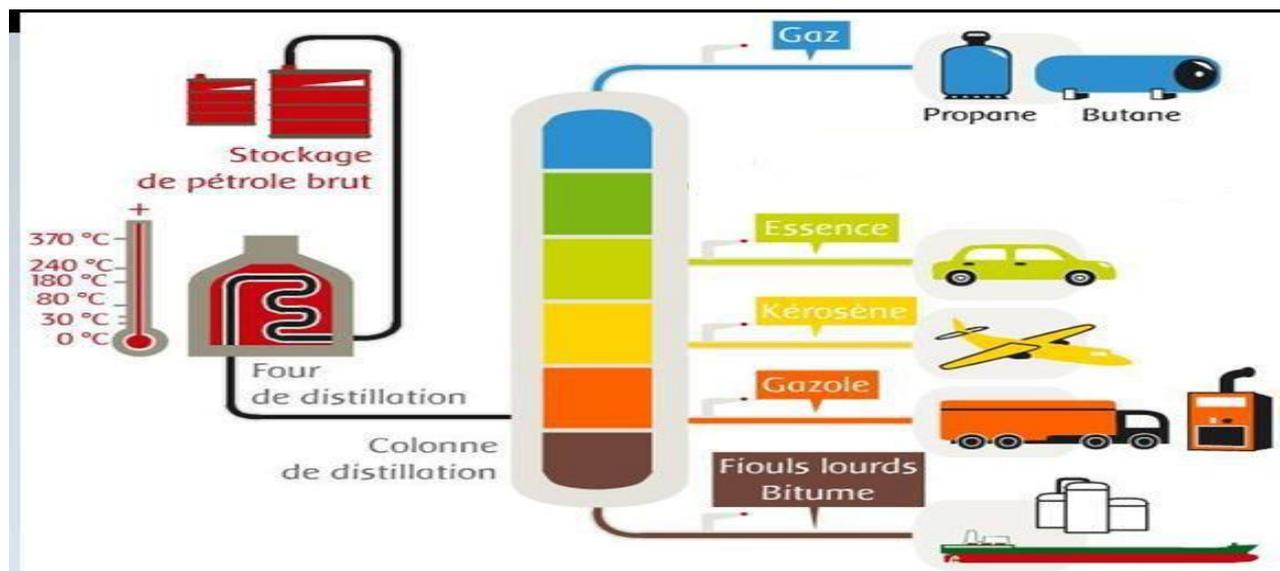


Figure I.4 : Produits de la raffinerie d'Alger

I.8 Les différentes unités de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger comporte les installations principales suivantes [2] :

➤ Unité de distillation atmosphérique U100

C'est une unité qui permet de fractionner le pétrole brut en ses différentes dérivées, à savoir :

- Les hydrocarbures légers, contenant des gaz incondensables, du butane et du propane.
- L'essence légère, entrant dans la constitution de carburantes autos.
- Les solvants légers et lourds.
- Le Kérosène fournissant les produits commerciaux, Le gas-oil lourd, entrant dans la construction des fuels légers.
- Le fuel destiné à l'exportation,

➤ **Une unité de séparation du gaz liquide U300 « GAS PLANT »**

C'est l'unité de traitement des gaz (gaz-plant), elle a pour but la séparation du propane et butane venant de l'unité 100 et RFCC afin de les stocker et de les commercialiser. L'unité 300 comprend :

- Un ballon tampon D301,
- Un déméthaniser C301,
- Un ballon séparateur D302,
- Un dépropaniser C302,
- Un ballon séparateur,
- Traitement butane et propane par des tamis moléculaire (C303A et D305 pour C3, C303B et D307 pour le C4).

➤ **Unités MS-Block**

Cette section se compose de trois unités :

- ✓ Unité d'hydrotraitement des naphthas NHT (U-500)

L'unité U-500 est une unité d'hydrotraitement des naphthas, qui permet de retirer les composés indésirables tels que l'eau, les halogènes, les sulfures, le nitrogène, les oléfines et dioléfines, le mercure, l'arsenic, etc. Ces composés peuvent réduire l'efficacité des catalyseurs employés dans les unités en aval d'isomérisation et de reforming CCR. Les conditions de réaction dans cette unité sont d'environ 205-260°C à une pression de 25-45 bars. Cette unité fait le lien entre l'unité de distillation atmosphérique et les procédés de conversion d'essence.

- ✓ Unité d'isomérisation des naphthas (U-510)

Cette unité est dédiée isomérisation des naphthas, afin de convertir les composés C5 et C6 en

leurs isomères respectifs. L'objectif de ce processus est d'obtenir un produit à haut indice d'octane, destiné à être utilisé dans les sections de mélange pour la production des carburants commerciaux élaborés par la raffinerie.

✓ Unité de reforming CCR (U-520)

L'unité de Reforming CCR sera installée en vue de substituer l'unité de reforming catalytique, car elle permet d'obtenir un meilleur rendement et un produit à indice d'octane élevé. A l'aide d'un catalyseur, cette unité a pour but de produire un naphta à haut indice d'octane, afin de le mélanger et obtenir des essences à fort indice d'octane.

➤ **Parc de stockage**

Le parc de stockage de la raffinerie d'Alger est équipé de 53 réservoirs cylindriques d'une capacité totale de 474 500 m³ pour stocker différents produits, ainsi que de 9 réservoirs sphériques d'une capacité de 15 106 m³ pour stocker du propane et du butane.



Figure I.5 : Parc de Stockage de la raffinerie d'Alger

➤ **Unité de craquage catalytique (RFCC)**

Cette unité est conçue pour traiter une quantité annuelle d'un million de tonnes de résidu atmosphérique issu de l'unité de distillation atmosphérique (unité 100), en utilisant un procédé de craquage catalytique à haute température.

Cette unité de craquage catalytique transforme le résidu provenant de l'unité de distillation atmosphérique en composant plus légère. Le fluide résiduel est constitué de molécules comportant de nombreux atomes de carbone (plus de 70) et des structures complexes de cycles et de branches. Il ne peut s'évaporer même à haute température, ce qui le rend inutilisable comme combustible sans avoir été craqué.

➤ **Les principaux objectifs du RFCC**

✓ **Maximiser la production d'essence et de carburants légers**

En raison de la demande élevée en carburants légers tels que l'essence, l'objectif principal peut être de maximiser la production de ces produits. Cela peut aider à répondre à la demande croissante de carburants automobiles dans la région d'Alger et à réduire la dépendance aux importations.

✓ **Optimiser la production de propylène et de butylène**

Les oléfines légères, telles que le propylène et le butylène, sont des matières premières importantes pour l'industrie chimique. En maximisant la production de ces produits, la raffinerie peut contribuer au développement du secteur pétrochimique local et favoriser la création de valeur ajoutée supplémentaire.

✓ **Réduire la dépendance aux importations**

L'objectif peut être de réduire la dépendance aux produits pétroliers importés en augmentant la capacité de conversion des résidus lourds en produits de valeur ajoutée. Cela permettrait d'améliorer la sécurité énergétique et de réduire les coûts liés aux importations.

✓ **Améliorer l'efficacité et la rentabilité de la raffinerie**

L'objectif peut également être d'améliorer l'efficacité globale de la raffinerie en optimisant les paramètres de fonctionnement du RFCC, tels que la température, la pression et la composition du catalyseur. Cela permettrait de maximiser la conversion des résidus lourds et d'optimiser l'utilisation des ressources.

✓ **Optimisation économique**

L'unité de RFCC vise à maximiser les marges bénéficiaires de la raffinerie en transformant les résidus pétroliers en produits de plus grande valeur ajoutée. Cela contribue à la compétitivité de la raffinerie sur le marché et à la rentabilité de ses opérations.

➤ **Les composants de l'unité RFCC**

Les principaux composants de l'unité de RFCC sont :

- Le réacteur de craquage,
- Les colonnes de distillations,
- Les régénérateurs,
- Le système de circulation du catalyseur,
- Les compresseurs,
- Les unités auxiliaires.

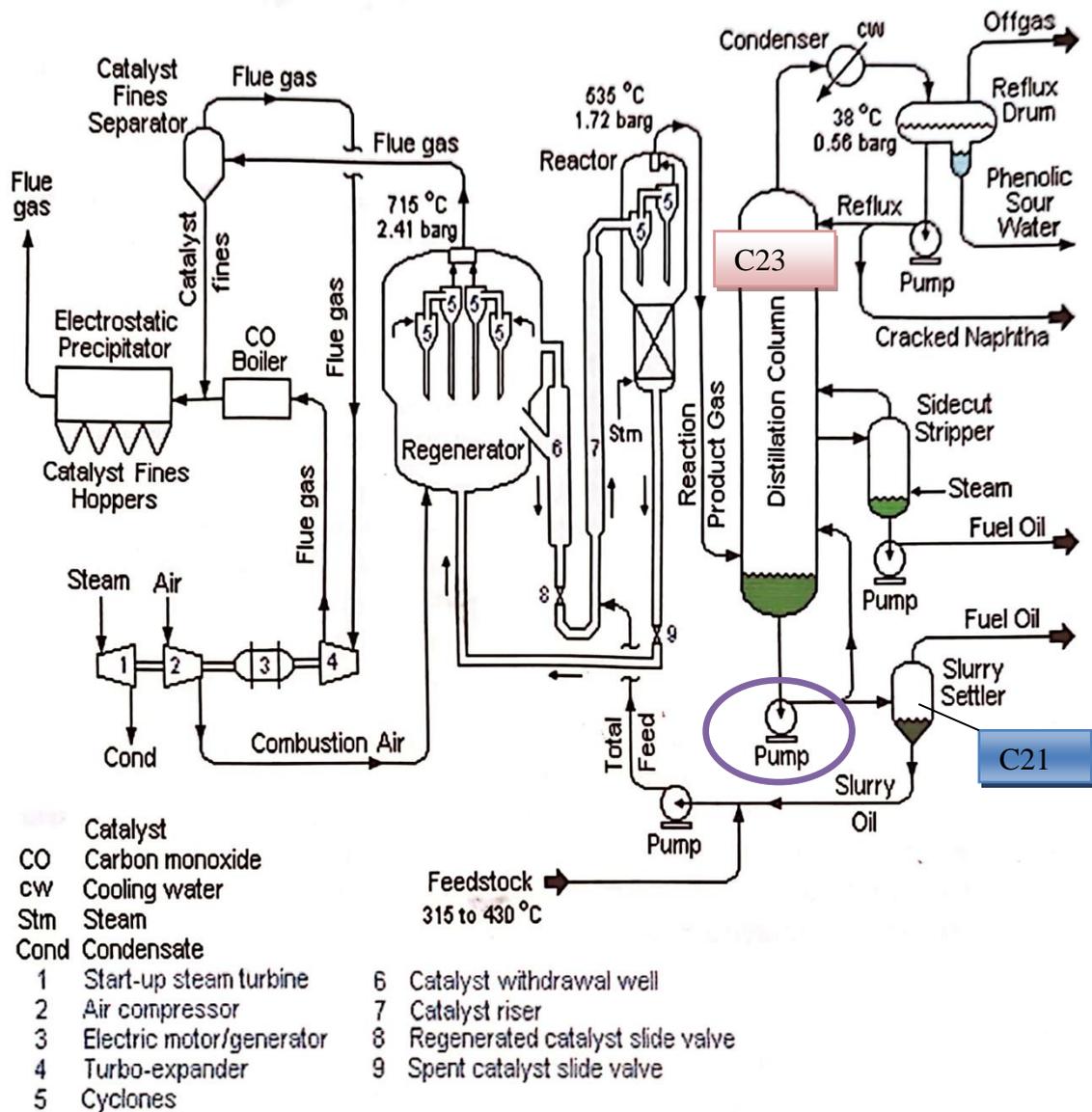


Figure I.6 : Schéma de l'unité RFCC

➤ **Section Sulfure BLOC**

Cette section se compose de quatre unités, à savoir :

- Unité de traitement des gaz acide (fuel-gaz) à l'amine (Unité-560-FGATU),
- Unité de stripage des eaux acide (Unité-570-SWS),
- Unité de régénération de l'amine (Unité-580-ARU),
- Unité de récupération du Soufre (Unité-590-SRU).

➤ **Utilités**

- **Unité de l'eau brute (unité 701)** : L'unité d'eau brute 701 reçoit l'eau brute provenant des puits de forage situés à l'intérieur de la raffinerie et peut également être approvisionnée en eau de la SEAL via un pipeline. Cette unité distribue ensuite l'eau aux divers utilisateurs de la raffinerie.
- **Unité d'eau déminéralisée (unité 720)** : Cette unité procède au traitement de l'eau brute provenant de l'unité 701, située au sein de la raffinerie, en vue de sa conversion en eau déminéralisée.
- **Unité d'eau anti incendie (Unité 741).**
- **Unité 751** : Les systèmes de vapeur et d'eau d'alimentation de chaudière (Unité 751), font partie des nouvelles installations pour la raffinerie d'Alger. Ils sont désignés sous le nom d'unité CPP 751 (centrale de production propre, ou centrale électrique dédiée, c'est-à-dire de production d'électricité pour consommation propre). L'objectif de cette unité est de fournir de la vapeur aux consommateurs situés dans les unités de traitement, ainsi que de produire une eau d'alimentation de Chaudière (EAC) de qualité pour usage interne dans les nouvelles chaudières et sous forme d'EAC Haute Pression (HP) destinée à différentes unités de la raffinerie. De plus, le complexe est équipé d'un turbo générateur à gaz (Gas Turbine Générateur, GTG) et d'un turbo générateur à vapeur (Steam Turbine Générateur, STG), tous deux connectés au système de contrôle commande électrique (Electrical Control System, ECS). Ces turbos générateurs couvrent les besoins électriques de l'ensemble de la raffinerie.
- **Unité de production d'air comprimé (Unité 781)** : L'air comprimé est nécessaire dans la raffinerie pour les besoins suivants : Il sert d'air pour les instruments, assurant le fonctionnement des instruments utilisés dans l'installation et permettant de purger certains tableaux de commande. De plus, l'air comprimé est utilisé pour les robinets d'incendie, la régénération catalytique, le décodage des fours, etc.
- **Torche (Unité 791)** : Le système de torchère collecte et élimine en toute sécurité les

flux de décharge d'hydrocarbures gazeux provenant de la raffinerie d'Alger, ainsi que les liquides qui sont entraînés ou condensés à l'intérieur des conduites de la torchère.

- **Unité de production d'azote (unité 810) :** L'unité de production d'azote comprend une unité de production d'azote gazeux et liquide, ainsi que des installations associées pour le stockage et la vaporisation de l'azote liquide.
- **Unité de polissage des condensats (unité 830) :** Une unité CPU est installée au sein des nouvelles unités de fluides de la raffinerie d'Alger. Cette unité est une installation centralisée dédiée au traitement des condensats pollués générés par diverses unités de traitement de la raffinerie. Les condensats purifiés provenant de l'unité CPU (U-830) sont renvoyés vers les dés aérateur de la nouvelle unité CPP (U-751).
- **Unité de soude caustique et acide chlorhydrique (unité 840) :** Le système de soude caustique est conçu pour satisfaire les exigences de la raffinerie, de même pour l'acide chlorhydrique.
- **Unité de traitement des effluents (Unité 850) :** Cette unité a pour but de traiter l'ensemble des eaux usées produites par l'exploitation de la raffinerie. Ces eaux usées sont rassemblées et traitées au sein de la nouvelle Station de Traitement des Effluents (ETP).

➤ **Salle de contrôle**

Elle assure la coordination et la surveillance globale des différentes unités en termes de fonctionnement technique et de performance.

➤ **Laboratoire**

Son objectif est de contrôler la qualité des charges (pétrole brut, BRI, additifs) et des produits finis destinés à l'enlèvement et la réalisation, l'évaluation et la validation des résultats d'analyses, en conformité avec les normes y afférents.

➤ **PCI**

Son rôle est de veiller à la sécurité des personnes, unité de production et annexes par la mise en œuvre des plans de sécurité et du respect des consignes et des règles y afférents.

➤ **Bloc ADM**

Il a pour objectif de gérer les activités des structures de côté administratives et gestion des ressources humaines, personnel et paie

➤ **La pomperie**

- Port pétrolier d'Alger.
- L'aéroport Houari Boumediene.
- Les dépôts de carburant : *Caroubier, El Harrach* et la *Chiffa*.

Les expéditions des produits finis à partir de la raffinerie se font exclusivement par un réseau oléoducs, chaque oléoduc est muni d'un compteur, ces indications sont retransmises à la salle de contrôle.

Tableau I.1 : Les mouvements des produits entre la raffinerie, les dépôts et le port

PRODUITS	Oléoduc	Dépôts	Destination
Jet A1	10	AVM	<i>Dar El Beida</i>
//	16	AC4	<i>El Harrach</i>
Gas-oil	16	16A	<i>El Harrach</i>
//	16	168A ,168B ,169	<i>Caroubier</i>
CA/SP	16	16A	<i>El Harrach</i>
CA/SP	16	168A, 168B ,169	<i>Caroubier</i>
Fuel	16	A82	<i>Port d'Alger</i>
Naphta	16	Port	<i>Port (navire)</i>
CA/SP	10	<i>Chiffa</i>	<i>Chiffa</i>
Gasoil	10	<i>Chiffa</i>	<i>Chiffa</i>

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la raffinerie de *Sidi-Arcine* à Alger qui mène des activités de raffinage de pétrole brut et de gaz naturel. Nous avons également présenté les différentes unités de la raffinerie ainsi que leurs utilités et fonctionnement. Au cours de notre stage, nous avons pu observer, tout particulièrement, que la fonction pompage à un rôle primordial dans la chaîne de production et que le moindre dysfonctionnement pouvait engendrer une perturbation de l'ensemble de la raffinerie.

CHAPITRE II :
Equipements de circulation :
Pompes

II.1 Introduction

Dans toutes les branches de l'industrie pétrolière, on utilise des pompes. Machines hydrauliques, elles servent à déplacer les hydrocarbures.

Dans un système hydraulique, la pompe occupe une place centrale, comparée au rôle vital du cœur dans le corps humain [3]. Elle assure la circulation du fluide hydraulique à travers des conduites, permettant ainsi le déplacement de charges.

La pompe est donc essentielle car elle est le moteur du circuit hydraulique, fournissant l'énergie nécessaire à son fonctionnement. L'augmentation de la pression du fluide, réalisée par la pompe (Figure II.1), résulte de la conversion de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant la pompe en une augmentation de l'énergie hydraulique du liquide entre son point d'entrée et de sortie [4].

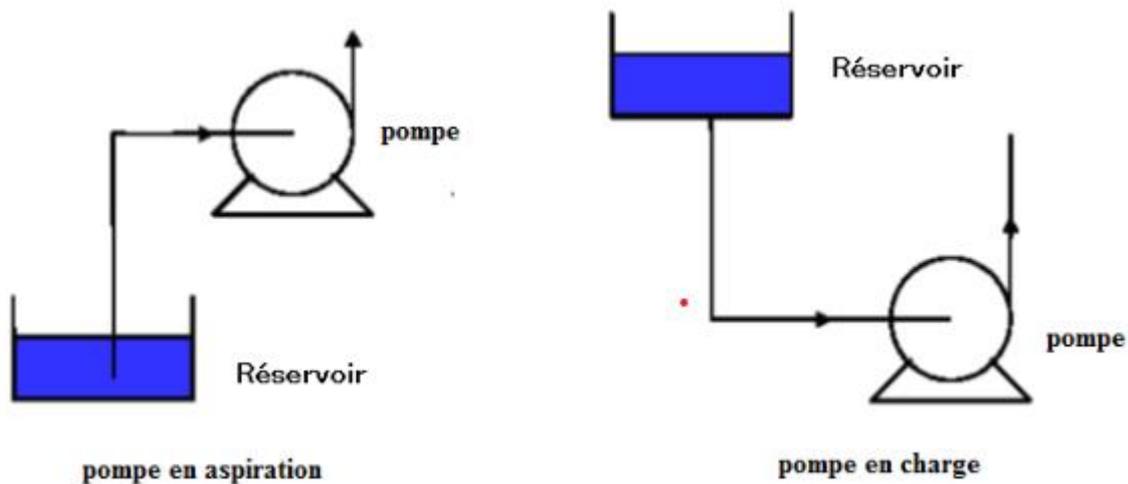


Figure II.1: Montage d'une pompe en aspiration et en charge

Historique des pompes

Lorsque nous considérons les pompes et leur histoire, nous pouvons nous rappeler que, depuis les tous premiers temps, les hommes ont recherché des moyens techniques pour ramener les fluides (notamment l'eau) à un niveau plus élevé. Cette opération était utilisée pour irriguer les champs et remplir les fossés qui entouraient les villes et les châteaux fortifiés. L'illustration suivante est une reconstitution d'une roue à godets chinoise (Figure II-2). Il s'agit d'une roue reliée à des godets en argile qui versent l'eau lorsqu'ils atteignent le sommet.

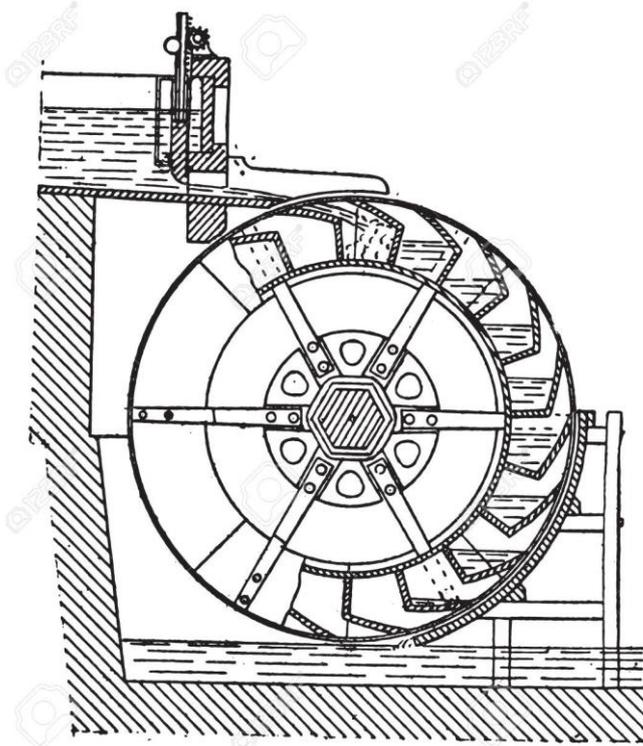


Figure II.2 : Illustration d'une roue à godets chinoise [5].

II.2 Classification des pompes

Les pompes en général (Figure II. 3) se classent en deux grandes familles:

- Les pompes volumétriques,
- Les pompes roto dynamiques.

Dans les pompes roto dynamiques, une roue équipée d'aubes ou d'ailettes et animée par un mouvement de rotation, celles-ci transfèrent de l'énergie cinétique au fluide. Cette énergie est partiellement convertie en pression grâce à une diminution de la vitesse dans un composant appelé récupérateur.

En revanche, dans les pompes volumétriques, l'énergie est générée par les variations successives du volume, qui sont connectées alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Ce processus entraîne généralement un encombrement plus important.

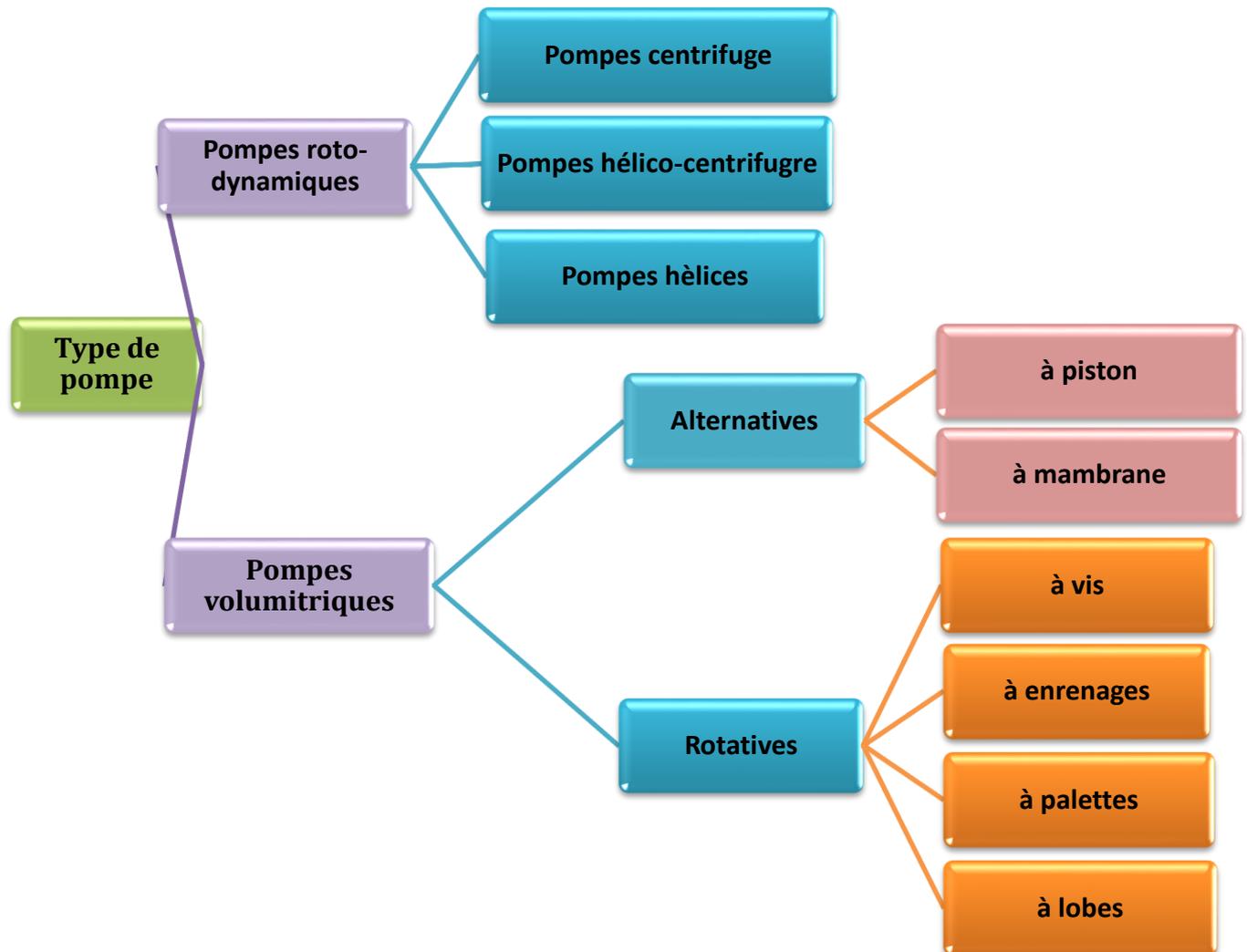


Figure II.3 : Classification des pompes

Le choix entre les pompes volumétriques et les pompes centrifuges dépend des caractéristiques de l'écoulement du fluide (Figure II.4). En règle générale, les pompes volumétriques sont privilégiées lorsque l'objectif est d'accroître la pression du fluide, tandis que les pompes centrifuges sont préférées pour augmenter le débit [6].

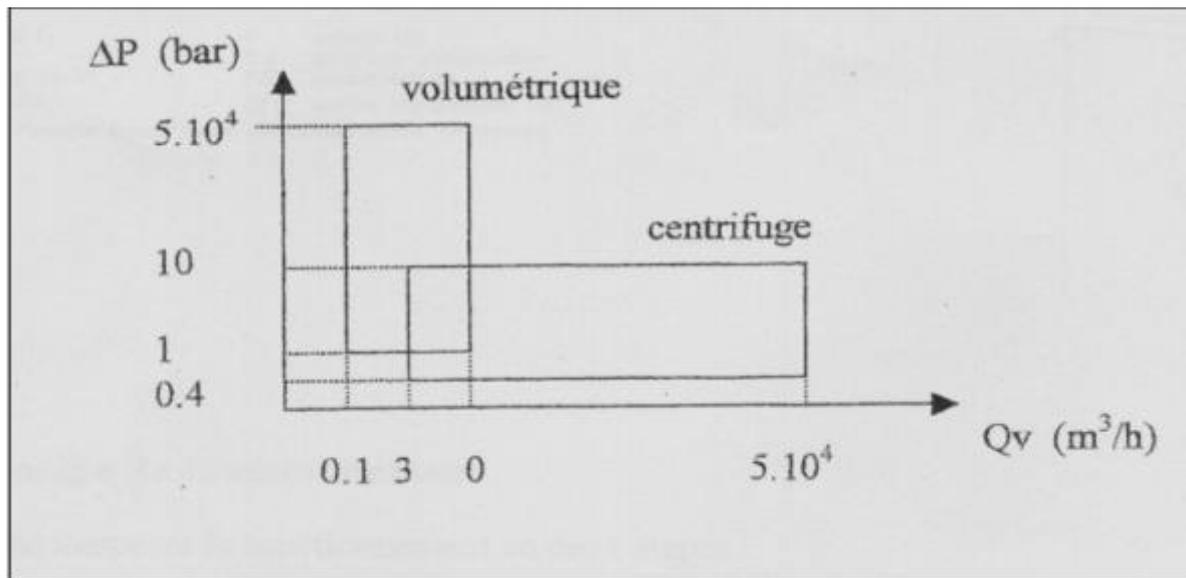


Figure II.4 : Domaine d'utilisation des deux grandes catégories de pompes

II.2.1 Les pompes Roto dynamiques

Une pompe rotative est une machine tournante qui convertit l'énergie cinétique en énergie de pression. Elle transfère une charge du fluide en fonction du débit de fluide qui la traverse, la roue assure l'énergie cinétique du fluide et est alors convertie en pression dans la volute [7]. Nous distinguons dans la famille roto dynamiques :

- Selon la trajectoire du fluide (Figure II.5) :
 - La pompe centrifuge (à écoulement radial)
 - La pompe hélico-centrifuge (à écoulement diagonal).
 - La pompe axiale (à écoulement axiales).

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe. Les pompes centrifuges sont utilisées pour des hauteurs d'élévation importantes (Plusieurs dizaines de mètres).

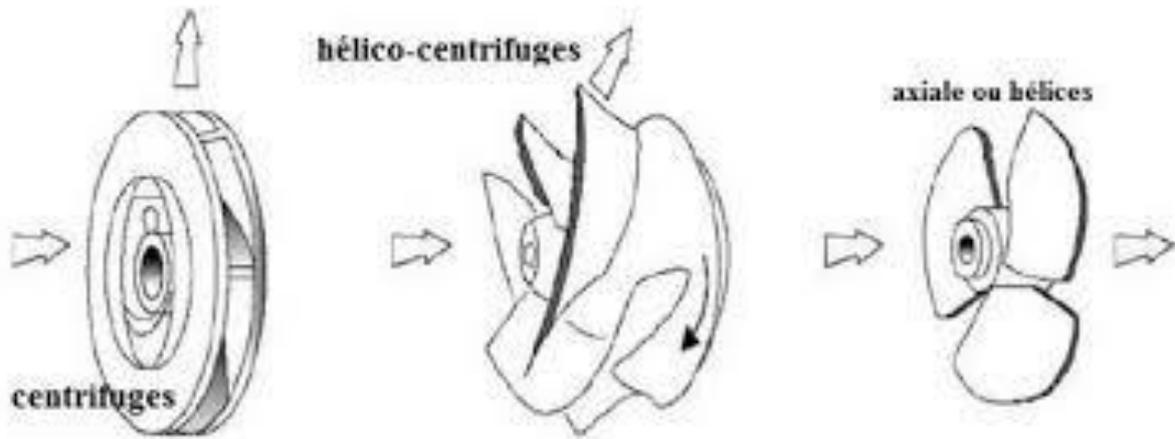


Figure II.5 : Types des roues de pompe (impulseur).

➤ Selon le nombre d'étages (Figure II.6) :

- la pompe monocellulaire: donc une seule cellule (une roue à aube + diffuseur).
- la pompe multicellulaire : Le collecteur de la première cellule dirige l'eau vers le deuxième tour et ainsi de suite. Quand l'eau arrive pour la deuxième fois au niveau de la roue, il arrive avec la première pression modifiée [7]. Ensuite, il reprend le maintien de cette pression à la nouvelle vitesse qui se traduit à nouveau par une pression au contact du diffuseur, ainsi de suite.

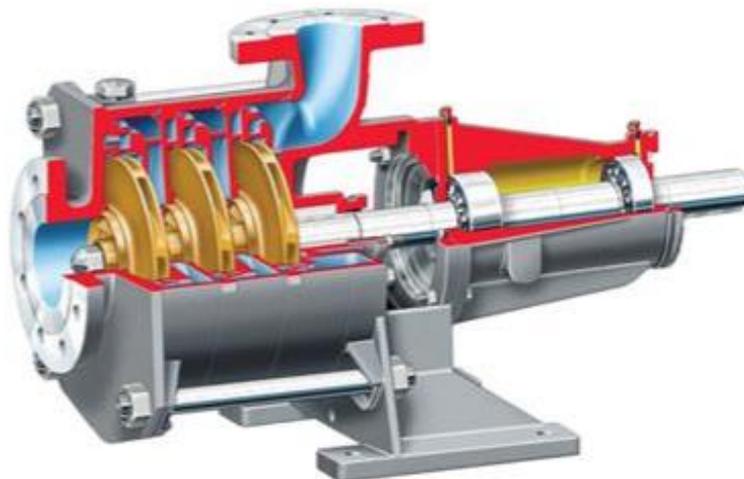


Figure II.6 : Pompe centrifuge multi-étage.

- Selon la disposition de l'axe de la pompe
 - Pompe verticale (Figure II.7),
 - Pompe horizontale.

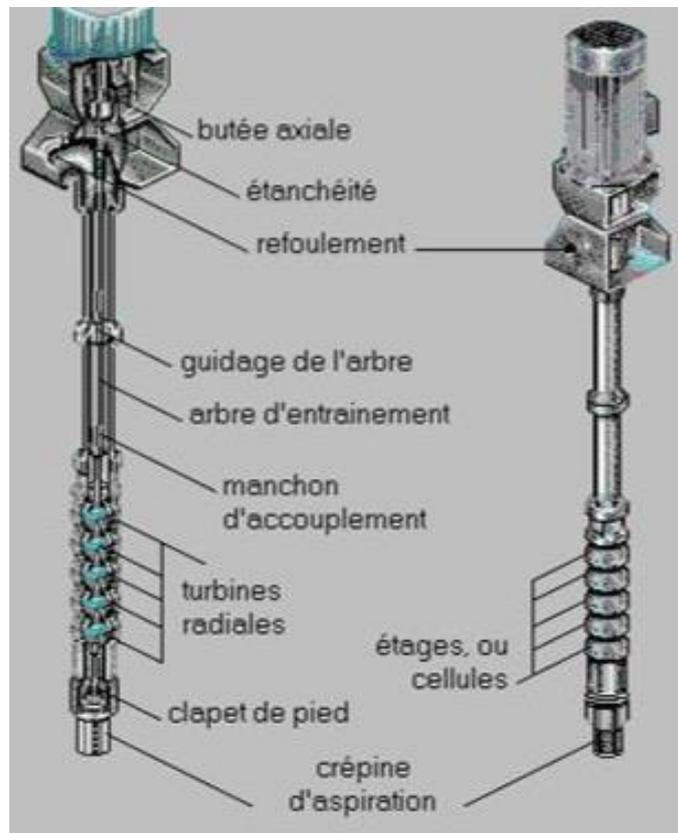


Figure II.7: Vues en éclaté et extérieure d'une pompe verticale

Les avantages et les inconvénients des roto-dynamiques

➤ Les avantages

Pour les avantages, ce sont des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses, elles sont :

- À caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques »
- Elles sont adaptées à une très large gamme de liquides
- Leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux
- En cas de colmatage partiel ou d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater ; la pompe se comporte alors comme un agitateur etc.

➤ Les inconvénients

Pour les inconvénients, nous avons :

- Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux,
- Production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bar),
- Elles ne sont pas auto-amorçantes,
- À l'arrêt, ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (il est nécessaire d'installer des vannes).

II.2.2 Les pompes centrifuges

Définition

Une pompe centrifuge est un système ouvert (Figure II.5), en quelque sorte un trou ou encore un conduit, dans lequel est mis en place un champ de forces centrifuge. Elle n'est pas basée sur le transport du fluide dans un godet ou sur la variation dans le temps d'un volume d'emprisonnement, le fluide n'est plus poussé par une paroi matérielle, mais mis en mouvement et équilibré par un champ de forces.

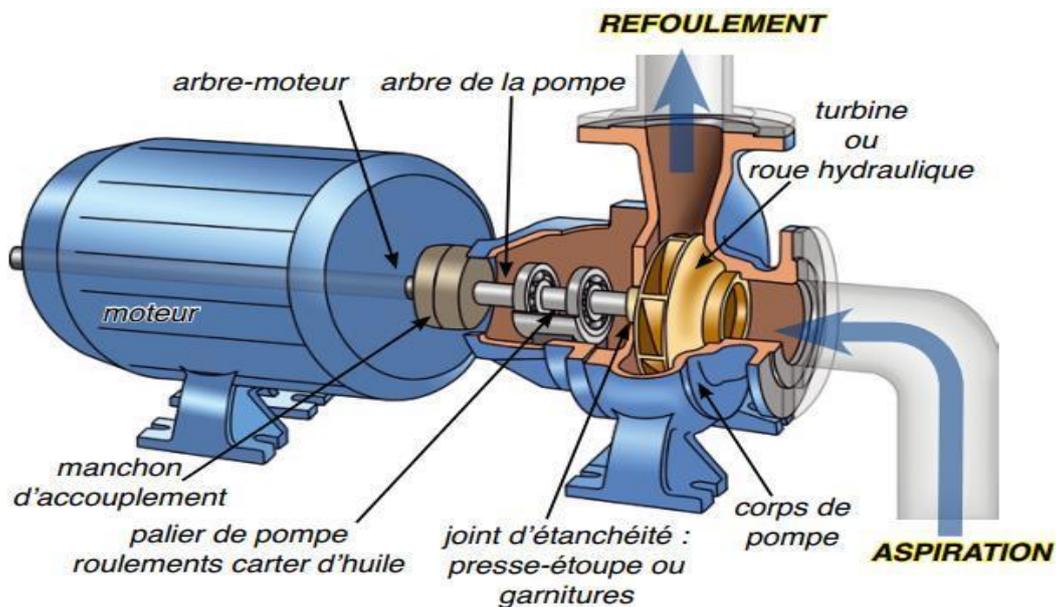


Figure II.8 : Pompe centrifuge.

Description d'une pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont conçues pour transporter des liquides à un débit élevé de refoulement, avec une pression relativement faible par rapport aux pompes volumétriques.

Voici les principaux composants des pompes centrifuges :

- **Le distributeur** : Il s'agit d'un composant statique qui guide le liquide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de l'impulseur. Pour les pompes monocellulaires, il peut simplement s'agir d'une tuyauterie.
- **L'impulseur (rotor)** : Il représente le cœur de la pompe centrifuge, contenant des aubes ou des ailettes qui, grâce à leur interaction avec le liquide, convertissent l'énergie mécanique en énergie de pression dans le récupérateur. L'impulseur est composé du moyeu, de bagues d'étanchéité (d'usure) et des flasques.
- **Le récupérateur (ou l'enveloppe)** : C'est un élément fixe qui récupère le liquide à la sortie du rotor et le dirige vers la section de sortie de la pompe avec la vitesse requise. Le récupérateur se compose généralement de deux parties :
 - Le diffuseur : Il convertit l'énergie cinétique en énergie de pression et régule la vitesse du liquide pour éviter les pertes de charge excessives.
 - La volute : Elle reçoit le liquide du diffuseur, convertit l'énergie cinétique en pression et guide le liquide vers la section de sortie de la pompe.
- **Des dispositifs d'étanchéité internes** : Sont destinés à limiter le retour vers l'aspiration et à réduire les débits de fuite internes.
- **Un système d'étanchéité vers l'extérieur** : Qui a pour fonction d'empêcher une fuite externe ou tout au moins, d'en limiter l'importance. L'étanchéité externe peut aussi être assurée par une garniture mécanique.
- **Chemise de l'arbre** : La chemise est fixée sur l'arbre en interposant une garniture et est maintenue en position au moyen de l'impulseur est insérée dans un logement de chemise et l'empêche de tourner sur l'arbre.

- **Un arbre** : qui a pour fonction de porter la roue, d'assurer son centrage dynamique et de transmettre la puissance
- **Bagues d'usure de l'impulseur** : elles sont installées sur l'impulseur à chaud et fixées en place par des grains [12].

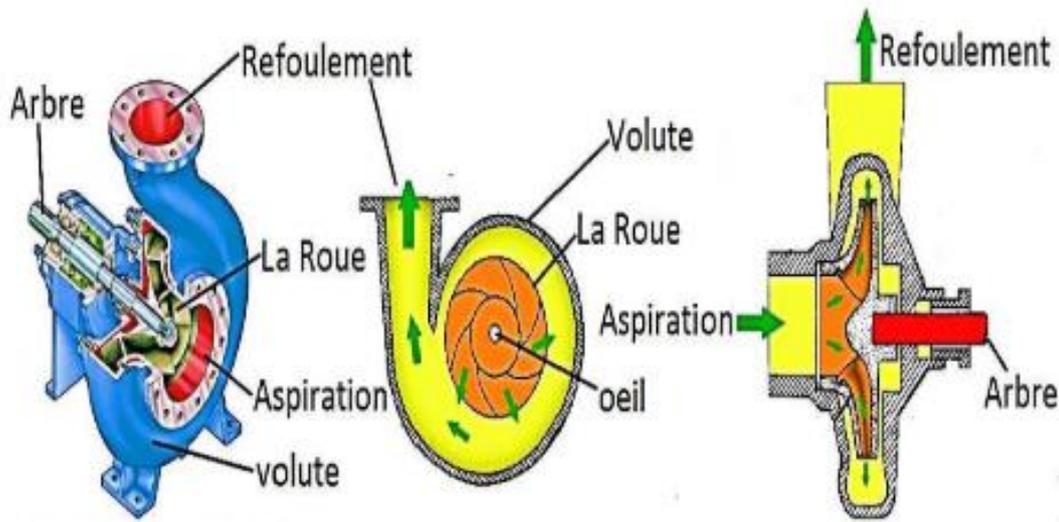


Figure II.9 : Les principales composantes d'une pompe centrifuge

II.2.2.1 Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

La principale caractéristique de la pompe centrifuge consiste à convertir l'énergie d'une source de mouvement (le moteur) d'abord en vitesse (ou énergie cinétique) puis en énergie de pression.

Le fonctionnement est simple, ces pompes utilisent l'effet centrifuge pour déplacer le fluide et augmenter sa pression (Figure II.10). À l'intérieur d'une chambre hermétique équipée d'entrée et de sortie (volute), tourne une roue à aubes, qui convertit l'énergie du moteur en énergie cinétique. Lorsque le liquide entre dans le corps de la pompe, la roue projette le fluide à la périphérie du corps de la pompe grâce à la force centrifuge produite par la vitesse de la roue : le liquide emmagasine ainsi une énergie (potentielle) qui sera transformée en débit et en hauteur d'élévation (ou énergie cinétique). Ce mouvement centrifuge provoque au même moment une dépression capable d'aspirer le fluide à pomper. En connectant ensuite la pompe à la tuyauterie de refoulement, le liquide sera facilement canalisé et atteindra l'extérieur de la pompe.

L'augmentation de la vitesse d'une veine fluide c'est lui faire gagner de l'énergie, l'énergie cinétique. La roue à aube transmet donc une énergie cinétique au fluide. Ralentir une veine fluide, c'est faire diminuer sa vitesse, donc lui faire perdre de l'énergie cinétique. Cette énergie perdue se transforme obligatoirement en une autre énergie, une énergie de pression et cela se matérialise par une augmentation de la pression [8].

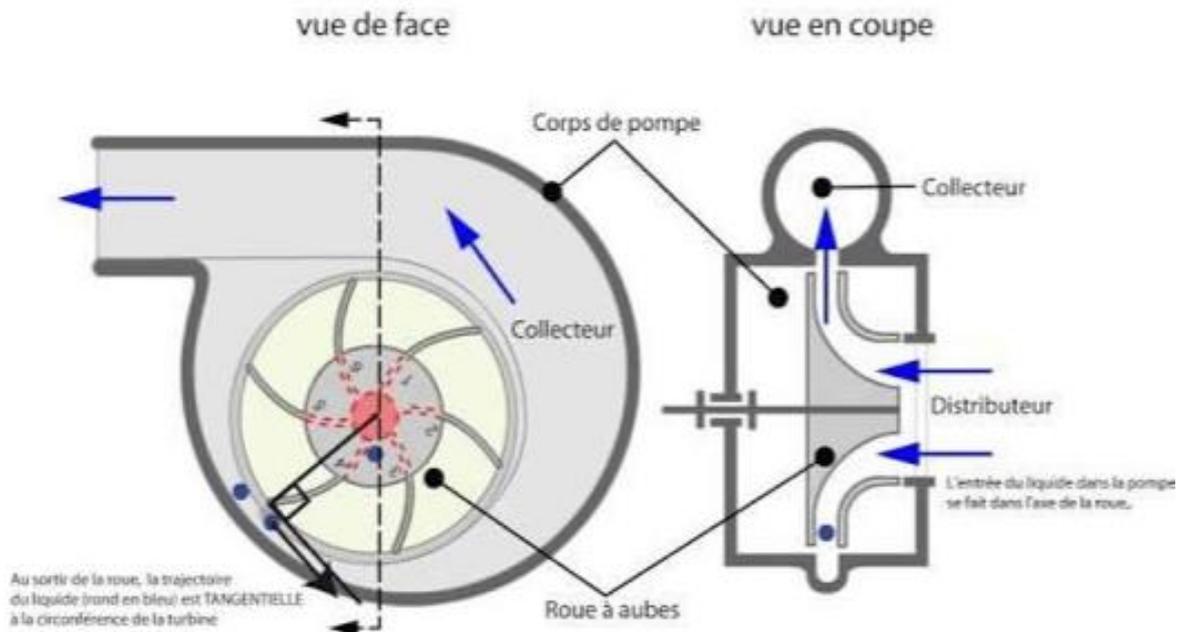


Figure II.10 : Fonctionnement d'une pompe centrifuge

Avantages des pompes centrifuges

Les pompes centrifuges sont appliquées éventuellement au pompage des liquides clairs ou chargés, mais non visqueux. On les trouve généralement dans les complexes de pétrochimie. Les pompes centrifuges ont différents avantages :

- La simplicité de conception et de construction puisque l'entraînement de la partie tournante est réalisé par des moteurs électriques de prix raisonnables,
- Un fonctionnement souple et relativement silencieux,
- L'absence de risque de surpression accidentelle, à l'intérieure de l'appareil l'obstruction de l'orifice de Refoulement n'entraîne qu'un barbotage sans conséquences graves.

II.2.2.2 Choix des pompes

Les critères de choix d'une pompe et de technologie dépendent des facteurs suivants :

- Plage, stabilité et précision de débit
- Capacité à s'adapter à la pression du réseau.
- Coût.
- Capacité d'autoamorçage.
- Encombrement.
- Contraintes liées à la sécurité, à l'environnement.
- Fluide

II.2.2.3 Caractéristiques des pompes centrifuges

Une pompe centrifuge est caractérisée principalement par :

- Sa HMT (Hauteur Manométriques Totale).
- Son rendement.
- Sa puissance.
- Son NPSH.

II.3 Problèmes rencontrés dans les pompes centrifuges

Il existe plusieurs problèmes rencontrés dans les pompe centrifuge, parmi lesquels les phénomènes d'érosion abrasive et la cavitation.

II.3.1 Phénomène d'érosion abrasive

Le phénomène d'érosion des matériaux par des particules solides est un processus assez complexe. Les chocs entre les particules solides et la surface d'un matériau entraînent l'enlèvement de matière caractérisé par la rupture fragile. Les types et les dimensions des fissures qui se forment sur la surface, durant l'impact dépendent de plusieurs facteurs : forme, masse, vitesse des particules, dureté et ténacité du matériau (figure II.11).

Le taux d'érosion dépend du rapport de la dureté de la particule et la dureté du matériau cible. En effet, les particules possédant une faible dureté, par rapport à la surface à éroder, causent beaucoup moins d'usure que les particules dures. Le rapport de dureté des particules et de la cible est appelé l'initiateur de la fissuration.

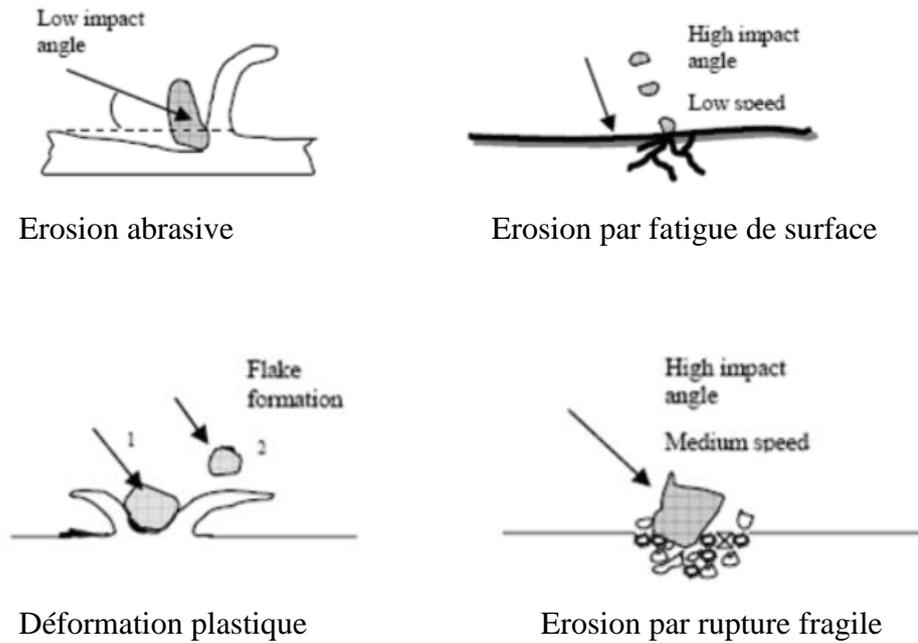


Figure II.11: Comportement des surfaces lors de l'érosion,

en fonction de la ductilité du matériau et de l'angle d'incidence des particules.

Lors des chocs, il y a ébranlement du matériau de la surface et bris du système cristallin, les dégâts sont fonction de l'énergie cinétique, donc de la masse et du carré de la vitesse de la particule. L'enlèvement de matériau croît très vite avec la vitesse et le comportement est très différent selon la nature du matériau. En général, on distingue quatre mécanismes principaux d'érosion par impact des particules solides (Figure II.11), coupe, fatigue, rupture fragile et fusion. Stachowiak et Batchelor (1993) [9] ont suggéré les mécanismes possibles de l'érosion par impact des particules solides : érosion abrasive, fatigue des surface, rupture fragile, déformation ductile, fusion de surface, érosion macroscopique et érosion atomique.

- Si ce dernier est ductile, on trouve des rides annulaires très écrouies et cassantes et la vitesse d'usure passe par un maximum pour des angles d'incidence de 20 à 30° ;
- S'il est très dur et fragile, on ne trouve que des craquelures et l'usure augmente continûment avec l'angle d'incidence.

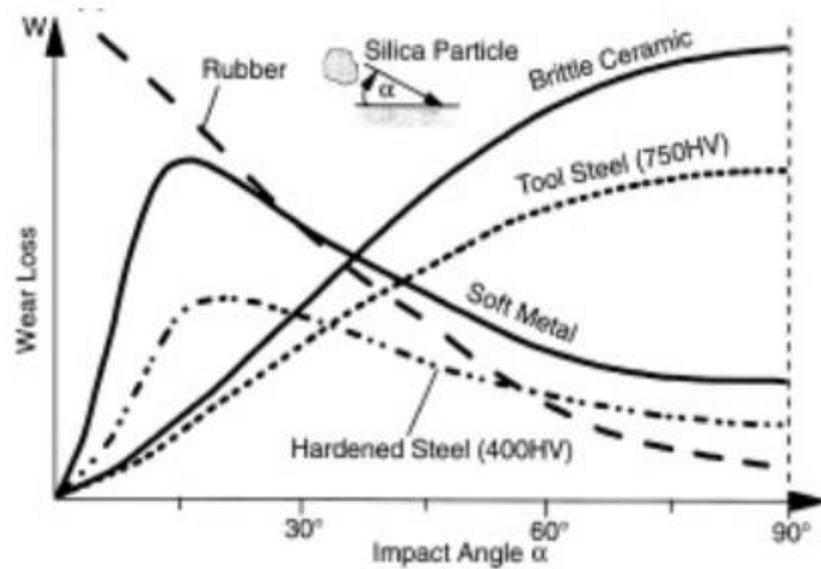


Figure II.12: Influence de l'angle d'incidence des particules sur le taux d'usure.
(En fonction du matériau)

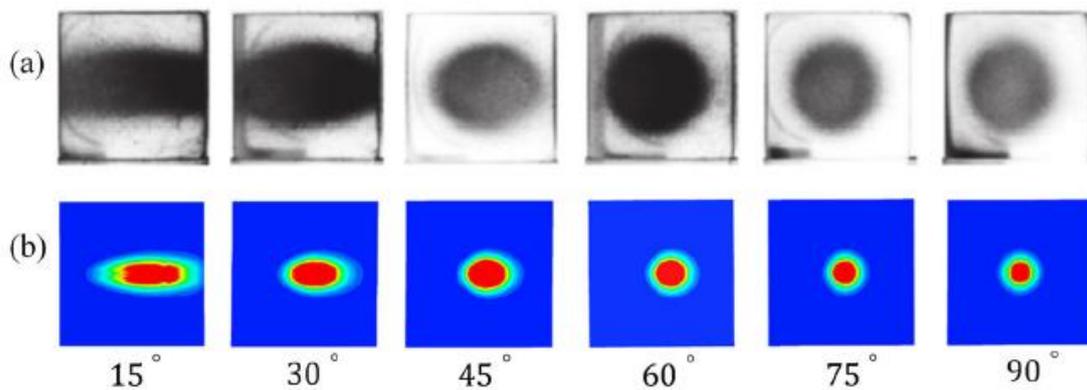


Figure II.13 Caractéristique de l'érosion (a) calculé et (b) simulé [10].

La résistance à l'érosion abrasive dépend de la dimension du grain abrasif et de sa forme, de la charge appliquée, de la vitesse de glissement et de la structure du métal.

Généralement l'abrasion est réduite en augmentant la dureté superficielle de la matière sur une profondeur importante ; pour cela, des traitements thermiques de surface sont souhaités. On préconise de donner une dureté maximale à la pièce qui est en mouvement devant la zone de contact et une dureté plus tendre pour l'autre pour pouvoir absorber les particules abrasives la rendant inopérantes.

II.3.2 Causes de l'érosion abrasive dans une pompe

L'érosion abrasive est un phénomène mécanique qui provoque l'usure progressive des matériaux par le frottement et l'impact de particules abrasives. Ces particules, généralement dures et résistantes, peuvent être présentes dans un fluide ou transportées par un gaz. Elles agissent comme des micro-sablages, enlevant de minuscules fragments de matériau à chaque impact.

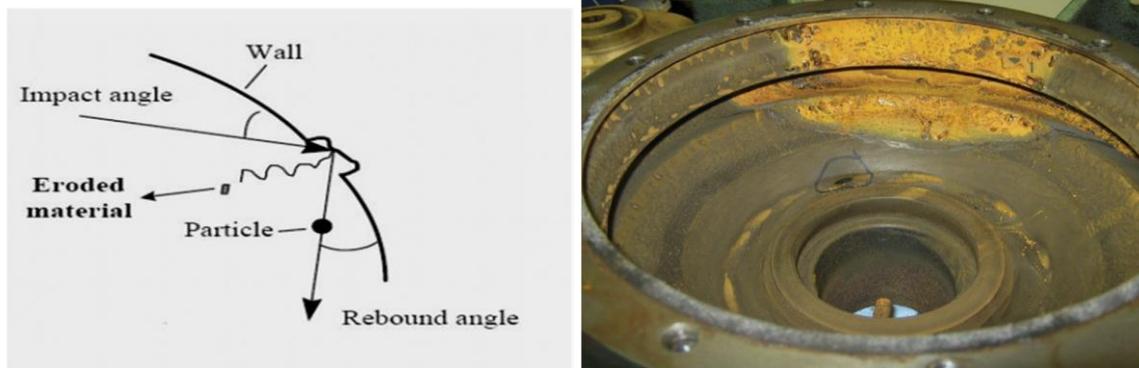
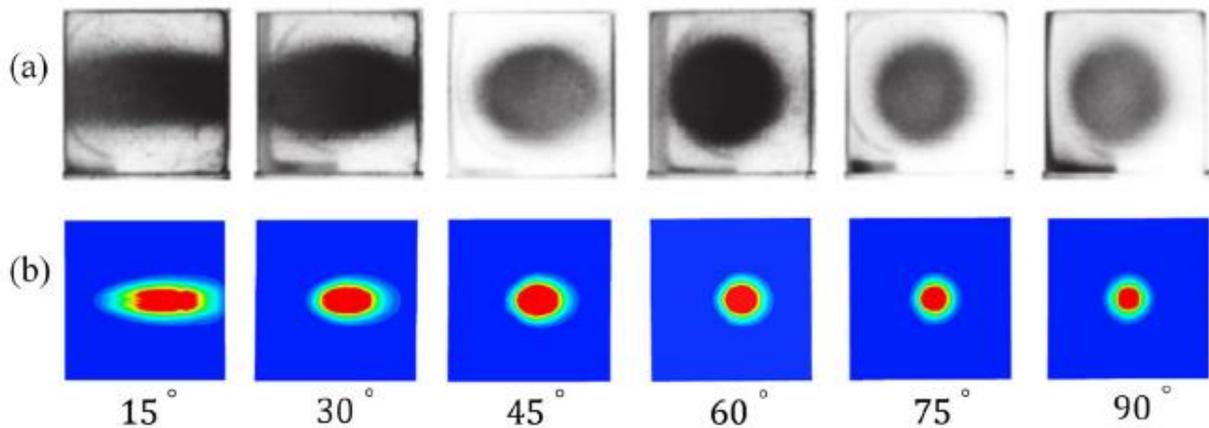


Figure II.14 Usure par érosion du corps de pompe [11].

Les causes de l'érosion abrasive peuvent être classées en deux grandes catégories :

➤ **Causes liées aux particules abrasives**

- **Nature des particules** : La dureté, la résistance à l'usure, la forme et la taille des particules abrasives influencent significativement l'érosion. Des particules plus dures, plus résistantes, anguleuses et de taille plus importante causeront une érosion plus importante.
- **Concentration des particules** : Une concentration élevée de particules abrasives dans le fluide où le gaz accélère le processus d'érosion.
- **Vitesse des particules** : La vitesse d'impact des particules sur le matériau cible est un facteur déterminant. Plus la vitesse est élevée, plus l'érosion sera importante.
- **Angle d'impact** : L'angle d'impact des particules sur le matériau a également un effet sur l'érosion. Un impact direct (angle de 90°) provoque une érosion plus importante qu'un impact oblique.



➤ **Causes liées au matériau cible et aux conditions d'écoulement**

- **Propriétés du matériau** : La dureté, la résistance à l'usure, la structure et la composition du matériau cible influencent sa sensibilité à l'érosion abrasive. Des matériaux plus tendres, moins résistants à l'usure et avec une structure poreuse seront plus sensibles à l'érosion.
- **Rugosité de la surface** : Une surface rugueuse du matériau cible favorise l'érosion en accroissant la surface de contact avec les particules abrasives.
- **Écoulement du fluide ou du gaz** : Le type d'écoulement (turbulent, laminaire) et la vitesse du fluide ou du gaz influencent la trajectoire et l'impact des particules abrasives sur le matériau.

II.3.3 Les effets de l'érosion abrasive sur les matériaux

L'érosion abrasive a plusieurs effets néfastes sur les matériaux, parmi lesquels :

- **Dégradation de la surface**, l'érosion abrasive provoque une dégradation progressive de la surface des matériaux sous l'effet du frottement des particules solides entraînées dans un fluide. Le fluide provoque une abrasion locale de la couche superficielle (Figure II.14(a)), mettant progressivement le métal à nu ;
- **Accélération de la corrosion**, l'action simultanée de la corrosion et de l'usure par érosion, appelée corrosion-érosion, peut accélérer significativement la dégradation des matériaux (Figure II.14(b)) ;
- **Vitesse critique d'écoulement**, lorsque la vitesse d'écoulement d'un fluide dépasse une valeur critique, on observe une forte accélération de la corrosion, même en l'absence de particules, par la seule action mécanique du fluide sur la paroi. Cette vitesse

critique dépend de la contrainte de cisaillement critique qui provoque une détérioration de la surface ;

- **Influence de la rugosité**, la rugosité de surface a une influence importante sur le processus de corrosion-érosion. Une paroi rugueuse subit une corrosion-érosion plus importante qu'une paroi lisse. La rugosité favorise la turbulence de l'écoulement et augmente les contraintes de cisaillement.

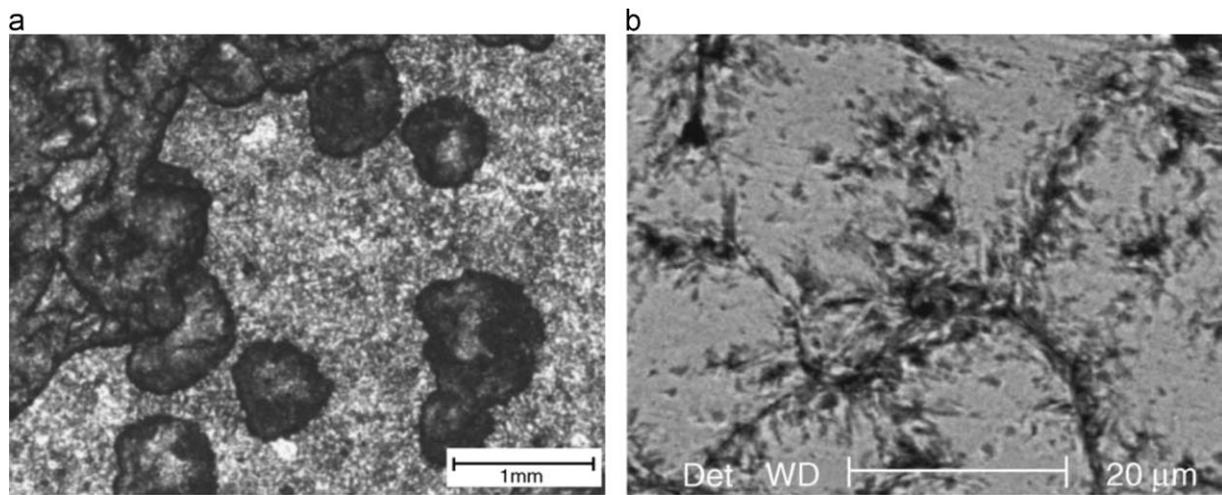


Figure II.15 (a) érosion et (b) corrosion inter-granulaire, provoqués par le contact du Slurry dans les pompes [11].

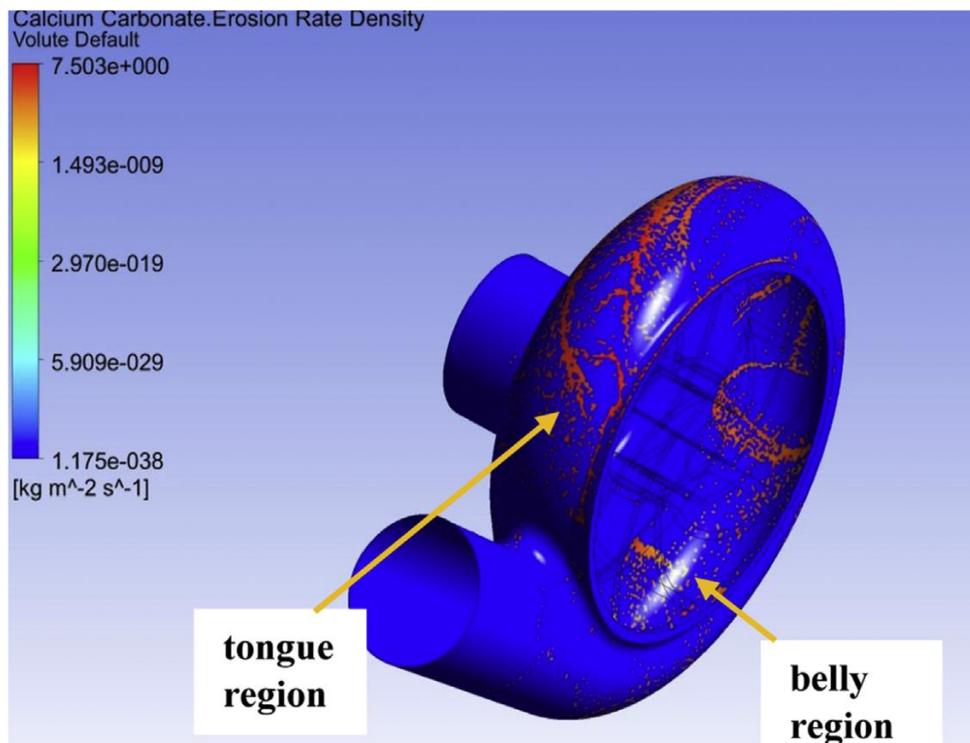


Figure II.16 Densité d'érosion dans le corps d'une pompe centrifuge à Slurry [11].

En résumé, l'érosion abrasive dégrade progressivement les surfaces, accélère les phénomènes de corrosion, et son effet est amplifié par la turbulence de l'écoulement et la rugosité des parois. Elle peut conduire à une usure prématurée des équipements, particulièrement les pompes.

CHAPITRE III :

Exploitation et maintenance

du secteur pompage

III.1 Introduction

De nos jours, la gestion de la production dans les entreprises est étroitement liée à celle de la maintenance. Pour toute entreprise, l'objectif primordial est de réduire les coûts de production en minimisant les temps d'arrêt des équipements. La présence d'un service de maintenance est justifiée par la nécessité d'assurer la disponibilité continue des installations, permettant ainsi aux opérations de fonctionner à pleine capacité et d'atteindre un rendement optimal. Les coûts associés à la maintenance représentent désormais une part significative du coût total de production, soulignant ainsi l'importance cruciale du service de maintenance au sein des entreprises.

Définition

Étymologiquement, le terme "maintenance" trouve ses origines dans le latin "manuteneure" (de "manu", main, et "teneure", tenir), initialement utilisé pour décrire l'action de maintenir les troupes militaires en état après les combats. Au fil du temps, son sens s'est étendu pour englober une activité technique et générale.

La maintenance consiste donc à réaliser diverses tâches (telles que le nettoyage, la lubrification, les inspections, les réparations, les révisions, les améliorations, etc.) afin de préserver les performances des équipements, garantissant ainsi la continuité et la qualité de la production. Elle implique également de choisir les meilleures méthodes pour prévenir, corriger ou moderniser en fonction de l'utilisation des équipements. L'approche de la maintenance est axée sur la maîtrise précise des interventions.

Selon la norme AFNOR X6O-010, la maintenance englobe l'ensemble des actions visant à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié ou capable d'assurer un service déterminé.

Maintenir : qui suppose un suivi et une surveillance

Rétablir : qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut

Etat spécifié et service déterminé : qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance

Coût optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique

III.2 But de la maintenance

Les objectifs de la maintenance [12], comprennent :

- Préservation du capital machine
- Élimination des arrêts imprévus et des baisses de production (assurant la capacité de livraison),
- Renforcement de la sécurité et de la protection de l'environnement.

III.3 Types de maintenance

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect Correctif.

Les paragraphes suivants proposent des définitions détaillées de ces deux types de maintenance.

III.3.1 La maintenance corrective

Selon la norme AFNOR X 60-010, intervient après une défaillance et est caractérisée par son caractère imprévisible. Elle nécessite des ressources humaines qualifiées ainsi que des pièces de rechange et de l'outillage disponibles sur place. Cette forme de maintenance comprend deux types d'intervention : la maintenance palliative, qui assure une solution temporaire, et la maintenance curative, qui propose une solution permanente.

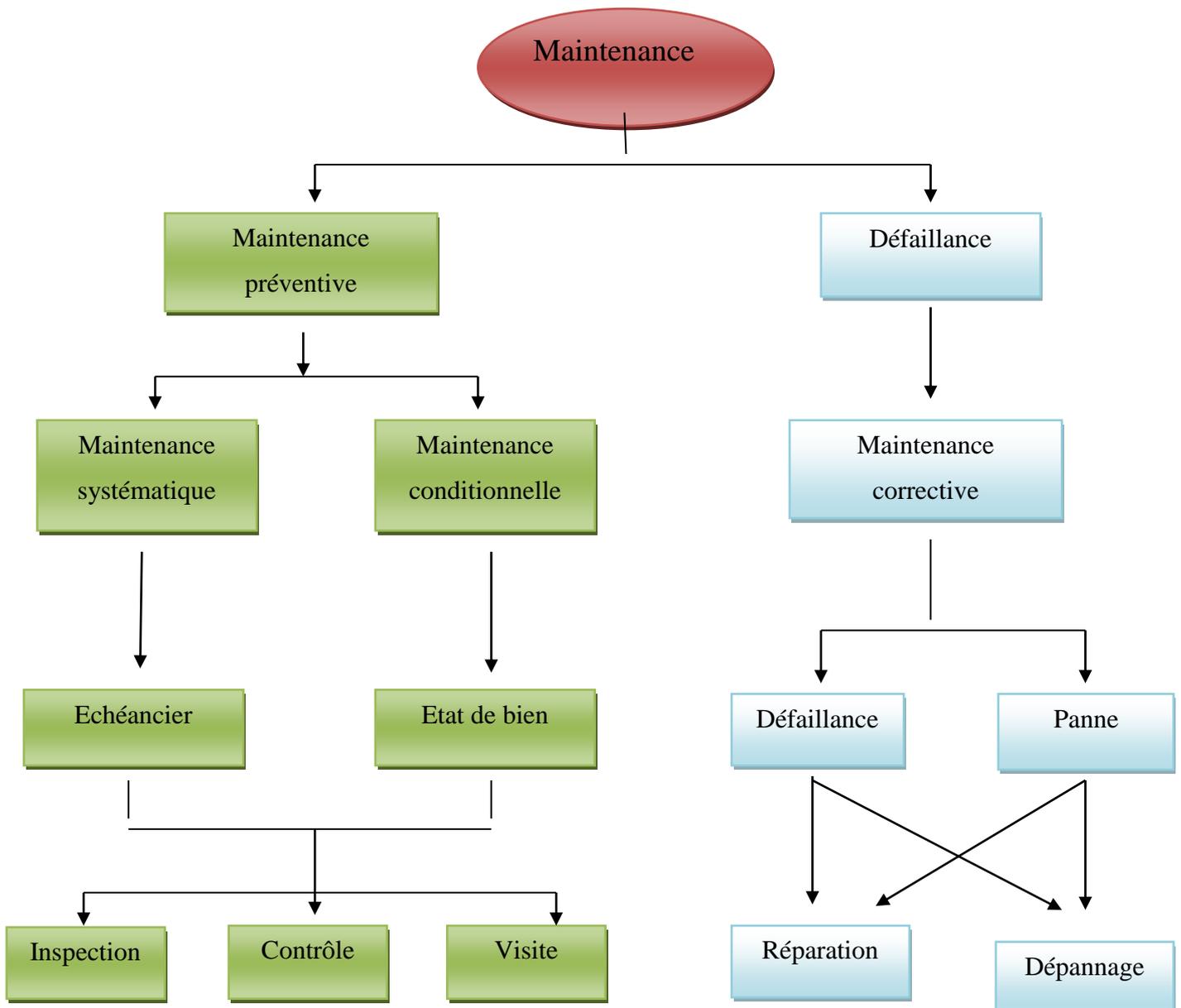


Figure III.1 : Organigramme de la maintenance

III.3.1.1 Les actions de maintenance corrective

➤ **Le dépannage**

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

Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation est la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps.

Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance (pour en mesurer son efficacité) prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt [13].

➤ **La réparation**

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique. Remarque : la réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu. Tous les équipements sont concernés

III.3.1.2 Le temps en maintenance corrective

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention :

- Elle peut être faible (de quelques secondes pour réarmer un disjoncteur ou changer un fusible à quelques minutes pour changer un joint qui fuit).
- Elle peut être très importante (de 0,5 à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation).

III.3.2 La maintenance préventive

Visée à réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service. Les activités correspondantes sont planifiées selon un calendrier basé sur un nombre préétabli d'unités d'usage (maintenance systématique) ou sur des critères déterminants l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

III.3.2.1 Opérations de la maintenance préventive

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

- **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).
- **Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.
- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.
- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence Ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4. Les trois premières opérations sont encore appelées « opérations de surveillance ». Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien. On accepte donc de payer pour sa voir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, Chapitre I Etude bibliographique sur la maintenance 4 calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage.
-

III.3.2.2 Les objectifs de la maintenance préventive

Les Objectifs de la maintenance préventive son :

- Prolonger la durée de vie du matériel.
- Réduire les risques de pannes pendant l'utilisation.
- Minimiser les temps d'arrêt pour les révisions ou réparations.
- Anticiper et prévenir les coûteuses interventions de maintenance corrective.
- Faciliter la planification des actions de maintenance corrective.
- Limiter les surconsommations d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Améliorer les conditions de travail pour le personnel de production.
- Réduire les dépenses liées à la maintenance.
- Éliminer les sources potentielles d'accidents graves

III.3.2.3 La maintenance préventive systématique

Suit un calendrier établi en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage, conformément à la norme AFNOR. Les périodes de remplacement sont déterminées selon deux approches : la méthode par bloc, qui recommande le remplacement de l'équipement après des périodes de temps prédéfinies (T, 2T, etc.), indépendamment de son âge ou de son état, et la méthode par âge, qui suggère le remplacement de l'équipement en fonction de son âge ou après un certain nombre d'unités de temps de bon fonctionnement [14].

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries.

Exemples d'application

- Matériels assujettis à des réglementations de sécurité strictes : engins de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.
- Équipements présentant un risque d'accidents graves en cas de défaillance : transports en commun de personnes tels qu'avions, trains, etc.

- Équipements avec un coût élevé en cas de panne : composants d'une ligne de production automatisée, processus industriels en continu (industries chimiques, métallurgiques, etc.)
- Matériels dont les coûts de fonctionnement deviennent excessifs avec le temps : surconsommation d'énergie, éclairage par des lampes défectueuses, mauvais réglage de l'allumage et de la carburation (moteurs thermiques), etc.

III.3.2.4 La maintenance préventive conditionnelle

On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé). C'est la maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc...). La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles de meurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs. Tout le matériel est concerné ; cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité du matériel électrique.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.
- Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis, il est rentabilisé rapidement.

III.3.3 La maintenance prédictive

Également appelée prévisionnelle, repose sur l'analyse surveillée [15] ; de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant ainsi de prédire et de planifier les interventions nécessaires

III.4 Critères de choix de la maintenance

Le choix de la forme de maintenance se fera en fonction de plusieurs critères :

- Connaissance sur le comportement du matériel
- Historique
- Banques de données et retour d'expériences

L'organigramme suivant [12] décrit l'algorithme de choix des types de maintenance convenable après une anomalie.

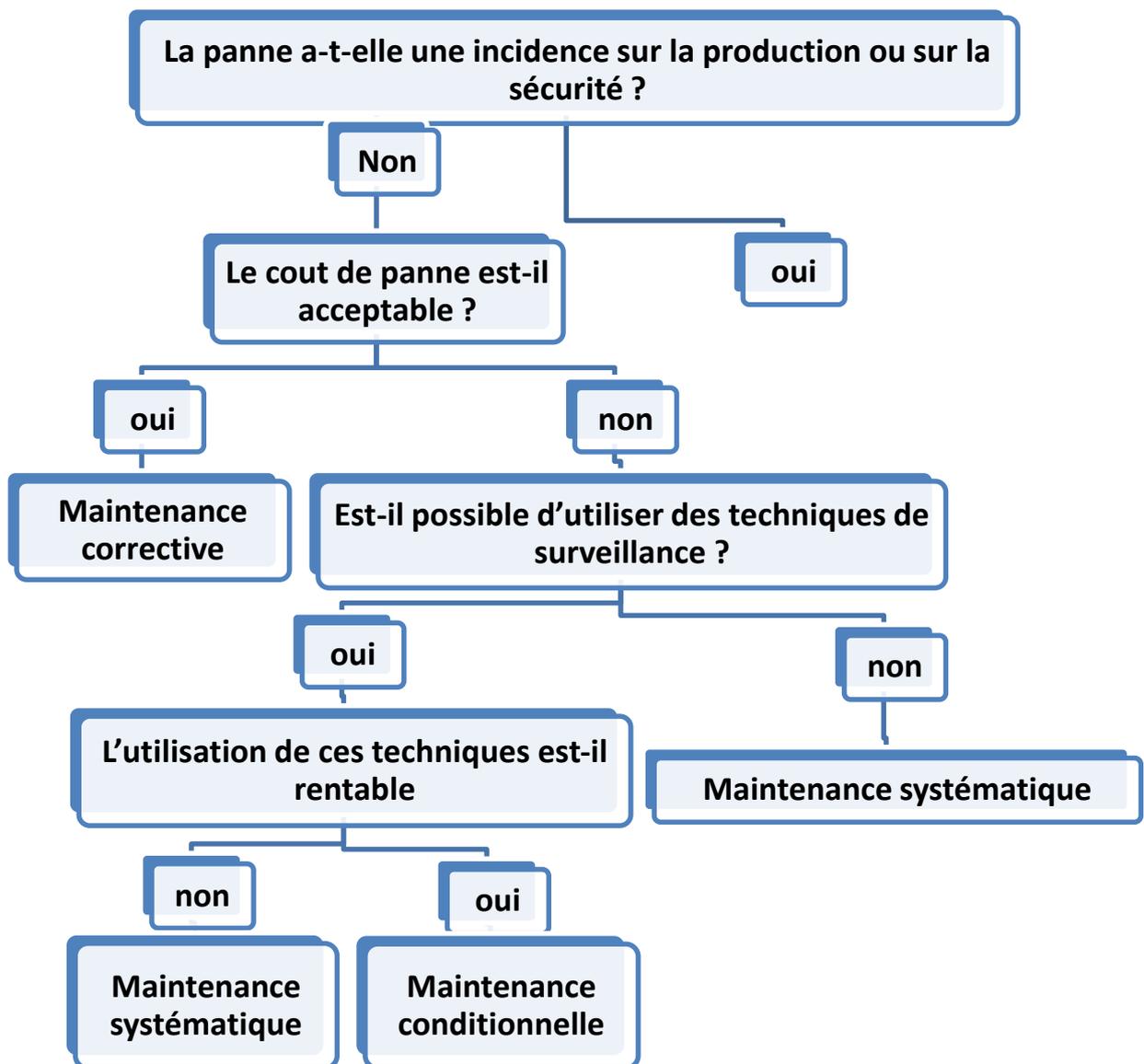


Figure III.2 : Organigramme de choix de maintenance

III.5 Les fonctions d'un service maintenance**➤ La Fonction Méthode**

La fonction Méthode est le cerveau de tout service de maintenance, car elle établit les directives essentielles :

- Quelles actions doivent être entreprises, par qui, et de quelle manière ;
- Les approches et techniques à utiliser lors des interventions ;
- Les équipements nécessaires et les normes à respecter pour l'entretien ;
- La gestion et l'utilisation des documents techniques et historiques ;
- L'élaboration des stratégies d'entretien.

Elle planifie également les ressources requises (matérielles et humaines) ainsi que les intervalles d'intervention.

➤ La fonction d'ordonnement

Consiste à réunir les ressources nécessaires pour rendre les travaux réalisables. Elle établit la planification des travaux, en suit l'avancement et veille au respect des délais. Cette fonction définit également les besoins en main-d'œuvre et centralise les informations relatives aux travaux.

➤ La fonction de préparation

Bien qu'elle découle de la fonction méthodes, consiste à déterminer le processus des différentes phases du travail, les moyens nécessaires, les durées opératoires et à préparer la main-d'œuvre.

➤ La fonction de lancement

Assure la répartition du travail selon un planning établi en fonction de la charge, et elle gère et dirige les travailleurs pour garantir une exécution efficace des tâches. Elle supervise également le personnel et assure son orientation.

➤ **La fonction d'exécution**

La fonction d'exécution est l'aspect opérationnel de la maintenance. Elle consiste à remettre en route les machines en effectuant les interventions nécessaires. Son objectif est de garantir le niveau de qualité requis dans les délais prévus, à la date fixée et dans des conditions de sécurité optimales.

➤ **La fonction de gestion des stocks**

Sa première responsabilité est de prévoir les besoins de l'usine en articles courants du magasin de maintenance et en pièces de rechange spécifiques aux installations de production. Elle détermine les quantités à réapprovisionner en fonction du niveau des stocks, des consommations et des délais de livraison.

➤ **La fonction de gestion des coûts vise**

À augmenter la rentabilité de l'entreprise en réduisant les coûts de maintenance. Pour y parvenir, il est crucial de bien connaître les coûts associés à la maintenance.

III.6 Les niveaux de maintenance

Les interventions de maintenance ne sont pas uniformes. De manière générale, elles sont catégorisées en cinq niveaux selon les critères définis par l'AFNOR X600-010. Ces critères comprennent la complexité des opérations à effectuer, le niveau de qualification des intervenants, la définition des procédures d'intervention et les outils nécessaires.

- **Au premier niveau**, il s'agit de réglages simples spécifiés par le fabricant, réalisables à l'aide d'organes accessibles sans nécessiter de montage ou de remplacement d'équipements, et cela en toute sécurité.
- **Le deuxième niveau** concerne le dépannage par échange standard d'éléments ou la réalisation de petites opérations de maintenance préventive.
- **Pour le troisième niveau**, il s'agit de l'identification et du diagnostic des pannes, de la réparation par échange de composants fonctionnels et de la réalisation de réparations mécaniques mineures.
- **Au quatrième niveau**, les interventions consistent en des travaux de maintenance corrective ou préventive plus importants.

Le cinquième niveau englobe les travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation majeure qui sont confiés à un atelier central pour leur exécution.

Tableau III.1 : Les niveaux de la maintenance [5].

Niveau	Opération	Intervenant	Procédure	PR et Outillage
1	-Réglages simples -échanges (voyant)	Opérateurs	Instructions d'utilisation	Sans outillage
2	-Dépannages -Maint préventive	Maintenance (tech, habilité)	Instruction de maintenance	Outillage et PR portable
3	-Diagnostic des pannes -Réparation mineure -Maint préventive	Maintenance (tech. spécialisé)	Instruction de maintenance	Instrument de mesure
4	Travaux important maintenance préventive ou corrective	-Atelier de maintenance -Société spécialisée	Instruction de maintenance Doc. spécifiques	Outillage important et PR spécifiques
5	-Rénovation -Reconstruction -Réparation importante -Révision générale	-Constructeur -Société spécialisée	Importantes	Importantes

III.7 Le rôle de la maintenance

La maintenance industrielle joue un rôle crucial dans le processus de production, intervenant à chaque étape du cycle de vie des équipements industriels

Le service de maintenance doit appliquer la politique de maintenance établie par la direction de l'entreprise. Cette politique vise à optimiser les performances des systèmes de production. Toutefois, tous les équipements ne requièrent pas le même niveau d'attention en termes de maintenance. Dans ce contexte, le service de maintenance doit élaborer des stratégies adaptées à chaque situation, tout en s'alignant sur la politique globale. Cela implique également la capacité à anticiper les besoins spécifiques en matière de maintenance grâce à des prévisions ciblées.

- **Prévisions à long terme** : Elles englobent les investissements importants et les projets à longue durée. Ces prévisions sont généralement déterminées par la stratégie globale de l'entreprise.
- **Prévisions à moyen terme** : La maintenance doit s'intégrer harmonieusement dans le planning de production, en agissant de manière préventive et en anticipant autant que possible ses interventions en fonction des programmes de production. De même, la planification de la production doit prendre en compte les exigences de suivi des équipements.
- **Prévisions à court terme** : Elles peuvent couvrir des périodes allant de la semaine à quelques heures. Même dans ces situations, afin de limiter les perturbations sur la production [16], les interventions de maintenance doivent être préparées avec soin et planifiées de manière efficiente.

III.8 Les objectifs de la maintenance

La définition des objectifs ne peut se faire qu'en concertation avec la direction technique et les services de production ou d'exploitation

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

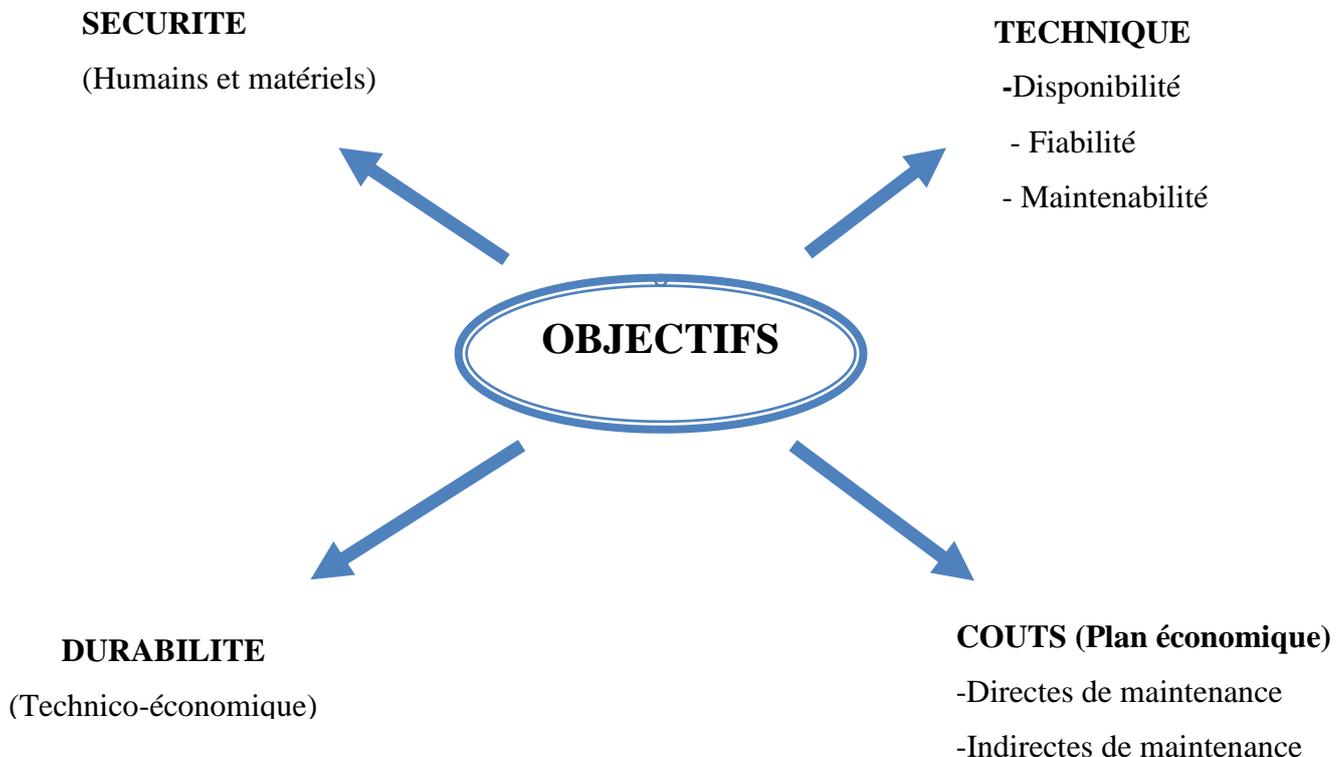


Figure III.3 : Principaux objectifs de la maintenance

Objectifs opérationnels

Les objectifs opérationnels attendus par le service maintenance [17], sont :

- Prolonger la durée de vie des équipements de production autant que possible,
- Améliorer les conditions de travail du personnel opérationnel,
- Assurer une disponibilité maximale des équipements de production à un coût raisonnable.
- Mettre en place un service réactif capable de prévenir les pannes à tout moment.
- Réduire les temps d'arrêt lors des révisions ou des pannes.
- Minimiser la probabilité de défaillance pendant le fonctionnement.
- Maintenir les équipements dans un état satisfaisant.
- Prioriser la maintenance des installations.
- Maximiser le rendement des équipements.
- Faciliter la prise de décision concernant la maintenance corrective dans des conditions optimales.
- Éliminer les causes potentielles d'accidents graves
- Éviter les gaspillages d'énergie, de lubrifiants, etc.
- Prévenir et anticiper les interventions de maintenance corrective coûteuses.
- Réduire au minimum les coûts de maintenance.
- Minimiser les temps d'arrêt de production.

III.9 Place du service maintenance dans l'entreprise

Le service de maintenance occupe une place cruciale au sein de l'entreprise. En effet, au fil du temps, les installations et équipements sont soumis à diverses formes de détérioration, qu'il s'agisse de déformations liées au fonctionnement ou de l'action de substances corrosives.

Ces détériorations peuvent entraîner des arrêts de fonctionnement, une baisse de la productivité, des risques pour la sécurité des employés, des rebuts de production, une dégradation de la qualité, ainsi qu'une augmentation des coûts de production ou d'exploitation, tout en réduisant la valeur des actifs de l'entreprise. Dans tous les cas, ces détériorations représentent un coût supplémentaire, direct ou indirect. Ainsi, le service de maintenance, tout comme le service de sécurité, joue un rôle essentiel en tant qu'interface entre les différentes entités de l'entreprise [16].

III.10 Optimisation de la maintenance

Dans le contexte actuel d'ouverture des marchés, les entreprises doivent améliorer leur compétitivité et donc leur productivité. « Produire plus pour moins cher » c'est avoir une meilleure disponibilité des moyens de production et c'est dépenser moins. Or la maintenance influe sur les deux facteurs : une maintenance mieux ciblée, c'est moins d'indisponibilité ; une maintenance mieux maîtrisée, c'est moins de dépenses, Au vu de l'importance du processus maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées permettent d'aider les responsables de maintenance à construire ou à modifier les stratégies de maintenance telle que la méthode AMDEC, la méthode Ishikawa (ou le diagramme Causes Effets), Le diagramme de Pareto, méthode des 5S, la méthode KAIZEN, la méthode d'AUTOMAINTEANCE...

III.11 Méthodes de maintenance

III.11.1 Méthode AMDEC

Le mot AMDEC signifie l'analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur Criticité. C'est une technique d'analyse préventive permettant d'identifier et de traiter les Causes potentielles de défauts et de défaillance avant qu'ils ne surviennent L'AMDEC est une méthode rigoureuse de travail en groupe, très efficace grâce à la Mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant, à Condition toutefois que l'animateur AMDEC soit suffisamment expérimenté [18].

On peut faire :

- Une AMDEC Produit, pour vérifier le Produit, pour vérifier la conformité d'un Produit développé par rapport aux exigences du client.
- Une AMDEC Processus, pour valider la fiabilité du processus de fabrication.
- Une AMDEC Moyen, pour vérifier la fiabilité d'un équipement.

Le principe consiste à recenser toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance et d'évaluer la criticité. Cette dernière résulte d'une triple notation quantifiée :

- Note "G" : Gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance,
- Note "F" : Occurrence ou fréquence d'apparition de la cause,
- Note "D" : Détection : probabilité de non détection de la cause.
- L'indice de criticité est obtenu par le produit des trois notes : $C = G * F * D$

III.11.2 Diagramme Pareto

Le diagramme de Pareto, également connu sous le nom de la loi des 80/20 est une Méthode d'optimisation et de résolution de problème très connue dans le milieu Industriel.

De façon générale, on s'aperçoit que dans la plupart des situations, 80% des Conséquences sont entraînées par 20% des causes rapporté à la maintenance, cela Signifie que 80% des arrêts d'équipements vont être causés par seulement 20% des Causes de pannes référencées.

Seulement, pour arriver à de telles conclusions, une analyse préliminaire est Nécessaire, chose que nous allons détailler dans la suite à travers un exemple simple [19].

III.12.3 Méthode des 5S

C'est un outil d'amélioration continue importé du Japon, permettant d'optimiser l'organisation et l'efficacité d'un poste de travail d'un service d'une entreprise.

Il est basé sur la participation du personnel qui prend en charge et organise son espace De travail c'est un outil essentiel pour amorcer une démarche de Qualité Totale (TQM) [20][10].

L'appellation "5 S" vient des initiales des mots clés de la méthode :

- ✚ SEIRI : c'est Débarrasser (éliminer ce qui est inutile).
- ✚ SEITON : c'est Ranger (classer, ordonner ce qui est utile).
- ✚ SEISO : c'est Nettoyer (tenir propre les outils, les équipements, l'atelier ...).
- ✚ SEIKETSU : c'est Organiser (établir et formaliser des règles).
- ✚ SHITSUKE : c'est Maintenir la rigueur (respecter les règles)

III.11.3 Méthode KAIZEN

Le mot KAIZEN est la fusion des deux mots japonais KAI et ZEN qui signifient respectivement « changement » et « bon » la traduction française courante est « amélioration continue » en fait, par extension on veut signifier « analysé pour rendre meilleur ».

Le KAIZEN est un processus d'améliorations concrètes, simples et peu onéreuses réalisées dans un laps de temps très court. Mais le KAIZEN est tout d'abord un état d'esprit qui nécessite l'implication de tous les acteurs

III.11.4 La maintenance basée sur Ishikawa (5M)**III.11.4.1 Présentation de diagramme d'Ishikawa**

Le diagramme d'Ishikawa, également connu sous le nom de diagramme de causes et effets ou diagramme en arête de poisson, est une méthode puissante de résolution de problèmes. Son objectif est d'explorer toutes les dimensions d'un problème en classant les causes par famille et sous-familles, ce qui permet de mieux comprendre la complexité du problème.

Cette méthode s'inscrit dans une logique d'amélioration continue, où l'objectif est d'identifier les causes racines des problèmes afin de les éliminer durablement. Elle permet de relier les différentes causes à leurs effets, ce qui est particulièrement utile dans le domaine de la maintenance industrielle, où les dysfonctionnements sont souvent liés à des défaillances techniques des équipements.

En utilisant le diagramme d'Ishikawa, les équipes peuvent visualiser et analyser les différentes causes potentielles d'un problème, ce qui facilite l'identification des solutions appropriées. Cela permet également de prendre des mesures préventives pour éviter que les problèmes ne se reproduisent à l'avenir. [21].

Elle est constituée de quatre grandes étapes :

- Définir précisément le problème à résoudre.
- Recenser les différentes sources potentielles de dysfonctionnement.
- Organiser les causes identifiées en catégories telles que Matière, Milieu, Méthode, Machine et Main d'œuvre.
- Créer un diagramme de cause à effet pour visualiser les relations entre les différentes causes.

III.11.4.2 Les 5 catégories du diagramme d'Ishikawa

Les 5 catégories du diagramme d'Ishikawa, également connu sous le nom de diagramme de causes et effets ou diagramme en arête de poisson, sont communément désignées par les "5M". Voici ce qu'elles représentent :

- **Matière** : Cette catégorie concerne les matières premières, les composants ou les inputs utilisés dans le processus. Elle explore comment les caractéristiques ou la qualité des matériaux peuvent influencer le résultat final.
- **Méthode** : Cette catégorie englobe les méthodes, procédures ou processus utilisés pour effectuer une tâche ou un travail. Elle examine comment les différentes approches ou techniques peuvent contribuer à la survenue du problème.
- **Main d'œuvre** : Cette catégorie concerne les personnes impliquées dans le processus, y compris leurs compétences, leur formation, leur motivation et leur capacité à effectuer le travail correctement. Elle examine comment les actions ou les comportements des travailleurs peuvent affecter le résultat.
- **Matériel** : Cette catégorie englobe les équipements, les machines, les outils ou les instruments utilisés dans le processus. Elle explore comment les caractéristiques ou l'état du matériel peuvent influencer la qualité ou la performance.
- **Milieu** : Cette catégorie concerne l'environnement physique ou les conditions dans lesquelles le travail est effectué. Elle examine comment des facteurs tels que la température, l'humidité, l'éclairage, etc., peuvent avoir un impact sur le processus ou le produit.

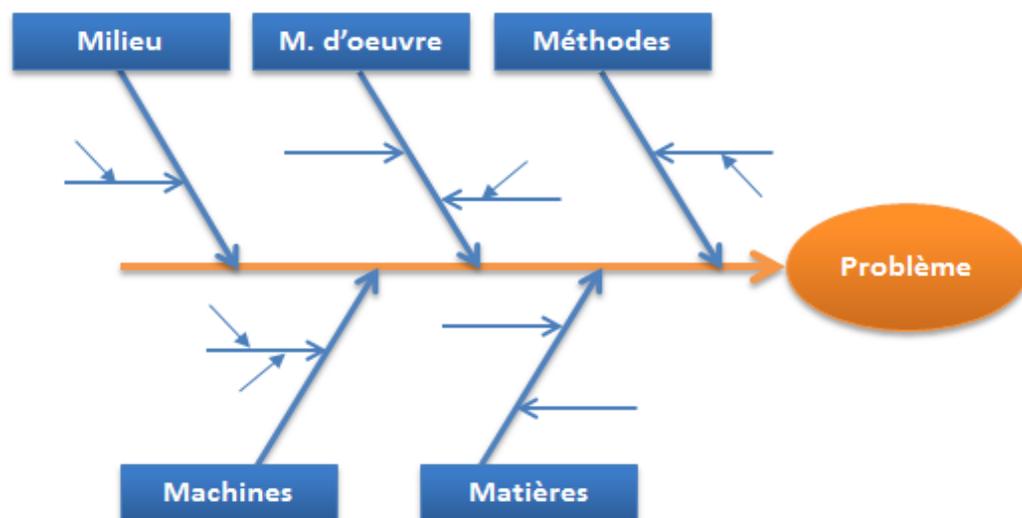


Figure III.4 : Les 5 catégories du diagramme d'Ishikawa

III.11.4.3 Les règles d'or

- Groupe de travail : Avant de commencer, il faut former un groupe de travail pluridisciplinaire et chaque membre doit y participer.
- Brainstorming : Il est recommandé de pratiquer auparavant un brainstorming pour trouver les causes au problème. Donc chaque membre du groupe peut librement exprimer ses options.
- Démarche : Par la suite il faut identifier les causes principalement responsables du problème et les classer selon leur relation par rapport au problème pose

III.11.4.4 Pourquoi faire un diagramme d'Ishikawa ?

Le diagramme d'Ishikawa, également appelé diagramme de causes et effets ou diagramme en arête de poisson, est un outil utilisé dans la gestion de la qualité pour analyser les causes d'un problème ou d'une situation donnée. Voici quelques raisons pour lesquelles on utilise ce type de diagramme :

- **Identification des causes racines** : Le diagramme d'Ishikawa permet d'identifier les différentes causes potentielles d'un problème, en explorant plusieurs dimensions telles que les personnes, les processus, les équipements, etc.
- **Visualisation des relations entre les causes** : En représentant graphiquement les relations entre les causes et l'effet, le diagramme d'Ishikawa aide à comprendre comment différentes variables peuvent interagir pour générer un problème spécifique.
- **Engagement de l'équipe** : En impliquant plusieurs membres de l'équipe dans la création du diagramme, il favorise la collaboration et la compréhension partagée du problème, ce qui peut conduire à des solutions plus efficaces.
- **Priorisation des actions correctives** : Une fois toutes les causes identifiées, le diagramme peut aider à prioriser les actions correctives en se concentrant sur les causes les plus significatives ou les plus directes.
- **Amélioration continue** : En mettant en évidence les causes profondes des problèmes, le diagramme d'Ishikawa favorise une approche d'amélioration continue en permettant d'adresser les causes sous-jacentes plutôt que de simplement traiter les symptômes.

Le diagramme d'Ishikawa est un outil puissant pour l'analyse des problèmes et la prise de décision, car il offre une vue structurée et visuelle des causes potentielles et de leurs relations avec l'effet observé.

III.11.4.5 Les avantages et inconvénients de diagramme d'Ishikawa

Les avantages de diagramme d'Ishikawa son :

- Les diagrammes d'Ishikawa présentent plusieurs avantages, notamment :
- Ils facilitent l'identification des causes fondamentales des problèmes.
- Ils favorisent une communication et un partage d'idées efficaces entre les membres de l'équipe.
- Ils offrent une organisation visuelle des informations complexes.
- Ils peuvent servir à la recherche de solutions pour résoudre les problèmes.
- Ils permettent un suivi des progrès et une planification des actions futures par les équipes.

III.11.4.6 Les inconvénients

Les inconvénients de diagramme Ishikawa :

- Leur élaboration peut demander beaucoup de temps.
- Ils peuvent être difficiles à interpréter s'ils ne sont pas conçus avec soin.
- Ils risquent d'être partiels ou incomplets si tous les membres de l'équipe n'engagent pas activement le processus d'analyse.
- Il existe un risque de se focaliser trop sur des facteurs individuels au détriment de leur interaction globale.

III.11.4.7 Objectif

L'objectif du diagramme Ishikawa était de lutter contre une mauvaise réputation concernant la qualité dont souffraient les produits japonais après la seconde guerre mondiale, ainsi :

- Approfondir et explorer toutes les dimensions d'une situation donnée.
- Parvenir au consensus sur la définition et les caractéristiques de la question traitée.
- Classer les causes d'un dysfonctionnement ou d'un problème, en grandes familles, et représenter ces derniers de façon claire et structurée.

- Identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet), et agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées.
- Visualiser de façon claire cette relation ordonnée de causes à effet.
- D'aider un groupe défini à développer une vision commune, partagée, et précise, des différentes causes d'une situation qui le concerne.
- Le diagramme d'Ishikawa permet de limiter l'oubli des causes et de fournir des éléments pour l'étude des solutions.
- La méthode a pour but de sensibiliser les personnels aux différentes causes organisationnelles possibles des défauts, sans se limiter aux causes évidentes et immédiates, c'est-à-dire généralement aux coupables.

III.12 Exploitation et Maintenance de la pompe 530P025

Le rôle de la pompe 530-P-025

La pompe centrifuge 530 P025 joue un rôle crucial dans le processus de transport du fluide. Elle est utilisée pour aspirer le Slurry de fond de colonne sous vide c23, le transférer vers un filtre pour purification, stocker une partie du Slurry purifié, et acheminer le reste vers la charge de la colonne principale c21 pour une utilisation dans le processus global (Figure II.16). Dans ce qui suit, nous présentons les étapes de fonctionnement :

- **Aspiration du Slurry de fond de colonne sous vide c23 (cf. figure I.6) :** La pompe centrifuge 530 P025 est utilisée pour aspirer le Slurry (mélange liquide-solide) situé au fond de la colonne sous vide c23. Cette aspiration est nécessaire pour transférer le Slurry vers d'autres parties du processus.
- **Transfert vers le filtre st-021 :** Une partie du Slurry aspiré est dirigée vers le filtre. Ce filtre est probablement utilisé pour séparer les solides du liquide, purifiant ainsi le Slurry avant son utilisation ultérieure ou son stockage.
- **Stockage du Slurry purifié :** Après avoir été filtré, une partie du Slurry purifié est stockée pour une utilisation future. Ce stockage peut être nécessaire pour répondre à la demande du processus ou pour des raisons de logistique.
- **Transfert vers la charge de la colonne principale c21 (cf. figure I.6):** Une autre partie du Slurry aspiré est transférée vers la charge de la colonne principale c21. Cette charge peut être une étape du processus où le Slurry est utilisé comme matière première ou comme réactif dans une réaction chimique ou un processus de fabrication.

III.13 La Surveillance

La surveillance de la pompe implique une série de mesures effectuées de manière régulière pendant le fonctionnement de la machine, notamment :

- Évaluer les vibrations du moteur et de la pompe, ainsi que la température du logement du palier en les palpant.
- Examiner le moteur, la garniture mécanique de la pompe et les orifices d'aspiration et de refoulement de la pompe à la recherche de tout bruit inhabituel.
- Vérifier qu'il n'y a pas de fuite au niveau de la garniture mécanique de la pompe.
- Assurer l'absence de fuites au niveau des brides de chaque tuyau.
- Contrôler les pressions à l'aspiration et au refoulement.

III.13.1 Maintenance prédictive :

Pour exploiter la pompe P025 au maximum de son potentiel, le service fait appel à la maintenance prédictive qui est basée sur les relevés de Vibrations (analyses vibratoire).

III.13.1.1 Maintenance préventive systématique

Une proposition de maintenance émanant du fabricant implique la collecte précise de données opérationnelles et la rédaction de rapports d'inspection. Ces données sont ensuite analysées afin de déterminer les besoins en maintenance. En se référant aux spécifications techniques fournies par le fabricant et à l'expertise du personnel, la maintenance préventive de la pompe P025 est divisée en trois étapes distinctes :

- a. La première étape, programmée tous les 4000 heures, se concentre sur une inspection préventive du système d'étanchéité externe (garniture mécanique), avec des réparations en cas de détection d'anomalies.
- b. La deuxième étape, à effectuer toutes les 8000 heures, implique des actions de maintenance de niveau I sur la partie inférieure de la pompe. Cela comprend la vérification du jeu fonctionnel du palier inférieur, l'évaluation de l'étanchéité du premier étage, et les réparations nécessaires en cas de problèmes détectés.
- c. La troisième étape, programmée toutes les 16000 heures, consiste en une maintenance de niveau II (révision générale), qui comprend :
 - La révision du système d'étanchéité externe (garniture mécanique).

- La révision du système d'étanchéité interne.
- La révision du système mécanique (guidage en rotation).

III.13.2 Le plan de maintenance appliqué à la pompe P025

III.13.2.1 Inspection préventive

C'est l'une des opérations de la maintenance préventive systématique qui s'opèrent selon une périodicité prédéterminée, toutes les 4000 heures de marche, elle comporte trois opérations principales à exécuter sur le système d'étanchéité (la garniture mécanique) :

- Démontage
- Inspection et réparation
- Remontage La procédure de l'inspection préventive est la suivante

Tableau III.2 : Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique (gamme d'intervention)

Inspection Préventive	N° Les étapes de démontage	
	1	Installation des plaques de fixation
	2	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
	3	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
	N° Les étapes de remontage	
	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	

L'inspection et la réparation de la garniture mécanique après l'avoir démonté consiste à :

- a. Démontez l'ensemble des organes de la garniture mécanique.
- b. Vérifier l'état des pièces du mécanisme et changer les pièces défectueuses (chemise, bague, vis, ressort, etc.).
- c. Changer toute la jointure de la garniture (les joints V, joints toriques et les joints de compression). Inspection préventive P 025

Changer les deux grains de la garniture mécanique.

Remonter l'ensemble des organes de la garniture mécanique.

Remarque : Dans le cas où la pièce de rechange n'est pas disponible concernant les deux grains nous devons procéder à une opération de rodage.

III.13.2.2 Maintenance de niveau 1

Toutes les 8000 heures de marche, il s'agit d'une révision partielle du système mécanique de la pompe, plus une inspection préventive

Tableau III.3 : La procédure de la maintenance niveau 1

Maintenance N1	Démontage	1	Installation des plaques de fixation
		2	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
		3	Enlèvement du moteur
		4	Levée de pompe
		5	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
		6	Enlèvement du carter inférieur
	Inspection réparation	Mesure du jeu entre la chemise de l'arbre et le coussinet du palier inférieur Inspection des pièces de contact glissant pour la bague d'usure et la roue du premier étage	
	Remontage	1	Installation du corps d'aspiration
		2	Soulever de la pompe
		3	Installation de la pompe dans la fosse
4		Installation du moteur	
5		Installation de l'assemble de garniture mécanique	
6		Fixation de couvercle de garniture mécanique	
7		Alignement de l'accouplement	
8		Levée de l'arbre	
9		Enlèvement des plaques de fixation	
10		Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main	

III.13.2.3 Maintenance de niveau 2

La révision générale, à réaliser toutes les 16000 heures de fonctionnement, inclut non seulement l'inspection et la réparation de la garniture mécanique, mais également les tâches suivantes :

- Évaluation de l'excentricité de l'arbre.
- Vérification de la déviation des roues.
- Contrôle précis des jeux entre les roues et les bagues d'usure du corps, ainsi qu'entre les coussinets et les chemises de l'arbre.

Tableau III.4 : La procédure de la maintenance de niveau 2

MAINTENANCE N2	Démontage	1	Installation des plaques de fixation
		2	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
		3	Enlèvement du moteur
		4	Levée de pompe
		5	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
		6	Enlèvement du corps d'aspiration, l'inducteur , les roues et la volute
		7	Enlèvement du tube colonne montante et l'arbre
	Inspection	Vérification de l'excentricité de l'arbre Vérification de la déflexion des roues Mesure des jeux entre les roues et bagues d'usure du corps , et entre les coussinets et chemises de l'arbre	
	Remontage	1	Placer le coussinet du palier intermédiaire dans son support puis installer l'ensemble dans le corps de la pompe
		2	Placer le joint torique dans le corps puis installer le tube de colonne
		3	Fixation de la chemise intermédiaire sur l'arbre et montage de l'ensemble
		4	Montage de l'impulser
		5	Montage de l'inducteur et l'écrou de freinage
		6	Installation du corps d'aspiration
		7	Installation de l'assemble de garniture mécanique
8		Montage des conduites de purge et de refroidissement	

	9	Installation de la pompe dans la fosse
	10	Mettre le joint de corps dans sa rainure sur la plaque de base du barrel
	11	Introduire la pompe dans le barrel puis placer les boulons de fixation avec la bride d'admission et la bride de refoulement
	12	Placer lanterne du moteur et installer le moteur
	13	Alignement de l'accouplement
	14	Levée de l'arbre
	15	Enlèvement des plaques de fixation
	16	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main

Conclusion

Bien que la politique de maintenance à SONATRACH soit basée sur la maintenance préventive dans le but de réduire la probabilité de défaillance et éviter les arrêts de production qui coûteront beaucoup, nous avons observé les défaillances telles que l'érosion abrasive au niveau de la garniture mécanique, sur le grain mobile. En se basant sur la politique de maintenance appliquée, nous allons, dans le chapitre suivant (et toujours dans le cadre de la maintenance préventive) appliquer la méthode d'Ishikawa 5 M (méthode cause –effet), afin d'éliminer ou d'au moins réduire les points critiques de défaillance de la pompe P105.

CHAPITRE IV :

Application de la méthode du

diagramme d'Ishikawa

Analyse des causes et présentation des solutions

IV.1 Introduction

Dans la suite de ce chapitre nous allons essayer de déterminer et éliminer les causes racines de la défaillance des pompes centrifuges 530 p025 de la raffinerie de *Sidi-Arcine* afin de minimiser le nombre d'interventions d'une part et d'améliorer la disponibilité des lignes de production d'autre part.

Ce projet est basé sur l'application de la méthode 5M et sur le traçage du diagramme d'Ishikawa. Celui-ci permet de classer les différents éléments susceptibles de causer les dysfonctionnements ainsi que, de chercher les défaillances par l'analyse du rapport existant entre un problème (effet) et toutes ses causes possibles.

Pour analyser les défaillances d'un système, il est nécessaire auparavant de bien identifier à quoi doit servir ce système : c'est à dire de bien identifier toutes les fonctions que ce système doit remplir durant son exploitation. L'analyse fonctionnelle constitue une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions du système pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement.

IV.2 Analyse fonctionnelle externe de la pompe 530p025

Le diagramme bête à corne qui suit va nous aider à définir le besoin défini par l'utilisateur concernant les pompes centrifuge de la raffinerie de *Sidi-Arcine*.

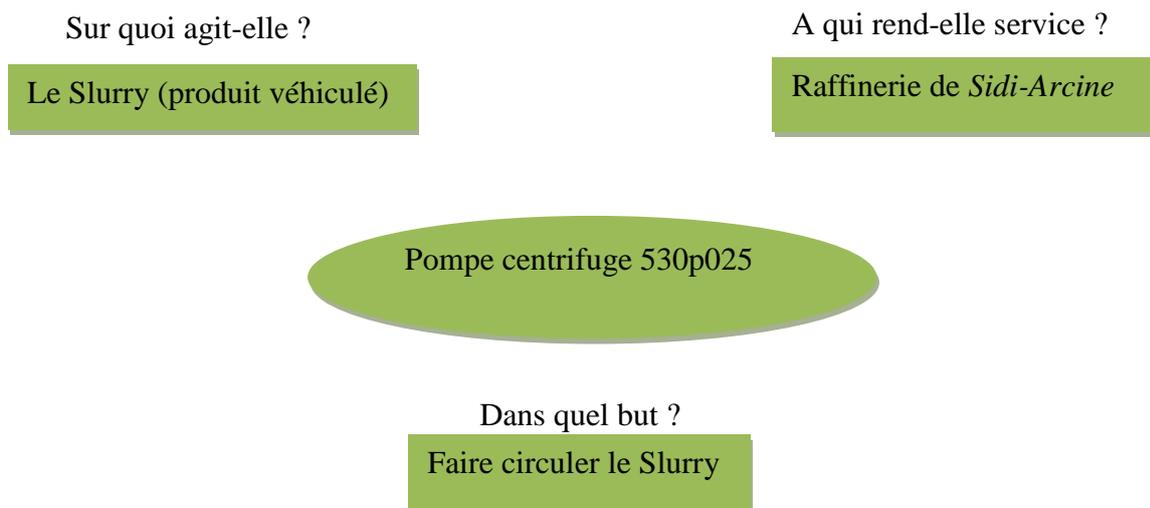


Figure IV.1 : IV.2 Diagramme Bête à cornes des pompes 530P025

La pompe centrifuge monocellulaire P025 (Figures II.14 et II.15) (voir la figure complète en annexe A) est une pompe à haute performance conçue pour une large gamme d'applications industrielles. Elle est fabriquée par la société française, Lawrence pump qui est un leader mondial dans la conception et la fabrication de pompes centrifuges.

Son mouvement rotatif qui sert à pomper le liquide en le forçant à travers d'une roue à aubes ou d'une hélice appelée impulseur. Elle est le type de pompe industriel le plus commun et est particulièrement adaptée à l'utilisation avec des moteurs électriques, car elle ne nécessite pas de pièce intermédiaire de transformation du mouvement.

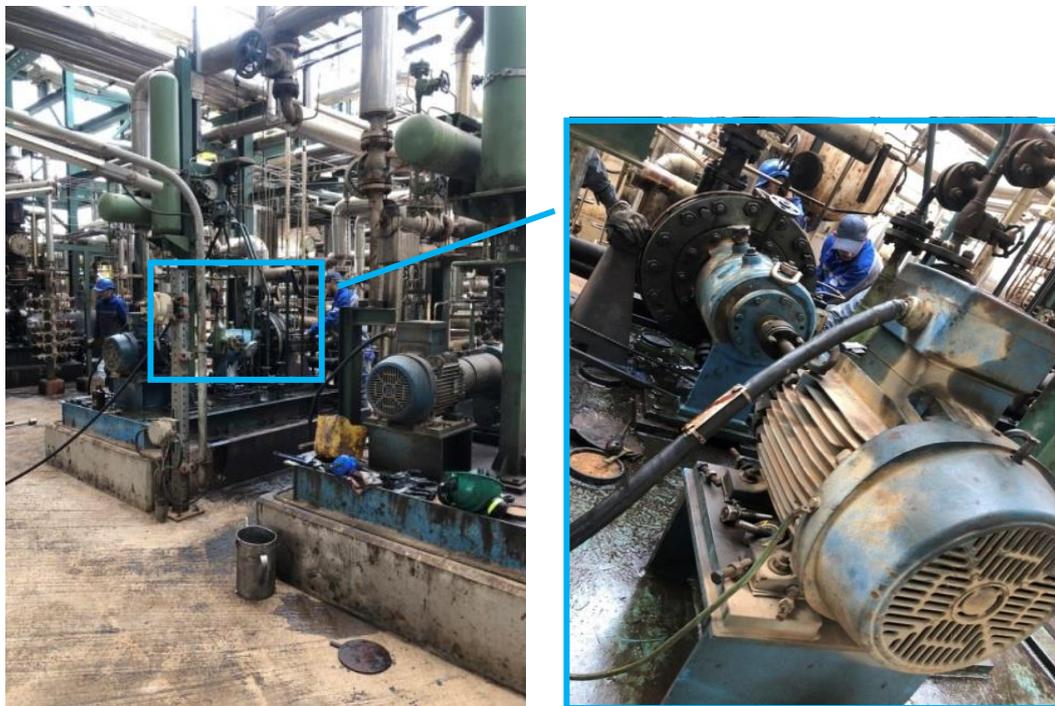


Figure IV.3 : Vue extérieure de la pompe 530p025

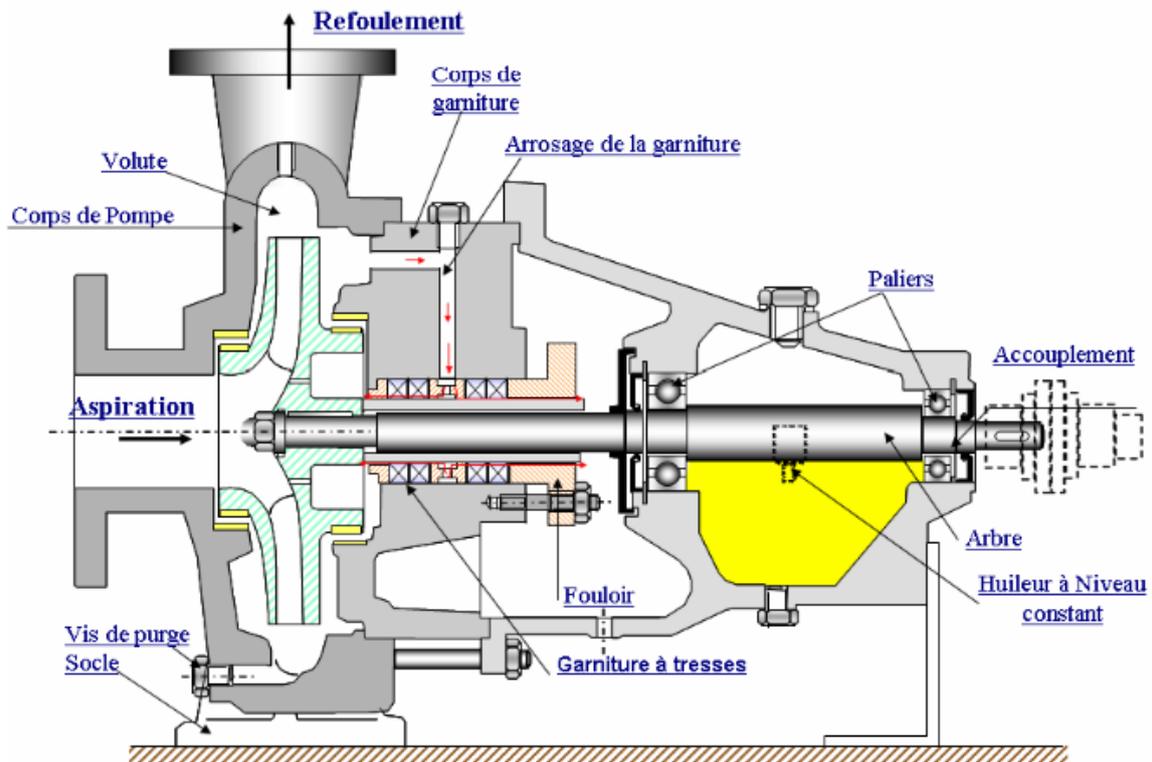


Figure IV.4: Vue en coupe de la pompe centrifuge monocellulaire

IV.3 Analyse fonctionnelle interne de la pompe 530p025

IV.3.1 Les caractéristiques techniques de la pompe 530- P-025 sont :

- Débit : jusqu'à 250 m³/h
- Hauteur de refoulement : jusqu'à 60 m
- Température du liquide : jusqu'à 150 °C
- Pression de service : jusqu'à 16 bar.
- Matériau du corps de pompe : fonte grise, acier inoxydable ou bronze
- Matériau de la roue : fonte grise, acier inoxydable ou bronze
- Étanchéité : garniture mécanique ou joint par bague d'usure
- Moteur : électrique, thermique ou hydraulique.
- Capacité de pompage : jusqu'à 1600 m³/h et hauteur de levage maximale de 95 mètres.
- Rotation horaire : vue de l'extrémité d'entraînement.
- Paliers : toujours lubrifiés à la graisse.
- Options de joints : joints mécaniques disponibles, avec l'arbre de la pompe toujours en acier inoxydable.
- Conformité aux normes : brides de décharge conformes aux normes EN 1092-2/PN10.

- Facilité d'installation : possibilité d'application d'un joint mécanique unique pour une installation de type vertical.
- Lubrification des paliers : paliers de type PC sont "life time grease lubricated" jusqu'à la taille 150-315, avec une lubrification à l'huile (glycol) pour les tailles plus grandes ; paliers de type PC-VM sont toujours lubrifiés à la graisse.
- Adaptabilité environnemental : fonctionne dans une plage de température allant de -10°C à jusque 200°C.

IV.3.2 Organigrammes techniques de la pompe

L'organigramme technique est un outil qui permet de passer à des niveaux plus inférieurs en précisant la décomposition des différents organes de la pompe. Il met en évidence les composants d'interaction en se basant sur un raisonnement en termes de flux d'énergie, ce qui va nous permettre par la suite de déduire les effets induits.

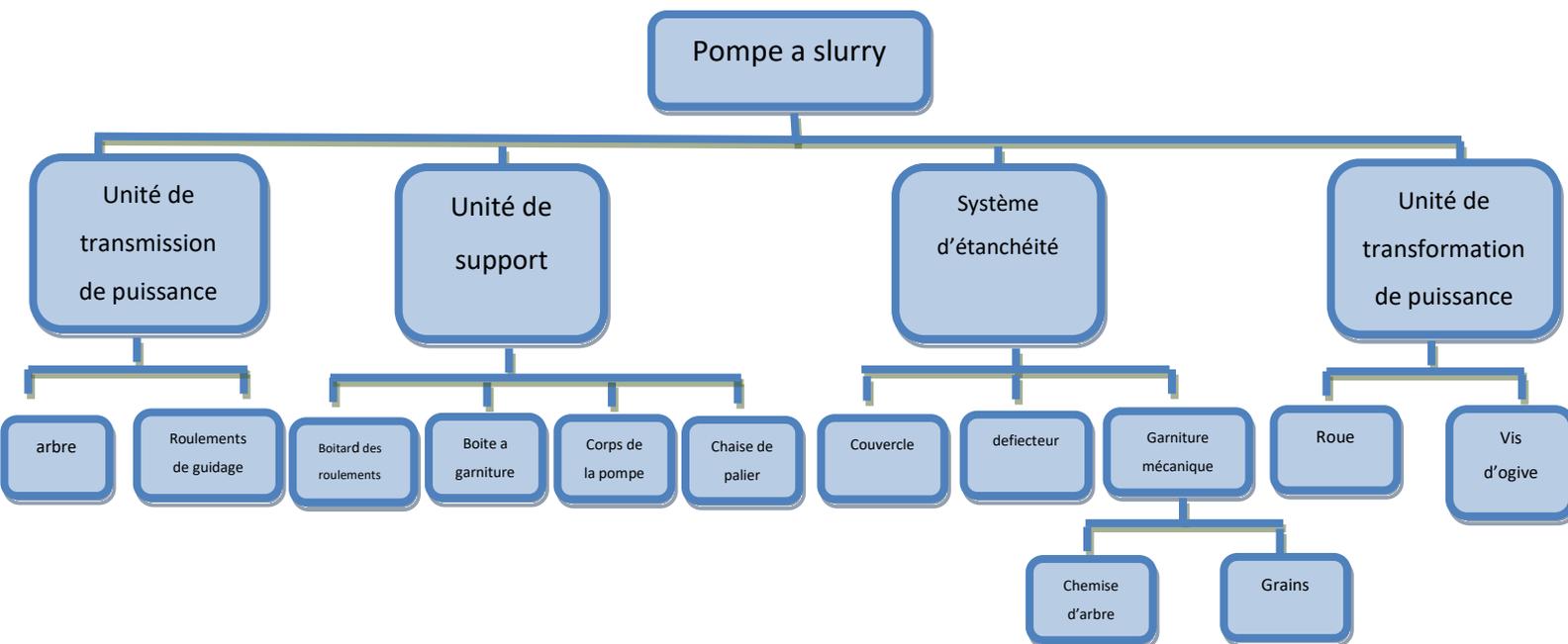


Figure IV.5 Organigramme technique de la pompe.

IV.3.3 Les organes constitutifs de la pompe 530 P 025

La pompe 530P025 est de types monocellulaires en porte à faux, équipées d'un palier à roulements et d'un système d'étanchéité et d'une double garniture. Elle est constituée, principalement d'organes hydrauliques, mécaniques et d'étanchéité.

Organes hydrauliques

Les principaux organes hydrauliques constituant la pompe sont décrits comme suit :

✓ Le corps

Le corps de la pompe, du type à volute (Figure II.16), est supporté horizontalement dans le plan médian. Les tubulures d'aspiration et de refoulement font parties intégrantes du corps. Tous les corps sont munis d'un guide pour empêcher la pré-rotation du liquide lorsqu'il pénètre dans la roue. Les volutes du corps sont conçues pour assurer un écoulement régulier.



Figure IV.6: corps de pompe

✓ Impulseur ou roue

La rotation de l'arbre entraîne une génération d'énergie cinétique provoquée par la roue (Figure II.17) solidaire à l'arbre au moyen d'une clavette, et mettant en mouvement le liquide véhiculé. L'énergie cinétique développée est transformée en pression.



Figure IV.7 : Impulseur

➤ **Volute**

La volute entoure l'impulseur avec une interposition d'un diffuseur. Elle est un organe transformant une partie de l'énergie cinétique transmise au liquide par la roue en énergie de pression. Cette pièce a une double fonction, premièrement : assurer la transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle (énergie de pression) et deuxièmement : opérer au raccordement avec la tubulure de refoulement.



Figure IV.8 : Volute

Organes mécaniques

Les principaux organes mécaniques constituant la pompe sont décrits comme suit :

- ✓ L'arbre

L'arbre est l'élément qui assure le mouvement de rotation. Il est souvent fait en acier spécial car il doit résister aux différentes sollicitations exercées par certaines pièces (impulseur, paliers, etc.).



Figure IV.9 : Arbre de la pompe

✓ **Les coussinets**

En exploitation, les poussées générées sont transmises aux paliers de la pompe, ces derniers doivent avoir la capacité à supporter ces sollicitations de type axial, radial ou combiné, et à guider en rotation l'arbre.



Figure IV.10 : Coussinets

✓ **Grain mobile de garniture mécanique**

Le rôle grain mobile de garniture mécanique (Figure II.21) c'est de réaliser l'étanchéité. Son rôle est de protéger le contact entre l'impulseur et la volute suite à une usure éventuelle. Elles sont installées par presse, et bloquées par des vis sur le diffuseur.



Figure IV.11 : Grain mobile de garniture mécanique

✓ **Chemise de garniture**

Son rôle est de protéger le contact de l'arbre avec la garniture. Elle est montée sur la garniture



Figure IV.12 : Chemise de garniture

✓ **Accouplement**

L'accouplement est l'organe de transmission, il permet de transmettre la puissance mécanique en rotation d'arbre moteur vers l'arbre de la pompe.

Le choix des accouplements est notamment dicté d'une part, par le caractère vibratoire de l'ensemble système machine (équipement, fondation et tubulures de connexion), qui impose des accouplements flexibles et d'autre part par l'importance des efforts qu'exercent les machines entraînées imposant des accouplements rigides.



Figure IV.13 : Accouplement de pompe P025 avant et après le montage.

✓ **Anneau de pompage**

Un anneau de pompage est une pièce nécessaire. Son rôle est d'assurer la circulation de Glycol de la pompe vers l'échangeur de chaleur. Il est fixé sur la chemise de garniture.



Figure IV.14: Anneau de pompage

Organes d'étanchéité

Les joints d'étanchéité

Un joint d'étanchéité est un dispositif assurant l'étanchéité, c'est-à-dire évitant les fuites de fluide entre un milieu intérieur et un milieu extérieur. Il existe plusieurs types de joint d'étanchéité (torique, tressé, plat, à lèvre) dans la pompe 530 P 025, localisés dans différentes parties :

- ✓ Les joints tressés

Ils ont une grande résistance, durabilité et imperméabilité dans tous milieux de fluides durs vapeurs, eau chaude jusqu'à 500° C, acide organique, sels et huiles.

✓ Les joints à lèvres

Appelé aussi joint Spi, on les trouve dans les secteurs d'activités divers. Utilisé Principalement pour l'étanchéité des arbres, ils sont aussi utilisés pour l'étanchéité des arbres tournants.



Figure IV.15 : Joints à lèvres

➤ Les joints toriques

Utilisées pour étancher les tiges de manœuvre de certaines vannes, les joints toriques sont aussi utilisés pour l'étanchéité des arbres tournants à vitesse lente ou sur les pistons de vérins.



Figure IV.16: Exemples d'applications des joints toriques

Garniture mécanique

Une garniture mécanique est principalement composée de deux solides annulaires, l'un d'eux est en rotation et le second est en état statique. Le fluide environnant sous pression conduit à la formation d'un film lubrifiant entre eux.

Les surfaces des garnitures mécaniques sont généralement rodées et polies et sont donc très lisses et pratiquement planes faces du joint.

La garniture mécanique se compose essentiellement de chemise, grain fixe (bague en carbure de silicium), grain rotatif (Figure II.27) (bague en carbure de silicium), bague à ressortes boîtier de garniture (Figure II.29). C'est entre l'arbre et la garniture que peut s'échapper le

liquide, il est donc nécessaire de maintenir ces bagues (carbure de silicium) en contact permanent au moyen de la bague à ressort. La garniture mécanique est refroidie et lubrifiée par le liquide lui-même (Glycol).



Figure IV.17 : Garniture mécanique de pompe P025 avant et après le montage

✓ Garniture mécanique pour le fluide visqueux et sale (Slurry)

Les joints simple, composés de multiples ressorts extérieurs afin d'éviter l'obturation des faces réalisées en silicone de carbone. De larges tolérances entre les joints et la chemise de l'arbre assurent une construction robuste.

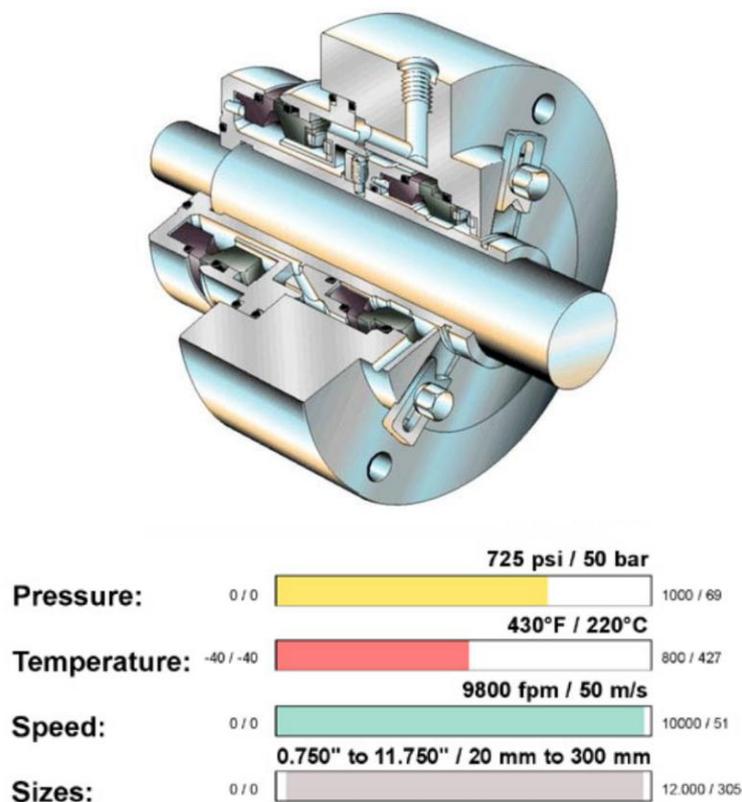


Figure IV.18 : Garniture mécanique pour les fluides visqueux et sales (Slurry)

Dans cette première partie du chapitre IV, nous avons analysé et décortiqué les fonctions de service et les principaux organes d'une pompe à Slurry, afin de bien analyser et identifier les risques de dysfonctionnement de notre système.

IV.4 Détermination et analyse des causes d'indisponibilité de la pompe 350p025

Pour déterminer la cause d'indisponibilité d'une pompe nous nous sommes basés sur l'analyse de la consommation des pièces de rechange, cette analyse a montré que plus que 50% du montant des pièces de rechanges est représenté par la consommation des garnitures mécaniques. Chose qui montre clairement que la cause racine de défaillances des pompes centrifuges à Slurry au sein de la raffinerie de Sidi-Arcine est due à une défaillance des garnitures mécaniques, cette défaillance est traduite par une fuite externe qui engendre non seulement la défaillance de la garniture mais aussi la détérioration des autres organes de l'équipement et une perte économique importante.

➤ Garniture mécanique double

La garniture mécanique double de la pompe 530P025 (Figure II.29) (voir en annexe B la position de la garniture d'étanchéité dans la pompe centrifuge) est un ensemble de dispositifs d'étanchéité mécanique comportant deux ensembles de faces de garniture, souvent appelés garnitures primaires et garnitures de secours. Chaque ensemble comprend un ensemble de bagues coulissantes en matériaux spéciaux (généralement carbure de silicium) montées face à face sur un arbre rotatif, créant ainsi une barrière étanche entre les parties rotatives et fixes de la machine.

L'objectif principal d'une garniture mécanique double est de prévenir les fuites de fluide (liquides ou gaz) à travers l'arbre de la machine en garantissant une étanchéité efficace et fiable. En cas de défaillance potentielle de la garniture primaire due à l'usure ou à d'autres causes, la garniture de secours prend le relais pour maintenir l'intégrité de l'étanchéité, réduisant ainsi le risque de pannes et de pertes de produits.

Ce dispositif est largement utilisé dans les industries telles que l'industrie chimique, pétrolière et gazière, les centrales électriques, l'industrie alimentaire, et d'autres applications où des exigences strictes d'étanchéité et de sécurité sont nécessaires pour maintenir l'efficacité opérationnelle des équipements.

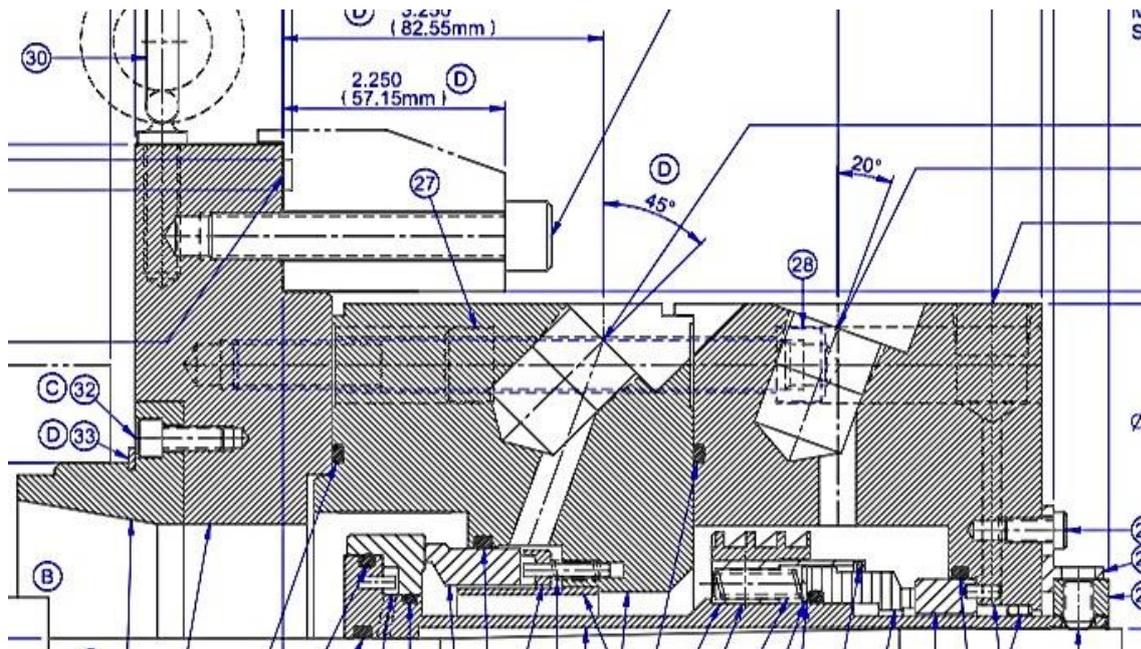


Figure IV.19 : La garniture mécanique double de la pompe 530 P025

IV.5 L'analyse des causes-effets

Le principal intérêt du diagramme d'Ishikawa est d'identifier l'ensemble des causes possibles d'un effet constaté. Les causes identifiées sont ensuite hiérarchisées, permettant à l'entreprise de prioriser les efforts à mener pour résoudre le problème.

Il faut dans un premier temps définir clairement l'effet sur lequel on souhaite directement agir. Il est très important de bien identifier les caractéristiques de la question traitée. Pour cela, il faut :

- ✓ Lister à l'aide de la méthode de « brainstorming » toutes les causes susceptibles de concerner le problème considéré.
- ✓ Il faut bien approfondir et explorer toutes les dimensions d'une situation donnée.
- ✓ Classer par famille toutes les causes d'un problème déterminé.

La hiérarchisation des causes a été réalisée avec l'équipe de l'atelier maintenance de la section **G** de la raffinerie de Sidi-Arecine

Dans toute la suite de ce chapitre nous allons traiter les causes jugées, par l'équipe, comme causes racines de la défaillance de la garniture mécanique.

Les causes marquées par un NON ne sont pas des causes racines

Les autres causes seront traitées soit sous forme de proposition ou des recommandations générales pour les pompes centrifuges 350P025 ou sous forme de solutions techniques, selon la criticité et la fréquence de répétition de chaque anomalie.

Tableau IV.1 Application de la méthode d'ISHIKAWA 5M

Matière	Matériel	Main D'œuvre	Milieu	Méthodes
Matière des joints non conformes	Faces non plates	Equipes maintenance intervenant non qualifiés	Attaque chimique par procès	Méthode de démarrage et d'arrêt
Matière des faces non conforme	Déformation thermique	Equipe exploitation non qualifié	Contamination avec solides	Méthodes de diagnostic
Couple matière des faces non adéquates	Usure du Joints d'étanchée		Refroidissement non suffisant	Gammes de travail et de maintenance
Mauvaise qualité et type de lubrifiant			Liquide de refroidissement non adéquat	
			Conditions climatique	

Sur le diagramme suivant (Figure IV. 4) nous avons l'analyse pour le changement du grain mobile de garniture mécanique car la révision de la garniture mécanique fait partie d'une maintenance préventive conditionnelle.

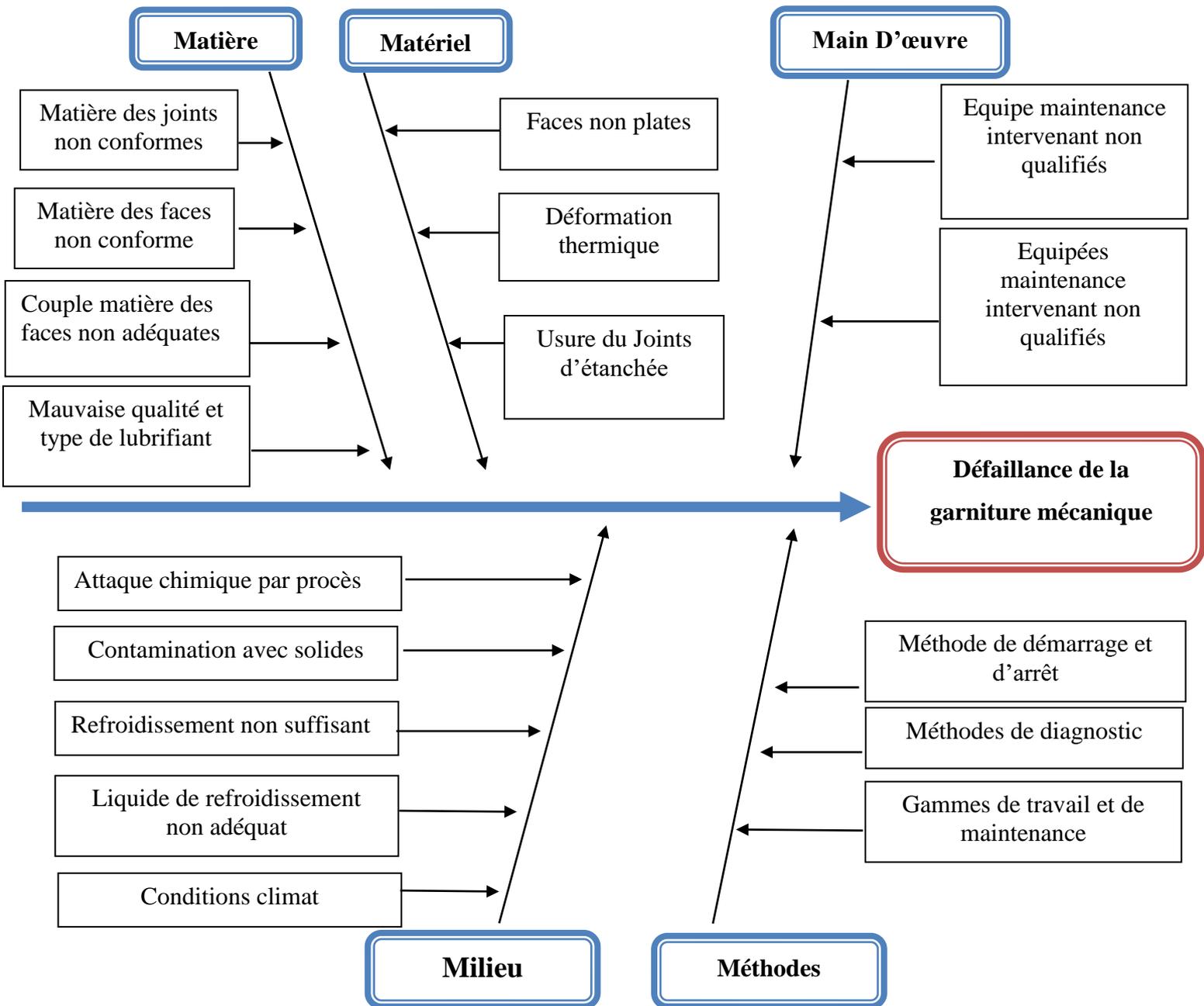


Figure IV.20 : Diagramme causes-effets (Diagramme Ishikawa (5M))

Après analyse, il a été constaté les défaillances suivantes :

- ✓ Erosion au niveau de la garniture mécanique (grain mobile)
- ✓ Fuite de fluide transporté par la pompe 350P025

➤ **Matière**

Fluides abrasifs

Les produits pompés sont des produits contenant des particules abrasives. L'infiltration des particules du produit dans la chambre à garniture, plus précisément dans les faces entre les grains, engendre la destruction de ces derniers, Aussi la présence des corps étrangers dans les conduites (aspiration refoulement) augmente la probabilité que ces derniers se trouvent dans l'interface grain coupelle, et donc, dégradation de la garniture.

Solution

Utilisation d'une bague de fond (figure 21) pour diminuer le taux d'introduction des particules dans la chambre de garniture et planification d'un contrôle périodique pour contrôler l'état des conduites.

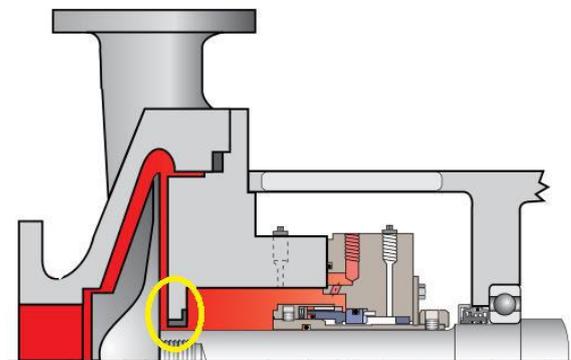


Figure IV.21 Bague de fond dans la chambre à garniture

Non fiabilité du matériau des grains

Dans la plupart des cas, les éléments les plus sollicités à la défaillance dans une garniture mécanique sont les grains (fixe et mobile).



Figure IV.22 : Grain mobile de garniture mécanique usé.

Les matériaux constitutifs des faces de frottement sont choisis en fonction de leurs propriétés intrinsèques (résistance chimique, caractéristique mécanique et thermiques) et de leur aptitude à être appariés (lubrification et propriétés tribologiques). Le tableau ci-dessous montre une méthode pour le choix des matériaux des grains les plus utilisés pour différents types de produits.

Tableau IV.2 Couples de frictions les plus Utilisées

Couples de frictions les plus Utilisées	
Produits clairs ou peu chargés	Produit chargé, cristallisants ou visqueux
1. Carbure de silicium /carbone liant résine ou métallique	1. Carbure de silicium / Carbure de silicium
2. Carbure de tungstène /carbone liant résine ou métallique	2. Carbure de silicium / Carbure de tungstène
3. Oxyde d'alumine / carbone liant résine ou métallique	3. Carbure de tungstène / Carbure de tungstène
4. Fonte/ carbone liant résine	
5. Bronze / carbone liant résine	
6. Bronze / acier traité	

➤ Méthode

Vérifications et préparation

Avant chaque premier démarrage d'une pompe et après chaque intervention il faut nécessairement vérifier les points suivants :

- Vérifier le serrage des différents bouchons.
- Ouvrir le circuit de refroidissement de la garniture mécanique.
- Vérifier le sens de rotation du moteur. Se référer à la flèche de rotation de la pompe.

- Installer tous les dispositifs de protection et notamment le protège-accouplement et la grille de protection du palier.
- Ouvrir toutes les vannes à l'aspiration (si existantes).
- Fermer la vanne au refoulement et le by-pass du clapet.
- Vérifier que toute la tuyauterie d'aspiration ainsi que la pompe elle-même soient bien remplies.
- Aérez la pompe pour laisser s'échapper tout l'air emprisonné, en prenant des précautions dans le cas de liquides chauds ou dangereux.

Recommandations :

Suivant les conditions hydrauliques de l'installation et son degré d'automatisation, les procédures d'arrêt et de démarrage peuvent avoir différentes formes. Toutes doivent néanmoins respecter impérativement les règles suivantes :

✓ Redémarrage :

- a. Garantir un remplissage complet de la pompe.
- b. Garantir une alimentation continue avec un NPSH disponible suffisant.
- c. Garantir une contre-pression de sorte que la puissance du moteur ne soit pas dépassée.
- d. Respecter la fréquence de démarrage imposée par le constructeur du moteur.
- e. Protéger la pompe contre les coups de bélier lors des séquences d'arrêt/démarrage.

✓ Mise hors service :

- a. Fermer la vanne de refoulement et arrêter le moteur. Fermer éventuellement la vanne à l'aspiration.
- b. En cas d'arrêt prolongé, il faut ouvrir le circuit de rinçage de la pompe pour protéger celle-ci contre le gel (solidification du produit).

Les interventions réalisées après la localisation, diagnostique et consultation de l'historique des pannes sont :

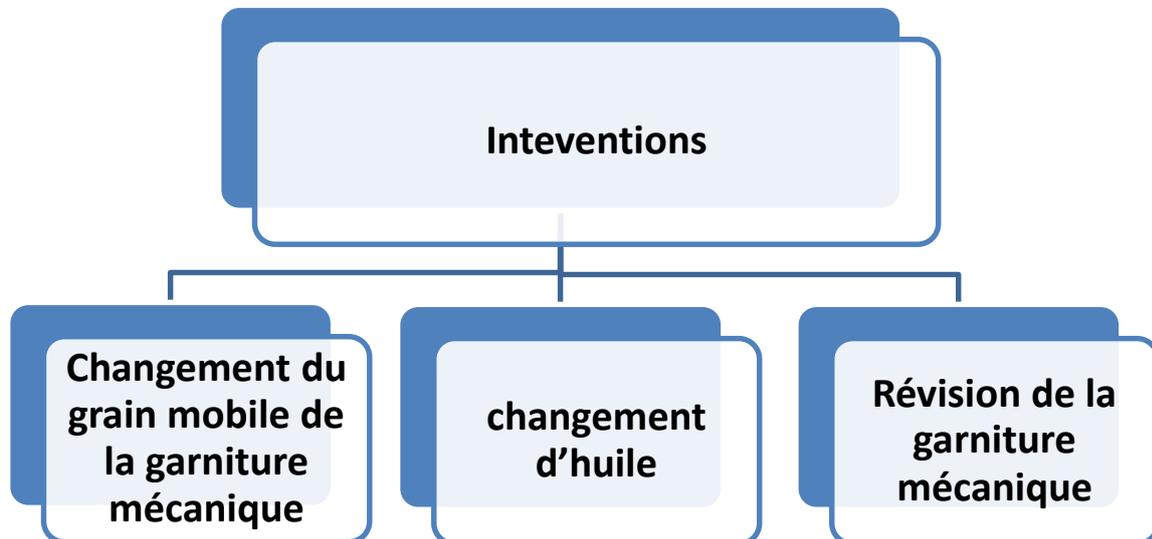


Figure IV.23: Interventions de maintenance de la pompe

IV.5.1 Analyse des problèmes de la pompe centrifuge 530 p 025

Boues est associé à l'étanchéité de liquides à haute viscosité. Le problème peut être aigu sur les pompes qui circulent des liquides d'hydrocarbures à des températures supérieures à la température ambiante. Lorsque le joint est fermé, la viscosité du liquide dans le film d'interface augmente à mesure que la température baisse. Des problèmes surviennent alors lors du redémarrage de l'équipement, lorsque la contrainte de cisaillement entre les faces du joint peut dépasser la résistance à la rupture du carbone, et que les particules sont extraites de la face et broyées entre les deux faces du joint correspondantes. Des boues peuvent également être provoquées lorsque le film d'interface se carbonise partiellement en raison d'une surchauffe.

Les recommandations

Rectification

- ✓ Une plaque d'étanchéité intégrant une chambre de chauffage peut être utilisée, à travers laquelle de la vapeur ou de l'huile chaude peut passer.
- ✓ Pour surmonter les problèmes de démarrage, il est nécessaire de préchauffer la zone de joint. Cela peut être réalisé par un traçage de vapeur ou des conduites de circulation de chauffage électrique, de la vapeur ou de l'huile chaude à travers la chemise de la pompe, et une trempe permanente à la vapeur à basse pression sous le joint via le raccord de trempe dans la plaque d'étanchéité.
- ✓ Vérifiez que la circulation vers le joint est adéquate et que la conduite ne se solidifie pas pendant l'arrêt.
- ✓ •Vérifiez que la viscosité du produit est dans les limites des capacités du joint, conformément aux limites de sélection des joints John Crane.

La lubrification (ou le flushing)

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

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

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé d'analyser quelques facteurs qui peuvent être considérées comme cause de défaillance d'une garniture mécanique ,et donc d'une pompe centrifuge P025, en donnant des recommandations à respecter durant tout le cycle de vie de la pompe à Slurry et en proposant des solution qui visent à fiabiliser le fonctionnement de celles-ci afin de garantir la disponibilité des ligne de production et de traitement des produits de raffinage.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été réalisé dans la zone pétrolière de la raffinerie d'Alger dans le but de collecter les informations nécessaires à la prise de décision de la maintenance qu'il serait judicieux d'appliquer aux pompes centrifuges monocellulaires à slurry utilisées dans l'industrie pétrolière algérienne.

La présente étude, m'a permis d'approfondir mes connaissances dans les domaines des industries des hydrocarbures en général et tout particulièrement au sujet des équipements de pompage utilisés dans le secteur du raffinage. Un organe essentiel dans ce secteur qui est la pompe. Celle-ci doit être souple, robuste, facile à entretenir et posséder une durée de service longue. Une bonne maintenance passe toujours par la connaissance approfondie de l'équipement ainsi que de ses différents organes et ses régimes de fonctionnement, et c'est ce que j'ai essayé de faire à travers cette étude.

Une analyse fonctionnelle de la pompe P025 a été réalisée suivi par une base d'analyse particulière qui est l'application de la méthode d'Ishikawa pour définir les causes possibles des dysfonctionnements observés sur la pompe. Ceux-ci sont essentiellement liés à la dégradation de la garniture mécanique, sujette au phénomène d'érosion abrasive, sous l'effet de la nature visqueuse du fluide et des particules abrasives qui y sont contenus.

Nous avons obtenu les résultats suivants:

- ✓ Erosion au niveau de la garniture mécanique (grain mobile)
- ✓ Fuite de fluide transporté par la pompe 350P025

Références bibliographiques

- [1] Documentation de la raffinerie d'Alger, «Manuel d'exploitation», 1964.
- [2] «Foster Wheeler», (Manuel d'exploitation, unité de distillation), 1963.
- [3] Armando LENCASTRE, Hydraulique générale.1961
- [4] Lemasson G, Les machines transformatrices d'énergie., 1982.
- [5] Jean Poulain, Technique de l'ingénieur, traité de génie mécanique, 1996.
- [6] "Formation TOTAL : MAINTENANCE MECANIQUE LES POMPES Manuel de formation EXP-MN-SE090-FR Dernière révision," Nov. 2008.
- [7] BASCAL BIGOT, "cours" : les pompes.01 Janv 2001
- [8] ENSPM Formation Industrie , 2005.
- [9] Batchelor A.W. Stachowiak G.W., *Engineering Tribology*, 1st ed., Elsevier, Ed., 1993.
- [10] Zhen Tan, Shibo Kuang, Aibing Yu Haoyu Wang, "Numerical modeling and analysis of particle-fluid flow and wall erosion in centrifugal slurry pumps under different solid concentrations," *Powder Technology* , vol. 410, p. 117861, 2022.
- [11] Man-HoeKim AdnanAslamNoon, "Erosionwearoncentrifugalpumpcasingduetoslurry flow," *Wear 103–111*, vol. 364-365, p. 103–111, 2016.
- [12] Mémoire fin d'étude M.bazemlal, M.gacem INGM promotion, 2009.
- [13] la maintenance distribuée :, 2001.
- [14] BOITEL Daniel ET HAZARD Claude, Guide pratique de la maintenance , Dec. 15, 2021.
- [15] normalisation française publié par AFNOR X60-011, June 1981.
- [16] ANTER LEBIDI, « Développement de la production d'un système électromécanique par une proposition d'une politique de maintenance efficace » , 2014.
- [17] AUBREVILLE Jean-Marie, Maintenance industrielle de l'entretien de base à l'opération de la sûreté, Edition ellipse , 2004.
- [18] Une fonction en évolution, des emplois en mutation , Apr. 2001.
- [19] Alain Bagnaud, Le diagramme d'Ishikawa : comment le construire ?, Aug. 31, 2018.

- [20] Prioriser et faites des choix avec le Pareto, Manuscrit non publié. 08 Nov 2003
- [21] (2023, May) https://www.clicours.com/generalites-sur-lamaintenance/?fbclid=IwAR0mPgGgP3kcTnbHdhb0mmZtwuWjmtFLwDQn_fqsUZKQHeVxvuSKQAM8-Zc.
- [22] SAADI et MADOUNI, : « Les stations de pompage dans les réseaux d'assainissement », 2014.
- [23] BERNARD, Technique d'ingénieur (B4320) pompe volumétrique pour liquides. 1999
- [24] Elsevier Ltd, Troubleshooting centrifugal pumps and their systems, copyrigh Elsevier Ltd. 05 Mai 1998
- [25] Formation, MAINTENANCE MECANIQUE LES POMPES Manuel de formation, Nov. 26, 2008.
- [26] M. Issam, Turbomachines Polycopie de Cours pour les 3eme année licence en électromécanique Uni BBA, 2019.
- [27] La norme AFNOR [FD X 60- 000] définit 5 niveaux de maintenance.02 Avrl 2001

Annexes

Annexe A

Les pompes volumétriques

Définition et principe de fonctionnement

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Son fonctionnement repose sur le principe suivant : exécution d'un mouvement cyclique. Pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé.

Ce mouvement facilite le transfert du liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe, c'est-à-dire entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement. En d'autres termes, le flux est généré par des modifications dans la capacité occupée par le liquide [6].

Les pompes volumétriques rotatives

Ces pompes fonctionnent grâce à une pièce mobile qui tourne autour d'un axe dans le corps de la pompe [6], générant ainsi un mouvement qui déplace le liquide pompé d'un point d'aspiration à un point de refoulement en déplaçant un volume de liquide.

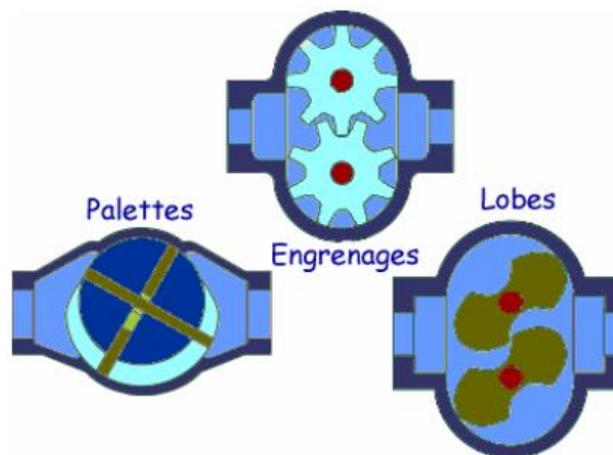


Figure V.1: Différents modèles des pompes volumétriques rotatives.

Les principaux types de pompes volumétriques rotatives sont les suivants :

- *Les pompes à engrenages*

Deux pignons sont placés dans un carter et tournent en sens inverse [22]. L'un des pignons (arbre primaire) entraînant l'autre. Le liquide aspiré est véhiculé par la périphérie des pignons. Le volume élémentaire est compris entre deux dents consécutives d'un pignon et le carter. Le retour de produit du refoulement vers l'aspiration est empêché par l'engrènement.

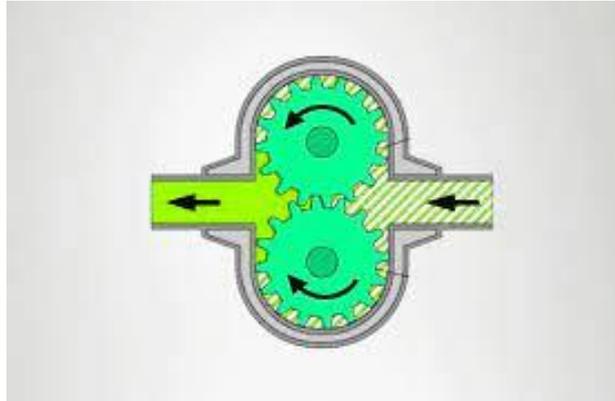


Figure V.2 : Pompe à engrenage [6]

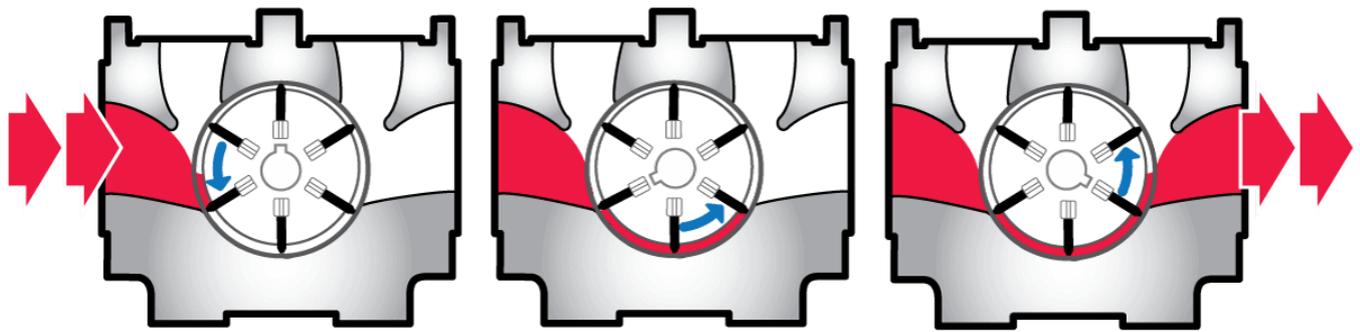
- *Les pompes à palettes*

Ces pompes sont constituées d'un corps cylindrique, d'un rotor cylindrique excentré dans lequel ont été aménagés des rainures et des palettes venant coulisser dans ces rainures.

Les palettes sont plaquées sur la périphérie du corps soit par le biais de la force centrifuge, soit par la présence de ressorts.

La position excentrée du rotor génère des volumes variables entre le corps et deux palettes consécutives. Dans leur cycle de rotation, des palettes vont se présenter devant l'orifice d'aspiration en offrant un volume croissant : Le fluide va être aspiré, puis emprisonné et véhiculé vers l'orifice de refoulement ou le volume va décroître : le fluide sera refoulé [6][4].

Les pompes à palettes sont utilisées pour transporter des produits abrasifs, corrosifs et cosmétiques.



Aspiration

Transfert

Refoulement



Figure V.3: Pompe à palettes [7].

- *Pompes à lobes*

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage.

Les rotors ne sont jamais en contact et pour ce faire, sont entraînés par des engrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible [23].

Les pompes à lobes sont utilisées pour transporter des produits alimentaires et chimiques.

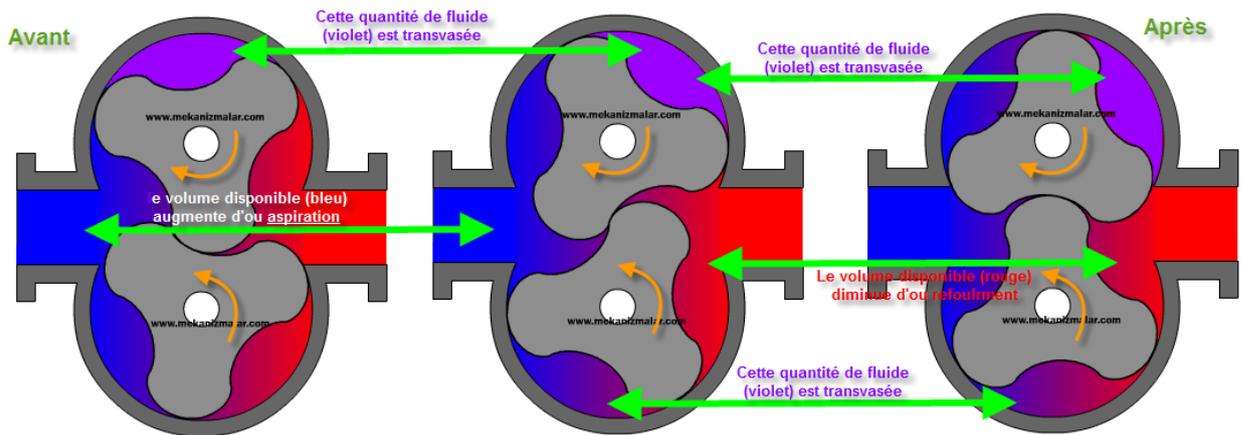


Figure V.4 : Pompe à lobes

Tableau V.1: Les avantages et les inconvénients des pompes à lobes

Les avantages

Les inconvénients

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Pas de contact entre les lobes. - Pompe réversible. Facile à nettoyer. - Possibilité d'adjoindre un by-pass. - Pompage de produits chargés ou abrasifs. | <ul style="list-style-type: none"> -Nécessite des engrenages d'entraînement extérieurs. - Encombrement assez important. -Nécessite deux boîtiers d'étanchéité. -Impose un suivi de maintenance régulier |
|--|---|

- *Pompes à vis*

Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice [23], les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3 000 tr/min).

La rotation de la vis crée une dépression à l'aspiration et une pression au refoulement dont les effets créent une circulation de l'huile.

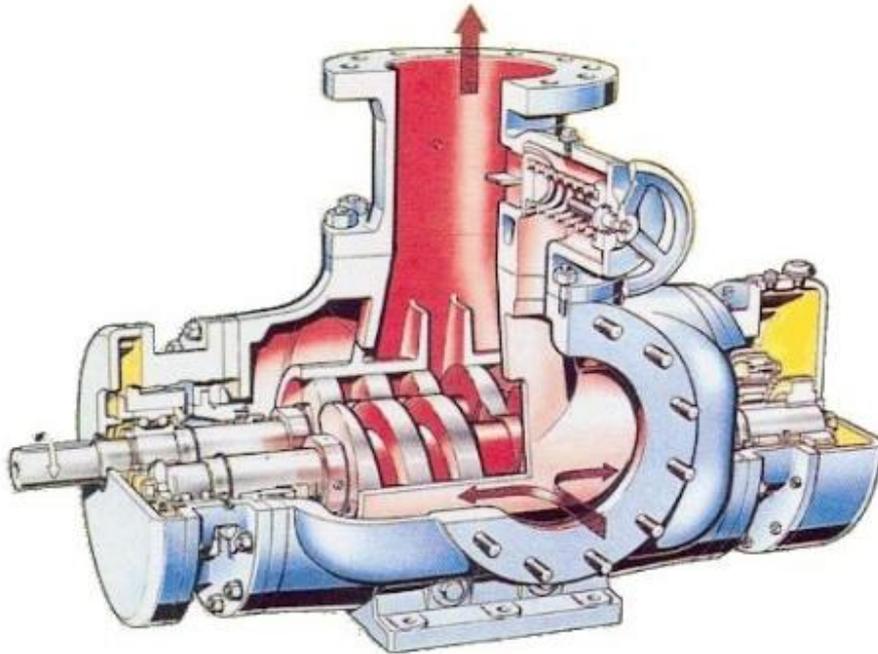


Figure V.5 : Pompe à vis (cas à 2 vis).

Tableau V.2 : Les avantages et les inconvénients des pompes à vis.

Les avantages

- **Le débit est régulier.**
- **La pompe est réversible.**
- **La pompe est silencieuse.**

Les inconvénients

- Elles n'admettent pas le passage de particules solides, sous peine de destruction totale du mécanisme

II.5.1.2 Les pompes alternatives

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif [23]. Les principaux types de pompes sont les suivants :

- À piston.
- À membrane ou à soufflets.

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes [24] :

- Le déplacement d'un piston animé d'un mouvement alternatif.
- La déformation d'une membrane.

On trouve :

- Les pompes à piston

Son principe est d'utiliser le mouvement du piston dans le cylindre. Ces actions sont effectuées en alternance sens ou autre pour réaliser les phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens et le liquide est comprimé : la vanne se ferme à l'entrée et s'ouvre à la sortie. L'opération est inversée lorsque : Aspirer du liquide dans la pompe

Les pompes ont une surface utile d'environ 80 m³ /h et pression de décharge [25], jusqu'à 25 bars.

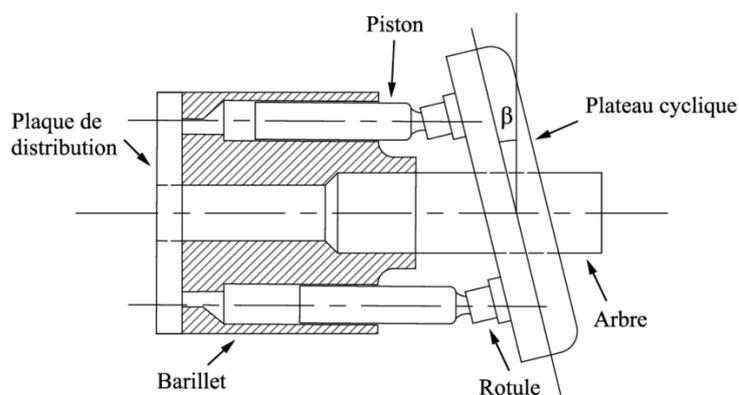


Figure V.6 : Pompe à piston

- *Les pompes à membranes*

Un piston comprime une huile auxiliaire [23], cette huile déforme une membrane qui comprime à son tour le fluide pompé. Ces pompes sont utilisées pour des débits moyens de l'ordre de 80 m³ /h, pour des températures inférieures à 150 °C et des viscosités faibles.

Les pompes à membranes sont utilisées pour transporter des produits corrosifs et volatils.

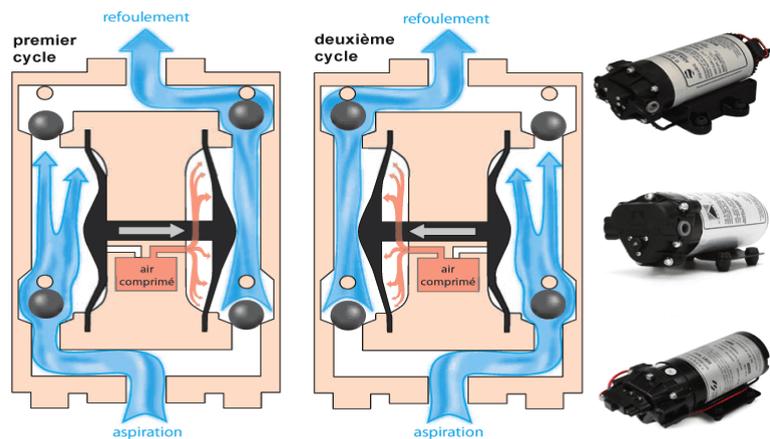


Figure V.7 : Pompe à membrane

Annexe B

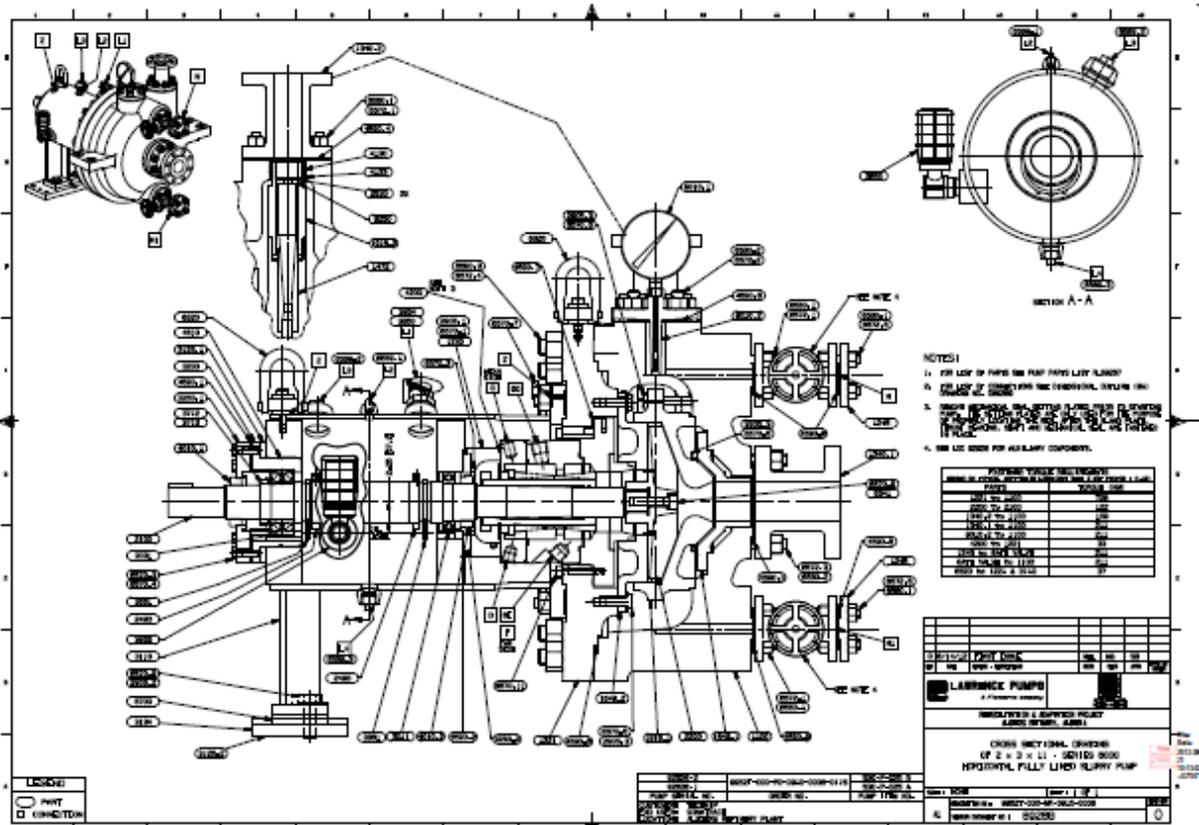
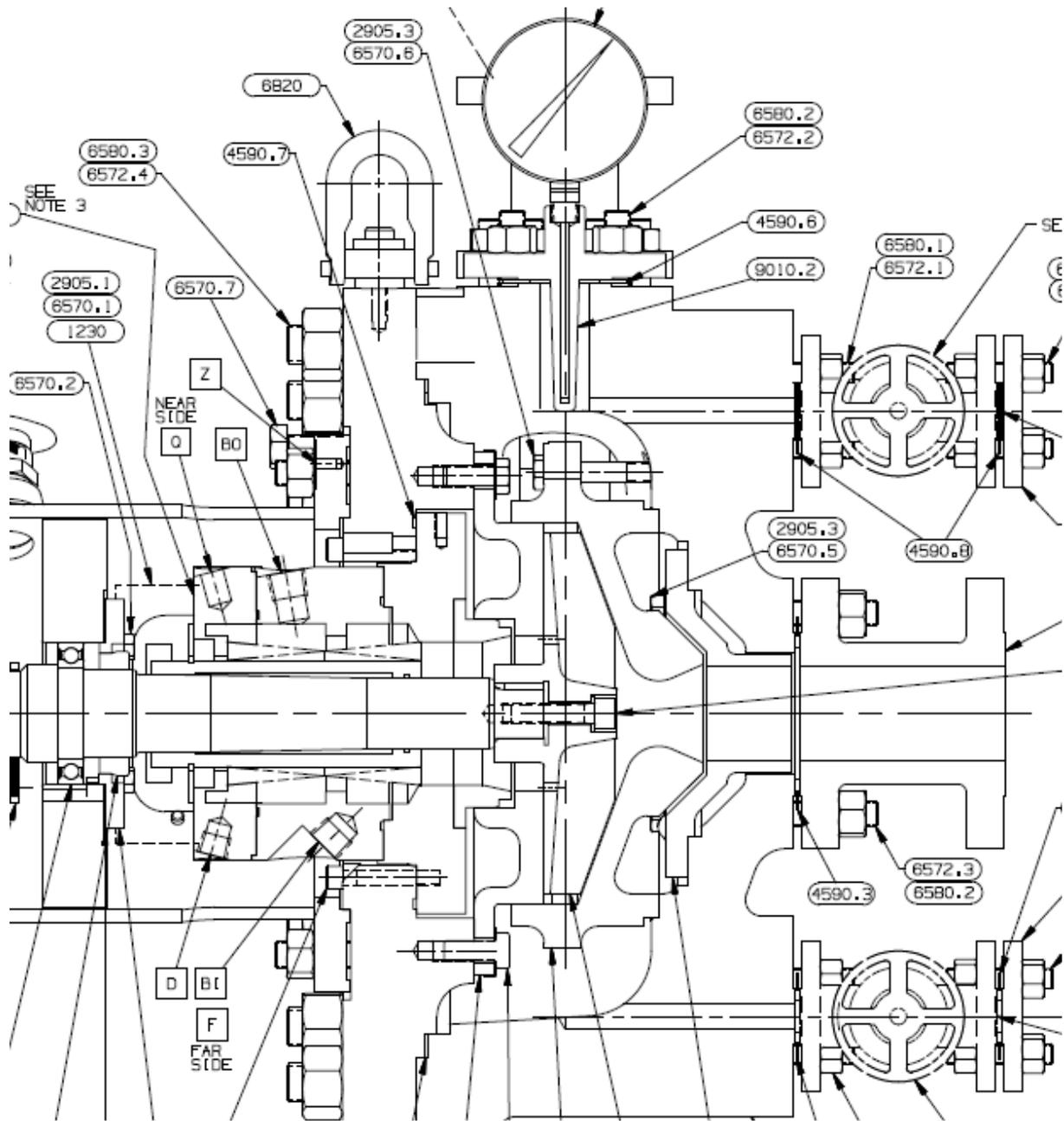
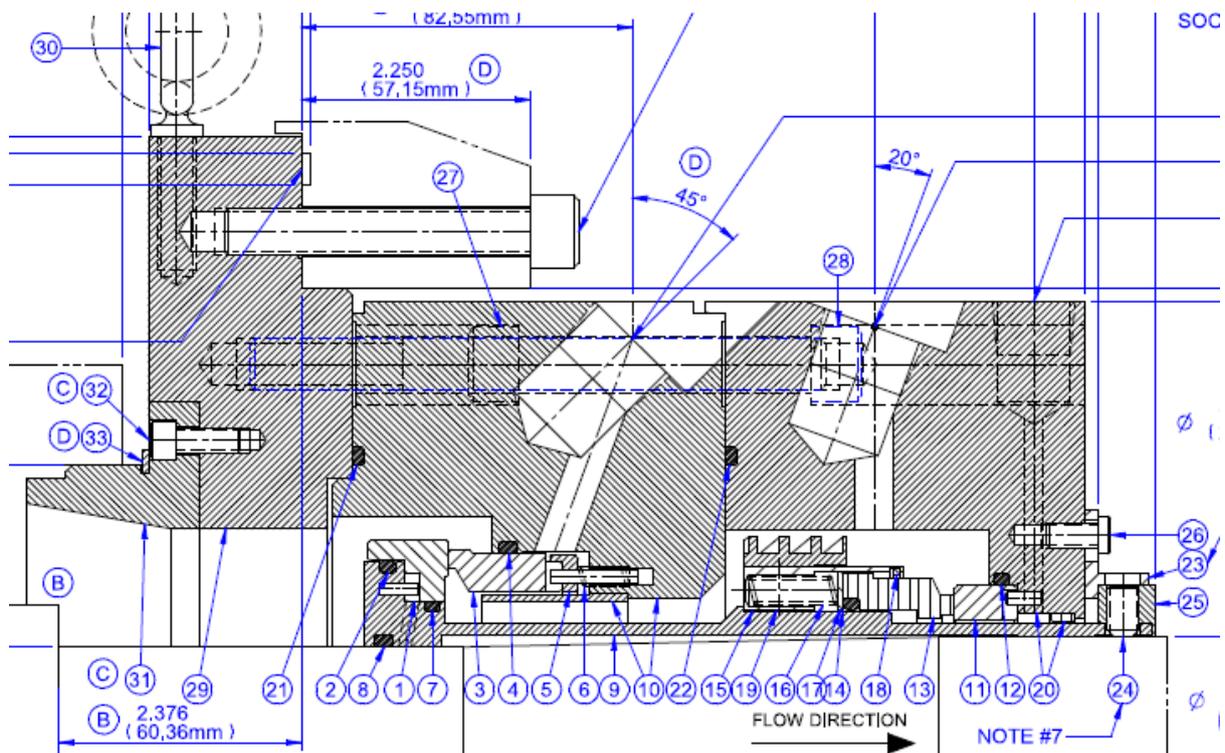


Figure V.8 : Dessin de définition de la pompe P025





ITEM	DRAWING No.	MATL CODE	DESCRIPTION	MATERIAL	SPARES	
					QTY	
1	TAB-1104-2875	9221	MATING RING	SILICON CARBIDE	1	X
2	0000-239	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
3	TAB-1103-2875	9221	PRIMARY RING	SILICON CARBIDE	1	X
4	0000-242	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
5	TAB-1105-2875	0550	DISC ASSEMBLY	316 SS	1	
6	1108	0690	SPRING	ALLOY C-276	12	X
7	0000-150	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
8	0000-227	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
9	H-2187-1393	0550	SLEEVE ASSEMBLY**	316 SS	1	
10	H-2187-1394	0550	INNER GLAND PLATE**	316 SS	1	
11	D-2626-740	9221	MATING RING	SILICON CARBIDE	1	X
12	0000-237	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
13	C48-2875-001	9048	PRIMARY RING	CARBON	1	X
14	0000-233	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
15	A48-2875-1111	0550	RET/PUMP RG ASSEMBLY***	316 SS	1	
16	4977	0690	SPRING	ALLOY C-276	12	X
17	A9-2875-014	0550	DISC	316 SS	1	
18	A9-2875-043	0550	SNAP RING	316 SS	1	
19	1125-2005-000	0550	CUP PT SET SCREW	316 SS	3	X
20	H-2187-1395	9398	OUTER GLAND PLATE	316 SS/CARBON	1	
21	0000-256	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
22	0000-256	9549	O-RING	FLUOROELASTOMER	1	X
23	H-0000-228	0570	SPACER	SINTERED 316L SS	4	
24	1731-2408-000	0236	KNURL PT SET SCREW	ALLOY STEEL	8	X
25	H-2376-361	0550	COLLAR	316 SS	1	
26	2125-2008-300	0550	LOW SCKT HD CAP SCREW	316 SS	4	X
27	2150-1348-000	0550	SCKT HD CAP SCREW	316 SS	4	X
28	2150-1388-000	0550	SCKT HD CAP SCREW	316 SS	4	X
29	H-2187-1396	0550	GLAND ADAPTER**	316 SS	1	
30	D-0375-535	0500	EYE BOLT	18-8 SS	1	
31	H-2187-1397	0620	BUSHING**	410 SS	1	
32	2125-2010-000	0550	SCKT HD CAP SCREW	316 SS	4	
33	4105-7500-002	0550	SNAP RING	316 SS	1	X

