

N° Ordre...../DGM/FT/UMBB/2024

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**



Faculté de Technologie Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

THEME

Etude FMD et application de la méthode AMDEC

Pour la pompe d'expédition G111

Présenté par :

NEDJAR Alaa Eddine

SAHRAOUI Younes

Promoteur : M^{me} BAHLOUL

Encadreur : M^R. MEZIOUD

Co-promoteur : M^R. NEDJAR

Promotion 2024- 2025

Remerciements

Le grand remerciement revient à ALLAH qui nous a donné la force, la patience et le courage à réaliser et terminer ce modeste mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice Madame BAHLOUL pour nous avoir encadrés durant notre projet de fin d'études et nous conseillé tout le long de notre travail.

Nous remercions notre Co-promoteur
Mr NEDJAR SAMI

Nous remercions notre encadreur
Mr MEZIOUD SMAIL

Et l'ensemble des travailleurs du SONATRACH pour leur modeste contribution à l'élaboration de ce travail, que la grâce d'ALLAH soit avec vous.

Nous remercions aussi les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de participer à notre soutenance Nous remercions tous les enseignants, qui ont contribué durant nos études.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail.

*A ma très chère mère et à mon très cher père, en
Témoignage et en gratitude de leurs dévouements, de
Leur soutien et prières durant toutes mes années
D'études, de leurs sacrifices illimités, leur réconfort
Moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon
Éducation, mon instruction et pour me permettre
D'atteindre ce but.*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon
Courage, à qui je dois de l'amour et de la
Reconnaissance.*

A toute ma famille,

A mes chères frères et sœur ,

A mes amis

A tous ceux qui m'aiment

Sahraoui Founes



Dédicace

Je dédie ce Modest travail :

A ma très chère mère et à mon très cher père (رحمه الله)

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout
au long de mes études,*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon
Courage, à qui je dois de l'amour et de la
Reconnaissance.*

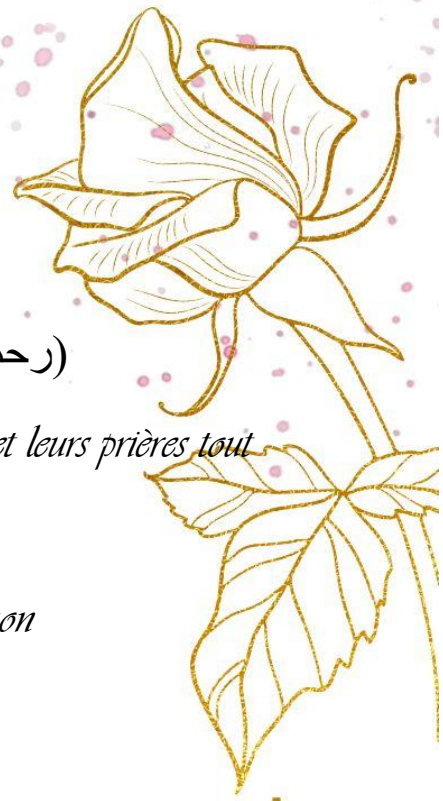
A mes chères sœurs et frère,

A mes amis,

A tous ceux que j'aime et à ceux qui m'aiment

A toute ma famille,

Hedjar alaa eddin



Résumé

Ce travail porte sur l'étude AMDEC de la pompe G111, une pompe centrifuge horizontale à deux étages installée en 1962 dans la raffinerie d'Alger. Cette pompe est utilisée pour l'expédition du fuel oil. L'objectif principal de cette étude est d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'analyser leur criticité, et de proposer des actions correctives permettant de traiter les défaillances une fois survenues. L'analyse AMDEC vise à améliorer la fiabilité de l'équipement par une meilleure compréhension des défaillances et des réponses à leur apporter.

Mots-clés : AMDEC, fiabilité, pompe centrifuge, actions correctives.

Abstract

This study focuses on the FMEA analysis of the G111 pump, a horizontal two-stage centrifugal pump installed in 1962 at the Algiers refinery. The pump is used for fuel oil shipment. The main objective is to identify potential failure modes, assess their criticality, and propose corrective actions to respond effectively once failures occur. FMEA analysis aims to improve equipment reliability through better understanding of failures and appropriate corrective responses.

Keys-words: FMEA, reliability, centrifugal pump, corrective actions.

ملخص

يتناول هذا العمل دراسة تحليل أسباب الأعطال وتأثيراتها (AMDEC) للمضخة G111 ، وهي مضخة طاردة مركزية أفقية ذات مرحلتين تم تركيبها سنة 1962 في مصفاة الجزائر. تُستخدم هذه المضخة في عملية شحن زيت الوقود. يهدف هذا التحليل إلى تحديد أوضاع الأعطال المحتملة، وتقييم خطورتها، واقتراح إجراءات تصحيحية للتعامل مع الأعطال عند حدوثها. يساعد تحليل AMDEC في تحسين موثوقية المعدات من خلال فهم أفضل للأعطال وكيفية معالجتها.

كلمات مفتاحية: تحاليل ، الموثوقية، مضخة طاردة مركزية، إجراءات تصحيحية.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Introduction Générale 1

Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Alger 2

I.1 Introduction 3

I.2 Histoire de la raffinerie..... 3

I.3 Présentation de la raffinerie d'Alger 4

I.4 Situation géographique de la raffinerie 4

I.5 Organigramme de la raffinerie d'Alger : 5

I.6. Atelier de maintenance:..... 5

I.7 PRINCIPALES INSTALLATIONS DE LA RAFFINERIE 6

I.7.1 Unité de distillation atmosphérique (Unité 100)..... 6

I.7.2. Unité 200 : Unité de plateforming (reforming catalytique) 9

I.7.3. Unité 300 : Unité gaz plant (traitement de séparation) 9

I.7.4 Parc de stockage..... 10

I.7.5 Pomperie 10

I.7.6 Unité de craquage catalytique (RFCC) 11

I.7.7 Section MS BLOC 11

I.8 Section Sulfure BLOC 12

I.8.1 Utilités..... 12

I.8.2 Salle de contrôle..... 13

I.8.3 Laboratoire 13

I.8.4 Ateliers de maintenance 14

I.8.5 PCI 14

I.8.6 Bloc ADM..... 14

I.9 Conclusion..... 15

Chapitre II Généralités sur les pompes : description de la pompe d'expédition G111 ... 16

II.1 Introduction..... 17

II.2 Classification des pompes [3]..... 17

II.3 Types des pompes 18

II.3.1	Pompes volumétriques.....	18
II.3.1.1	Pompes volumétriques alternatives	19
II.3.1.2	Pompes volumétriques rotatives.....	19
II.3.1.3	Avantages des pompes volumétriques	20
II.3.1.4	Inconvénients des pompes volumétriques.....	20
II.3.2	Pompe alimentaire	21
II.3.2.1	Rôle de la pompe alimentaire	21
II.3.2.2	Constitution de la pompe alimentaire.....	22
II.3.3	Principe de fonctionnement d'une pompe alimentaire	22
II.3.4	Pompes centrifuges.....	23
II.3.4.1	Domaines d'applications :.....	23
II.3.3.2	Eléments d'une pompe centrifuge	24
II.3.3.3	Principe d'une pompe centrifuge.....	25
II.3.3.4	Classification des pompes centrifuges [7].....	25
II.3.3.5	Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :.....	26
II.3.3.6	Environnement d'une pompe centrifuge en unité :.....	27
II.3.3.7	Caractéristiques des pompes centrifuges.....	27
II.3.4.	Pompe Hélico-centrifuge :	30
II.4	Description de la pompe d'expédition g111	30
II.4.1	Rôle de la pompe G111 :.....	31
II.4.2	Situation géographique de la pompe :	31
II.4.3	Caractéristiques de la Pompe G111.....	32
II.4.4	Organes constitutifs de la pompe G111 :.....	32
II.4.5	Autres organes constitutifs de la pompe :.....	37
II.5	Conclusion	37
Chapitre III : Etude de la fiabilité du pompe G111		38
III.1	Introduction	39
III.2	Fiabilité	39
III.2.1	Définition.....	39
III.2.2	Notions de fiabilité d'un système.....	39
III.2.3	Objectifs de la fiabilité	39
III.2.4	Caractéristiques de la fiabilité	40
III.2.5	Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	40
III.2.7	Modèle de Wei bull.....	41
III.2.7.1	Densité de probabilité.....	41
III.2.7.2	Fonction de répartition	41
III.2.7.3	Fonction de fiabilité R(t).....	41

III.2.7.9	Domaine d'utilisation	44
III.2.7.10	Recherche de γ	44
III.2.7.11	Recherche de η	45
III.2.7.12	Recherche de β	45
III.3	Maintenabilité.....	45
III.3.1	Taux de réparation μ	46
III.4	Disponibilité.....	46
III.4.1	Types de la disponibilité	46
III.4.1.1	Disponibilité intrinsèque.....	46
III.4.1.2	Disponibilité instantanée	46
III.5	Calcul de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité de loi de Wei bull.....	47
III.5.1	Détermination des paramètres.....	49
III.5.1.1	Recherche de MTBF	49
III.5.1.2	Recherche de l'écart δ	49
III.5.1.3	Probabilité de bon fonctionnement.....	49
III.5.1.4	Probabilité de défaillance cumulée $F(t)$:.....	49
III.5.1.5	Taux de défaillance en fonction de MTBF.....	49
III.5.1.7	Comportement du matériel :	49
III.5.2	Calcul de la maintenabilité MTTR.....	50
III.5.2.1	Taux de réparation μ	50
III.5.3	Calcul de disponibilité	50
III.5.3.1	Calcul de l'indisponibilité.....	50
III.5.3.2	Interprétation.....	50
III.6	Interprétation de courbe de la figure :	50
III.7	Conclusion :.....	51

Chapitre IV : Généralités sur la maintenance et l'application de l'analyse AMDEC..... 52

IV.1	Introduction.....	53
IV.2	Historique	53
IV.3	Définition d'AMDEC	53
IV.4	Objectifs de l'AMDEC.....	53
IV.5	Types d'AMDEC.....	54
IV.5.1	AMDEC Produit (Design FMECA)	54
IV.5.2	AMDEC Processus (Process FMECA)	54
IV.5.3	Système AMDEC (System FMECA).....	54
IV.5.4	Maintenance par AMDEC (Maintenance FMECA).....	55
IV.5.5	Logiciel (AMDEC Software FMECA).....	55
IV.6	Avantages et les inconvénients de L'AMDEC	55

IV.7	Construction de la grille d'évaluation :	55
IV.7.2	Gravité G	56
IV.7.3	Détection D	57
IV.7.4	Calcul de la criticité C	58
IV.8	Application de la méthode AMDEC a la pompe d'expédition G111	59
IV.9	Définition de la maintenance	67
IV.10	But de la maintenance	67
IV.11	Objectifs de la maintenance	67
IV.12	Différents types de la maintenance	68
IV.13	Fonctions principales du service maintenance	69
IV.14	Cinq niveaux de la maintenance	70
IV.15	Conclusion	70
	Conclusion générale	72

Référence bibliographiques

Liste des figures

Figure I.1: Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger	4
Figure I.2 : Organigramme de la raffinerie SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE d'Alger [1]	5
Figure I.3 : service maintenance. [1]	5
Figure I.4: schéma de l'unité 100	8
Figure II.1: Les types des pompes industrielles.	18
Figure II.2: Les types des pompes volumétriques	19
Figure II.3: Pompe alternative – volumétrique	19
Figure II.4: Schéma d'une pompe volumétrique rotative	20
Figure II.5: pompe alimentaire	21
Figure II.6: Les composants d'une pompe alimentaire	22
Figure II.7: pompe centrifuge / cenrifugal pump.	23
Figure II.8: Principales éléments d'une pompe avec différents conception d'impulseur.	24
Figure II.9: Environnement d'une pompe centrifuge en unité.	27
Figure II.10: Courbe caractéristique présente le Point de fonctionnement pour une pompe.	29
Figure II.11: pompes hélico centrifuge	30
Figure II.12: Vue extérieure de pompe	31
Figure II.13: installation de pompe G111	32
Figure II.14: Différent vues d'un Impulseur	33
Figure II.15: Volute	33
Figure II.16: Diffuseur	34
Figure II.17: Arbre	34
Figure II.18: Palier	35
Figure II.19: Chemise d'arbre	35
Figure II.20: Accouplement	36
Figure II.21: Garniture mécanique montée sur l'arbre	36
Figure II.22: tubulures d'aspiration et de refoulement.	37
Figure III.1: Distribution de la fonction de loi exponentielle	41
Figure III.2: courbe en baignoire	42
Figure III.3: Paramètres de forme	43
Figure III.4: Papier de weibull [15]	44

Figure III.5: Redressement de la courbe par translation.....	45
Figure III.6: Paramètre d'échelle.....	45
Figure III.7: Le nuage des points de TBF en fonction de $F(t)\%$	48
Figure III.8: histogramme de $F(t)$ et $R(t)$	48
Figure IV.1: Circuit d'expédition de SLURY vers port	59
Figure IV.2: schéma de Circuit d'expédition de SLURY vers port.....	60
Figure IV.3: courbe de Pareto.....	66
Figure IV.4: Organigramme sur les types de maintenance.	68
Figure IV.5: Organigramme des fonctions principales du service maintenance	69

Liste des Tableaux

Tableau I.1: Produits finis et leurs destinations.	7
Tableau I.2: Mouvements des produits entre la raffinerie, les dépôts et le port	10
Tableau I.3: Capacités annuelles de production de la raffinerie d'Alger[2]	14
Tableau II.1: Caractéristiques de la Pompe G111	32
Tableau III.1: calcul de fiabilité de la pompe G111 (2015-2025)	47
Tableau IV.1: Tableau de l'historique [21]	53
Tableau IV.2: Niveaux de fréquence	56
Tableau IV.3: Niveau de gravite	57
Tableau IV.4: critère de détection D	57
Tableau IV.5: calcule de la criticité C [6]	58
Tableau IV.6: niveau de criticité	59
Tableau IV.7: AMDEC moteur	61
Tableau IV.8: AMDEC pompe centrifuge	62
Tableau IV.9: AMDEC accouplement	63
Tableau IV.10: AMDEC Circuit d'aspiration	63
Tableau IV.11: AMDEC Circuit de refoulement	64
Tableau IV.12: Classification des niveaux des criticités	65

Abréviations :

TTR: Temps de réparation

TBF: Temps de bon fonctionnement défaillances

R(t): Fonction de fiabilité

F(t): Fonction de défaillances

f (t): Densité de probabilité

λ (t): Taux de défaillance

MTTR: Moyenne de temps de réparation

μ : temps de réparation

MTBF : Moyenne de Temps de bon fonctionnement

F: Fiabilité

M: Maintenabilité

D: Disponibilité

β : Paramètre de forme

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle

B : coefficient

A : coefficient

AMDEC: Analyse des Modes des Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

Notation et Symboles :

P : Pression.

Pa : Pression d'Aspiration.

Pr : Pression de Refoulement.

T : Température.

Ta : Température d'Aspiration.

Tr : Température de Refoulement.

V : Volume.

C: criticité

G: gravité

F: fréquence d'occurrence

D: détectabilité

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans un contexte industriel en constante évolution, la fiabilité et la disponibilité des équipements sont devenues des enjeux majeurs. Elles garantissent la continuité, la sécurité et la rentabilité des opérations. Dans le secteur pétrolier, la défaillance d'un équipement critique peut engendrer des pertes économiques importantes, des arrêts non planifiés et des risques environnementaux.

La pompe G111, une pompe centrifuge horizontale à deux étages installée en 1962 à la raffinerie d'Alger – Sidi Arcine, joue un rôle clé dans le transfert du fuel oil. Après plusieurs décennies de service, une réévaluation de son état devient nécessaire afin d'anticiper les pannes et de préserver sa performance.

Ce projet de fin d'études porte sur l'application de la méthode AMDEC corrective (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) à cette pompe. L'objectif est d'identifier les modes de défaillance critiques, d'en analyser les causes et les effets, et de proposer des actions correctives adaptées pour améliorer sa fiabilité.

La démarche suivie s'articule comme suit :

- Nous ouvrons ce travail par une introduction générale, qui présente le contexte industriel de l'étude, les objectifs visés, ainsi que la démarche méthodologique adoptée.
- Une présentation de la raffinerie d'Alger et des installations liées à la pompe G111 ;
- Des rappels sur les pompes industrielles et une description technique détaillée de la pompe étudiée ;
- Une analyse FMD (Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité) à partir des données réelles d'exploitation ;
- L'application de l'AMDEC corrective pour recenser les défaillances critiques et recommander des actions concrètes de maintenance.

Chapitre I : Présentation de la Raffinerie d'Alger

I.1 Introduction

En Algérie, l'industrie de raffinage est née avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi Massoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérantes dans le cadre de la recherche et l'exploitation de brut.

Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures.

I.2 Histoire 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 son tour ; séparé de l'activité distribution est dérivé 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 12 000 000 000 de DA dénommée Société nationale de raffinage de pétrole Naftec Spa.

En 2009, la société Naftec a été dissoute et a été récupérée 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 déstockage.

En 1971, un piquage a été effectué au niveau de Beni-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 12^{ème} parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2^{ème} exportateur de GPL et 3^{ème} exportateur de gaz naturel.

L'Algérie dispose de Cinq raffineries : La Raffinerie d'Alger, La Raffinerie de HASSI MESSOUD, 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 Situation géographique de la raffinerie

Le choix géographique de la raffinerie a été bien étudié, grâce à sa nappe d'eau qui lui permet une alimentation en continue des systèmes de refroidissement.

La raffinerie d'Alger se situe au nord du pays plus précisément au centre à Sidi Arcine Baraki à 5km au sud de la ville de El-Harrach et à 20Km à l'est d'Alger,

Le site de la raffinerie d'Alger occupe une superficie totale de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) et est délimitée :

- Au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre en flûteur
- Au Nord par les habitons d'El Harrach
- Au Sud par les habitations de Baraki
- Au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVIT AVAL/DIVISION RAFFINAGE et les siège de Sonatrach/TRC
- Au Nord, Nord-Ouest, Sud-Ouest Est par des terrains agricoles. [1]



Figure I.1: Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger

I.5 Organigramme de la raffinerie d'Alger :

Schéma suivant présente l'organigramme de la raffinerie d'Alger (Figure 2)

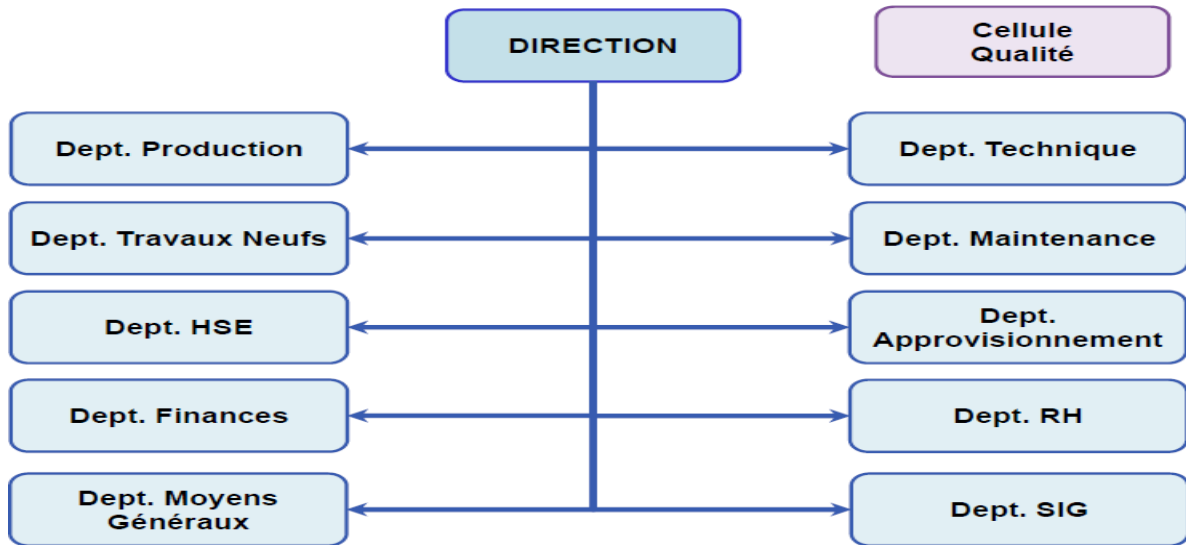


Figure I.2: Organigramme de la raffinerie SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE d'Alger [1]

I.6 Atelier de maintenance :

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

Maintenance(G): planning et méthode:

C'est la plaque tournante de la maintenance à travers le programme journalier de travail.

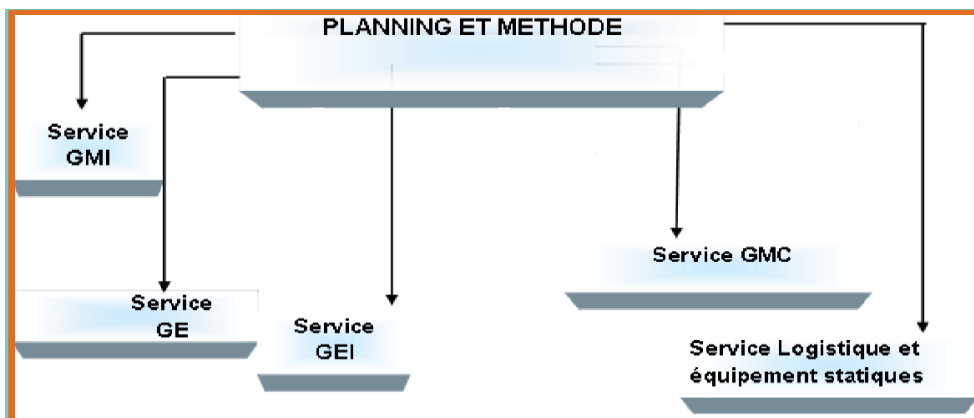


Figure I.3: service maintenance. [1]

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 avec le permis de travail (à froid ou à chaud). La décision est prise après une réunion des responsables de : zone, sécurité et le chef de département mécanique.

I.7 PRINCIPALES INSTALLATIONS DE LA RAFFINERIE

La raffinerie d'Alger dispose de plusieurs installations de production, notamment : [2]

I.7.1 Unité de distillation atmosphérique (Unité 100)

A partir des bacs de stockage A301, A302, A303 le pétrole brut de Hassi- Messaoud ou le mélange de brut Hassi-Messaoud avec des proportions variables n'excédant pas 28% en poids de condensât Hassi-R'Mel, est pompé à une température de 27°C au moyen des pompes verticales P101A, P101B, P101C.

Cette unité a pour but de fractionner le brut en produits finis : Kérosène ; gas-oil moteur; fuel et GPL (Butane et Propane) qui seront directement stockés avant d'être commercialisés, ainsi qu'en produits intermédiaires : solvants léger et lourds qui serviront de charge pour l'unité de reforming catalytique. Sa capacité de traitement est de 2 700 000 tonnes/an.

A partir des bacs de stockage A301, A302, A303 le pétrole brut de Hassi- Messaoud ou le mélange de brut Hassi-Messaoud avec des proportions variables n'excédant pas 28% en poids de condensât Hassi-R'Mel, est pompé à une température de 27°C au moyen des pompes verticales P101A, P101B, P101C.

Cette unité a pour but de fractionner le brut en produits finis : Kérosène ; gas-oil moteur ; fuel et GPL (Butane et Propane) qui seront directement stockés avant d'être commercialisés, ainsi qu'en produits intermédiaires : solvants léger et lourds qui serviront de charge pour l'unité de reforming catalytique. Sa capacité de traitement est de 2 700 000 tonnes/an.

L'unité de distillation atmosphérique comprend :

- Un train de préchauffe.
- Un ballon de flash D102.
- Un four F501.
- Un ballon fuel-gaz D107 pour alimenter le four F501.
- Une colonne de distillation atmosphérique C101.

- Une Tour de début animation C104.
- Une Tour de redistillation C105. [1], [2]

Tableau I.1: Produits finis et leurs destinations

Produits	Destinations
GPL	Charge pour l'unité Gaz-plant
Essence SR	Base pour les essences Base pour les naphthas export
Solvant léger (97- 108°C)	Utilisé comme charge du reforming en mélange avec le solvant lourd Base pour naphtha export
Solvant lourd (168-178°C)	Utilise comme charge de l'unité du reforming en mélange avec le solvant léger. Base pour naphtha export
Kérosène (228-238°C)	Jet –A1 pour aviation
Gas-oil Léger (278-289°C)	Carburant diesel
Distillat (330-340°C)	Utilisé comme combustible pour chaudière et en mélange avec du résidu pour la fabrication du fuel-oil BTS

I.7.2. Unité 200 : Unité de platforming (reforming catalytique)

L'unité d L'unité 200 est une unité de reforming catalytique aussi appelée Platforming. Son but est d'augmenter l'indice d'octane des solvants lourds et légers fabriqués par l'unité 100. C'est une base principale pour la fabrication des carburants automobile (essence normal et super). Cette unité comporte les circuits : catalytique, stabilisateur et générateur de vapeur.

L'unité de reforming catalytique comprend :

- Un train de préchauffe
- Un réacteur de garde (R201) utilisant un catalyseur pour retenir les poisons contenus dans la charge.
- Une section catalytique avec deux fours (F202 et F203 avec petite et grande cellule), trois réacteurs (R202, R203, R204) et un ballon séparateur d'hydrogène D203.
- Un ballon fuel-gaz D214 pour alimenter les fours F202, F203, F204.
- Un turbocompresseur (K201).
- Une section de stabilisation avec une colonne (C202) et un four F204 : pour chauffer le fond de la colonne afin de séparer les GPL du plat- format et l'envoyer vers l'unité de gaz-plant.

I.7.3. Unité 300 : Unité gaz plant (traitement de séparation)

Cette unité permet la séparation et le traitement des gaz venant des deux unités précédentes, pour produire le propane et le butane commerciaux liquéfiés.

Elle a été dimensionnée pour traiter le produit liquide venant des accumulateurs de tête des débutaniseurs de l'unité de distillation et de l'unité de reforming afin d'obtenir du propane et du butane commercial. Ces derniers vont traverser des systèmes de purification contenant des tamis moléculaires afin de les débarrasser de toute trace d'humidité et de produits sulfurés.

L'unité 300 comprend :

- ✓ Un ballon tampon D301.
- ✓ Un déthaniseur C301.
- ✓ Un ballon séparateur D302.
- ✓ Un dépropaniseur C302.
- ✓ Un ballon séparateur D303.
- ✓ Traitement butane et propane par des tamis moléculaires (C303A et D305 pour C3, C303B et D307 pour le C4).

I.7.4 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.

I.7.5 Pomperie

La pomperie comprend une aire maçonnerie recevant les pompes et les distributeurs (pipes). Elle est dotée de plusieurs pompes telles que :

- ✓ **G117 (AB)** : supprimeur sert à augmenter la pression à l'entrée de la pompe G118.
- ✓ **G118 (AB)** : expédition de trois produits vers CHIFFA (Gas-oil, super 96, CA89).
- ✓ **G112 (AB)** : expédition jet A1 vers AVM.
- ✓ **G106 (AB)** : expédition de naphta, gas-oil, kérosène, carburants vers El Harrach, Caroubier, Port.
- ✓ **G111 (AB)** : expédition de fuel-oil vers le port.
- ✓ **G114 (AB)** : expédition de super 96, CA89 vers dépôt (El Harrach, Caroubier, Port) et l'éthylation.
- ✓ **G115 (AB)** : aspiration de l'essence SR et de solvant total vers la table d'éthylation. (C'est une pompe vertical qui est conçue pour les légers).

Cette unité a deux rôles :

a. Expédition des produits :

- ✓ 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 d'oléoducs, chaque oléoduc est muni d'un compteur, ces indications sont retransmises à la salle de contrôle

Tableau I.2: Mouvements des produits entre la raffinerie, les dépôts et le port

Produits	Ø oléoduc	Dépôts	Destination
Jet A1	10"	AVM	Dar El Beida
//	16"	AC4	El Harrach
Gas-oil	16"	16A	El Harrach
//	16"	168A, 168B, 169	Caroubier

CA/SP	16"	16A	El Harrach
CA/SP	16"	168A, 168B, 169	Caroubier
Fuel	10"	A82	Port d'Alger
Naphta	16"	Port	Port (navire)
	10"		
CA/SP		Chiffa	Chiffa
Gasoil	10"	Chiffa	Chiffa

Les communications entre la raffinerie et les divers dépôts se font actuellement par téléphone et talkie walkies.

b. Ethylation :

La fabrication de l'essence normale (CA89) et (SP96) à partir d'un mélange composée :

- Plat format.
- Solvant total.
- Essence SR.
- PTE (plomb tétraéthyle).
- Butane

L'addition du plomb tétraéthyle (ou tétraméthyle) se fait en cours de mélange. Le (PTE) est aspiré à partir d'un ballon de stockage au moyen d'un éjecteur dans lequel circule l'essence

I.7.6 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.

I.7.7 Section MS BLOC

Cette section se compose de trois unités :

a. 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.

b. Unité d'isomérisation des naphthas (U-510)

Cette unité est dédiée à l'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.

c. 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 naphtha à haut indice d'octane, afin de le mélanger et obtenir des essences à fort indice d'octane.

I.8 Section Sulfure BLOC

Cette section se compose de quatre unités, à savoir :

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

I.8.1 Utilités

- a. 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 eau de la SEAL via un pipeline. Cette unité distribue ensuite l'eau aux divers utilisateurs de la raffinerie.
- b. 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.
- c. Unité d'eau anti incendie (Unité 741).
- d. 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 turbogénérateur à gaz (GasTurbine Generator, GTG) et d'un turbo-générateur à vapeur (Steam Turbine Generator,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.

- e. 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 dé cokage des fours, etc.
- f. 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.
- g. 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.
- h. 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 le dés aérateur de la nouvelle unité CPP (U-751).
- i. 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.
- j. 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).

I.8.2 Salle de contrôle

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

I.8.3 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 afférentes.

I.8.4 Ateliers de maintenance

A pour missions de maintenir les installations de la raffinerie dans un parfait état de fonctionnement selon les normes établies et de la politique de la Société et la réalisation du plan de maintenance des équipements.

I.8.5 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 afférentes.

I.8.6 Bloc ADM

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

- **Capacité de Production**

Le raffinage a pour but de séparer et d'améliorer la qualité des produits composant le pétrole de façon de répondre à la demande en différents produits commerciaux.

La raffinerie d'Alger traite 3,6 millions de tonnes par an de pétrole brut saharien. Elle permet de couvrir 95% des besoins en carburants de la région Centre en Algérie,

Les capacités annuelles de production des différentes unités sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I.3: Capacités annuelles de production de la raffinerie d'Alger[2]

DESIGNATION	REALISATION
BRUT HASSI MESS	3 574 907
SLOPS	56 808
NAPHTA COLORE	0
M.T.B.E	29 496
TOTAL CHARGE	3 661 211
PROPANE	43 497
BUTANE	120 988
TOTAL G.P.L	164 485
ESSENCE S/ PLOMB 91	1 074 358
ESSENCE S/ PLOMB 95	2 388
NAPHTA	329 200
JET A1	237 996
GAS-OIL M.I	1 218 500

FUEL-OIL B.T.S	363 198
SOUFRE	0
SLURRY	57 753
TOTAL CARBURANTS	3 283 394
TOTAL PDTS FINI	3 447 878
VARIATION STOCKS	50 154
PERTES	25 449
COMBUSTIBLES	137 730
TOTAL PERTES & COMB	213 333

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur les différentes unités de l'ancienne raffinerie, ainsi que le processus de production des ces trois principales unités la 100, et 200 et 300. Les différentes parties de ce procédé ont été exposé afin de bien comprendre le cycle de fonctionnement des ces dernières.

Chapitre II : Généralités sur les pompes et description de la pompe d'expédition G111

II.1 Introduction

De nos jours les machines hydrauliques jouent un rôle primordiale dans l'industrie car elle sanscrit dans les énergies renouvelables qui se base sur l'utilisation de l'énergie hydraulique parmi ces machines on distingue les pompes qui font objet de notre travail de fin d'études Master se sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression

Leur fonctionnement consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

Dans ce deuxième chapitre nous allons présenter des notons générales sur les pompes, classification, domaine d'application, principe de fonctionnement ainsi que l'avantage et inconvénients

II.2 Classification des pompes [3]

On peut classer les pompes de plusieurs façons. Les mouvements retransmis aux organes des pompes sont comme tous les mouvements mécaniques de deux grands types :

- Rotatif
- Rectiligne (alternatif)

Le mode de déplacement du fluide à travers des pièces en mouvement de la pompe et leur fonction permet de classer les pompes en plusieurs familles :

- Pompes de dosage :
 1. Pompe rotative - volumétrique.
 2. Pompe alternative - volumétrique.
- Pompes de transfert (turbopompe) :
 1. Pompe rotative - axiale.
 2. Pompe rotative - centrifuge.
 3. Pompe Hélico-centrifuge.

II.3 Types des pompes

Suivant le mode de déplacement des liquides entre la région d'aspiration et de refoulement, on divise les pompes en deux grands groupes :

- ✓ Les pompes volumétriques.
- ✓ Les pompes centrifuges.

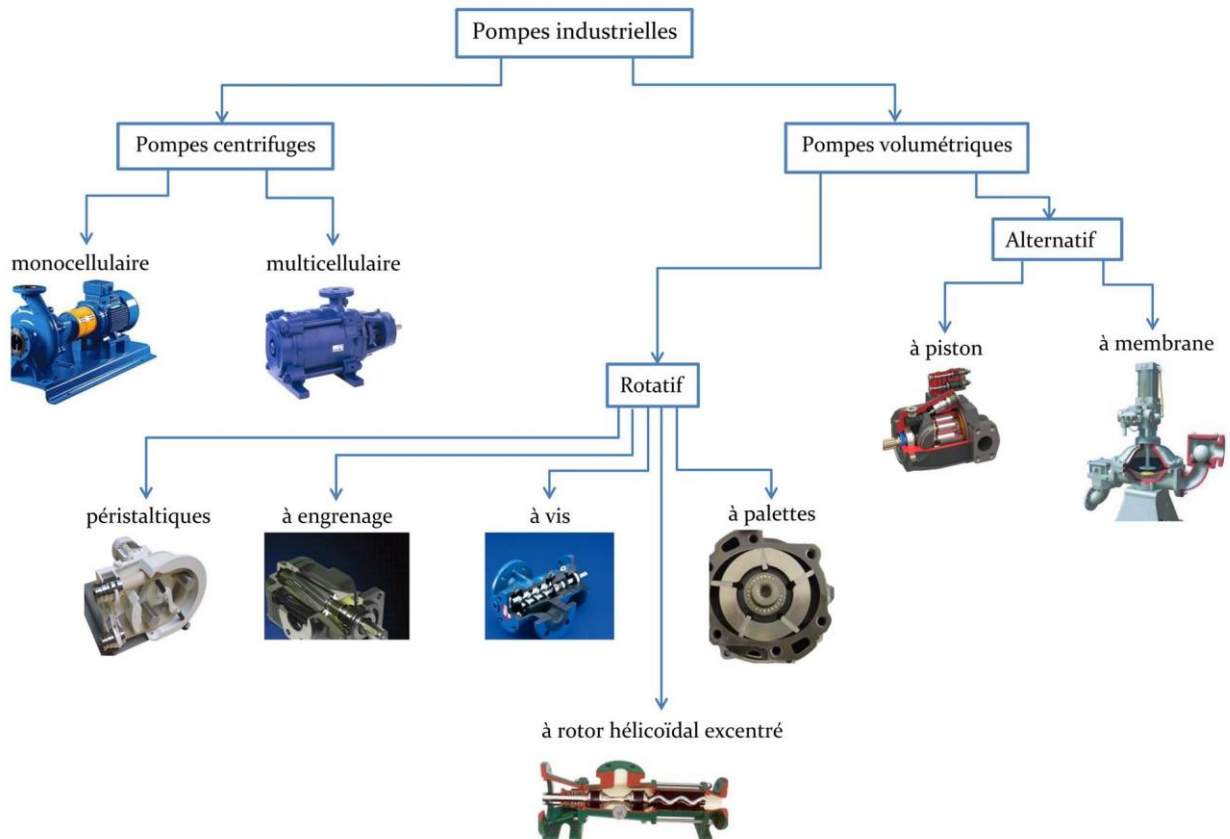


Figure II.1 : Les types des pompes industrielles

II.3.1 Pompes volumétriques

Elles sont constituées d'un volume hermétiquement clos (corps de pompe) à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile engendrant soit une dépression à l'aspiration, soit l'impulsion nécessaire au refoulement afin de vaincre la contre-pression régnant à l'aval de la pompe, soit enfin l'une et l'autre de ces fonctions et permettant ainsi le transfert d'un volume de liquide, de viscosité plus ou moins importante, depuis l'aspiration vers le refoulement. Le fluide véhiculé étant incompressible, ces pompes sont toujours équipées d'un dispositif de sécurité d'excès de pression associé. Les pompes volumétriques sont caractérisées par une grande

diversité d'emploi et une grande variété de réalisations technologiques. On se limitera ici, à la présentation de quelques types de ces deux grandes familles de machines tournantes

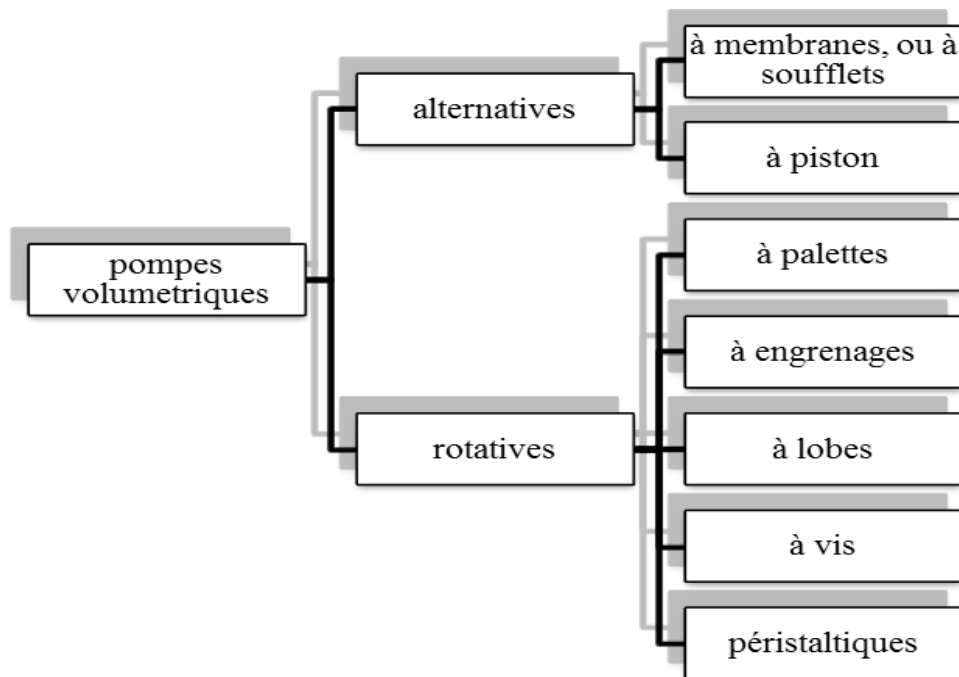


Figure II.2 : Les types des pompes volumétriques

II.3.1.1 Pompes volumétriques alternatives

Son principe de fonctionnement est le déplacement du mouvement d'un piston qui glisse dedans, l'aspiration de fluide se fait dans le tuyau immergé.[4]

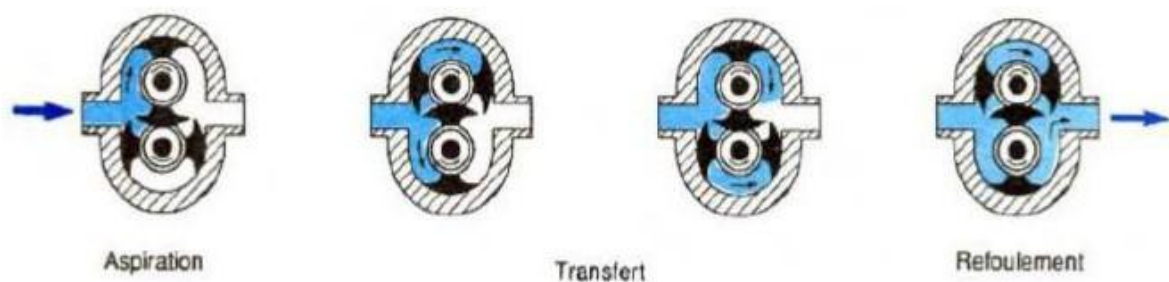


Figure II.3: Pompe alternative – volumétrique

II.3.1.2 Pompes volumétriques rotatives

Les pompes volumétriques à engrainage sont munies de deux roues dentées. L'une des roues, entraînées par le moteur de commande, transmet le mouvement à l'autre : l'écoulement est intermittent dans les pompes à vis ou à engrenages hélicoïdaux, l'écoulement est plus régulier.

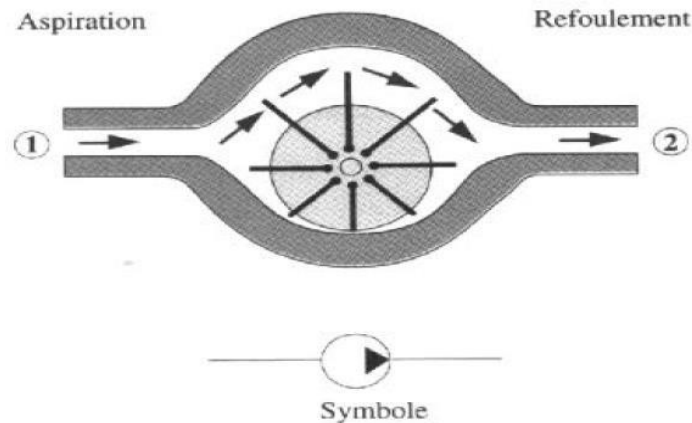


Figure II.4: Schéma d'une pompe volumétrique rotative

II.3.1.3 Avantages des pompes volumétriques

- faible dépendance du débit de refoulement par rapport à la hauteur de refoulement; conviennent donc bien pour les pompes de dosage et pompes à injection
- adaptées aux pressions élevées à très élevées; seul un étage requis
- très bonne puissance d'aspiration, même avec une part gazeuse
- adaptées aux fortes viscosités (pâtes)
- débit de refoulement ajustable de manière très exacte et reproductible par le biais de la course et du nombre de courses
- alimentation cyclique possible
- bien adaptées aux faibles vitesses de rotation d'entraînement
- pour les pompes oscillantes, entraînement pneumatique, hydraulique ou électromagnétique direct possible

II.3.1.4 Inconvénients des pompes volumétriques

- le principe de fonctionnement n'inclut pas de limitation de la pression, c'est pourquoi une soupape de sécurité ou soupape de limitation de la pression est requise
- sur les pompes volumétriques oscillantes, un fonctionnement sans vibrations n'est possible qu'avec un complexe équilibrage des masses
- les pompes volumétriques oscillantes ne sont pas bien adaptées aux vitesses de rotation élevées
- sur les pompes volumétriques oscillantes, un débit de refoulement, et donc un amortisseur de

pulsations sont requis

- pour certains types, construction avec soupapes compliquée et propice aux pannes
- davantage de pièces d'usure que sur les pompes centrifuge

II.3.2 Pompe alimentaire

La pompe alimentaire est une pompe centrifuge multicellulaire, sert à refouler l'eau d'alimentation de la bache alimentaire vers la chaudière.

Chaque unité de production est équipée de trois pompes alimentaires identiques.

Chacune de ces pompes assure une alimentation d'eau de « 50% » du débit maximal nécessaire. Au cours de fonctionnement normal deux pompes en service assurent 100% du débit d'eau nécessaire, la troisième pompe est en secours (présélectionnée) (en stand-by).

[5]



Figure II.5: pompe alimentaire

II.3.2.1 Rôle de la pompe alimentaire

La pompe alimentaire a un rôle très important dans la centrale, son rôle principal c'est d'alimenter la chaudière (ballon chaudière) et d'augmenter la quantité (débit) de fluide (eau) et on plus véhiculer un liquide d'un réservoir situé à un certain niveau à un autre niveau plus haut. Le rôle de cette pompe est de transformer l'énergie mécanique fournie par le moteur, en énergie cinétique transmise à l'eau, ce qui lui permet de vaincre la hauteur manométrique et la pression dans le ballon chaudière pour alimenter ce dernier. Elle a aussi un rôle secondaire,

Celui de refroidir les surchauffeurs et les resurchauffeurs en cas de surchauffe.

II.3.2.2 Constitution de la pompe alimentaire

Les pompes alimentaires sont composées selon l'ordre de placement sur le site d'une pompe nourricière, moteur asynchrone triphasé, un coupleur hydraulique et une pompe principale.

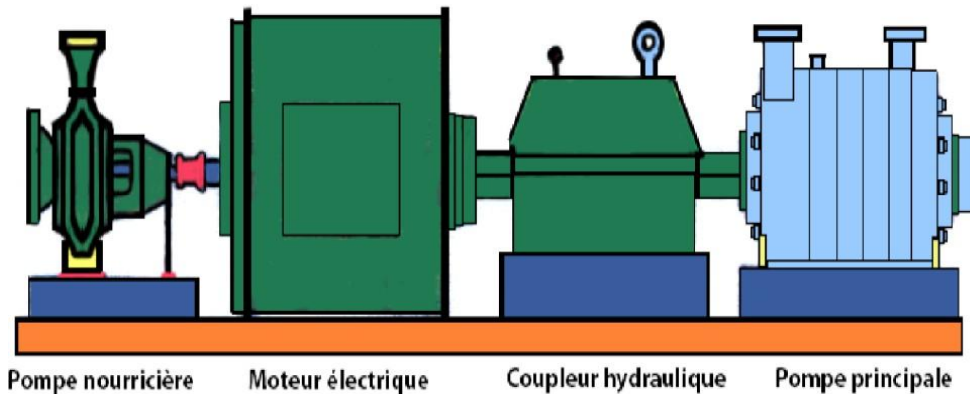


Figure II.6: Les composants d'une pompe alimentaire

La pompe alimentaire est équipée de deux filtres, dont l'un installé dans la pompe nourricière et l'autre est installé entre la pompe nourricière et la pompe principale. Pour atteindre une vitesse très élevée de la circulation d'eau, on ajoute un multiplicateur, ce dernier est installé sur l'arbre de la pompe. Le multiplicateur est monté à côté du moteur. Le capteur hydraulique assure la transmission du couple à la pompe d'alimentation (en introduisant une variation de vitesse en fonction du débit nécessaire au refoulement de la pompe) et le coupleur est à grande vitesse.

II.3.3 Principe de fonctionnement d'une pompe alimentaire

La pompe nourricière aspire l'eau de la bache alimentaire et le refoule vers la pompe principale, cette dernière refoule l'eau vers la chaudière avec une augmentation de pression.

- ✚ Les conditions de fonctionnements des pompes alimentaires :
 - Aspirent de l'eau chaude de température 150 c°.
 - Refoulent l'eau à une pression élevée 170 bars à la sortie de pompe.
 - Assurent un débit d'eau important 261,6 Tonne/ heure.
 - Doivent avoir une grande sécurité de marche pour éviter les très graves conséquences de manque d'eau dans le générateur de vapeur

II.3.4 Pompes centrifuges

Les pompes hydrodynamiques sont de construction très simple : en version de base, elles sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation, le rotor appelé aussi roue ou hélice qui tourne dans un carter appelé corps de pompe. Une certaine vitesse est ainsi communiquée au fluide.

La différence entre les pompes centrifuges et hélico-centrifuge (à hélice) porte essentiellement sur la direction de la vitesse donnée au fluide. [6]

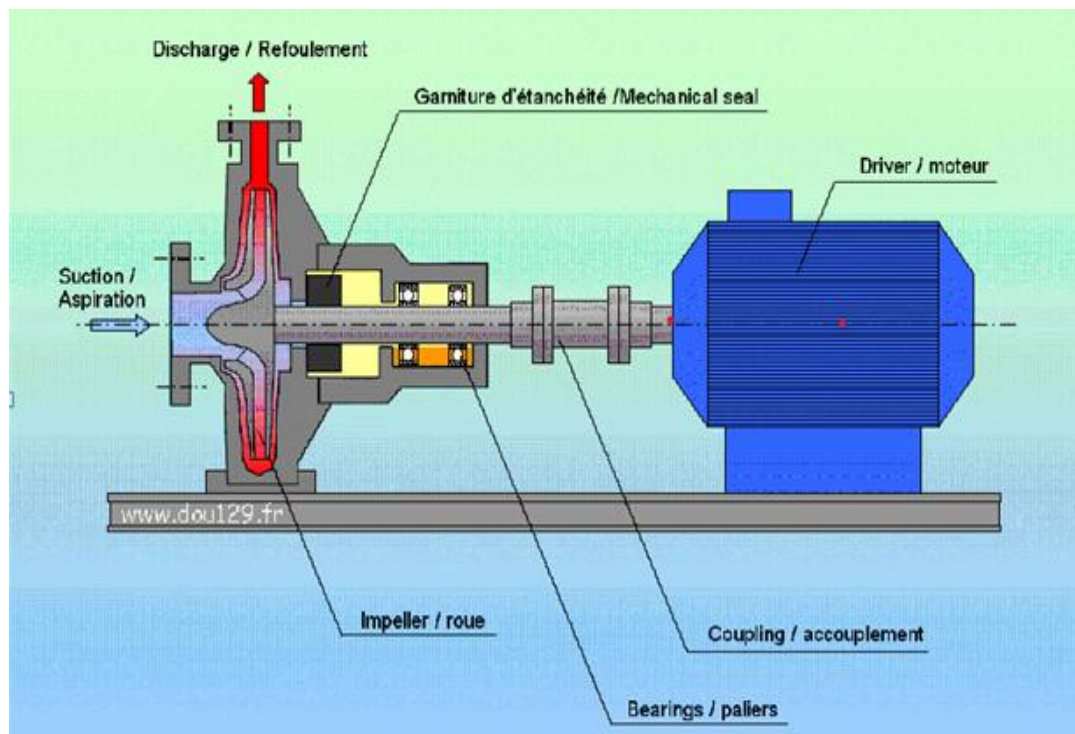


Figure II.7: pompe centrifuge

II.3.4.1 Domaines d'applications :

Les pompes centrifuges sont polyvalentes et trouvent leur utilité dans de nombreuses applications industrielles :

- **Approvisionnement en eau** : les pompes centrifuges sont utilisées pour pomper l'eau des puits et des réservoirs vers les systèmes de distribution d'eau potable.
- **Traitement des eaux usées** : cruciales pour le transfert des eaux usées vers les stations de traitement, les pompes centrifuges sont indispensables.
- **Industrie chimique** : les produits chimiques dangereux sont souvent pompés à l'aide de ce type d'équipement spécialement conçu pour résister à ces substances.

- **Applications alimentaires et pharmaceutiques** : dans ces domaines, des pompes centrifuges conformes aux normes d'hygiène requises sont utilisées pour le transfert de liquides sensibles.

II.3.3.2 Eléments d'une pompe centrifuge

- volute : partie du corps de pompe prolonge l'effet hydraulique de la roue.
- impulseur (ou roue) : est l'élément qui transforme l'énergie reçue par l'arbre en énergie hydraulique
- arbre qui supporte l'impulseur et lui communique l'énergie doit être guidé en rotation par un ou plusieurs paliers (le plus souvent à roulements).
- accouplement permettant la liaison avec la machine d'entraînement.
- roulements ou paliers lisses.
- garniture mécanique.
- garniture d'étanchéité.

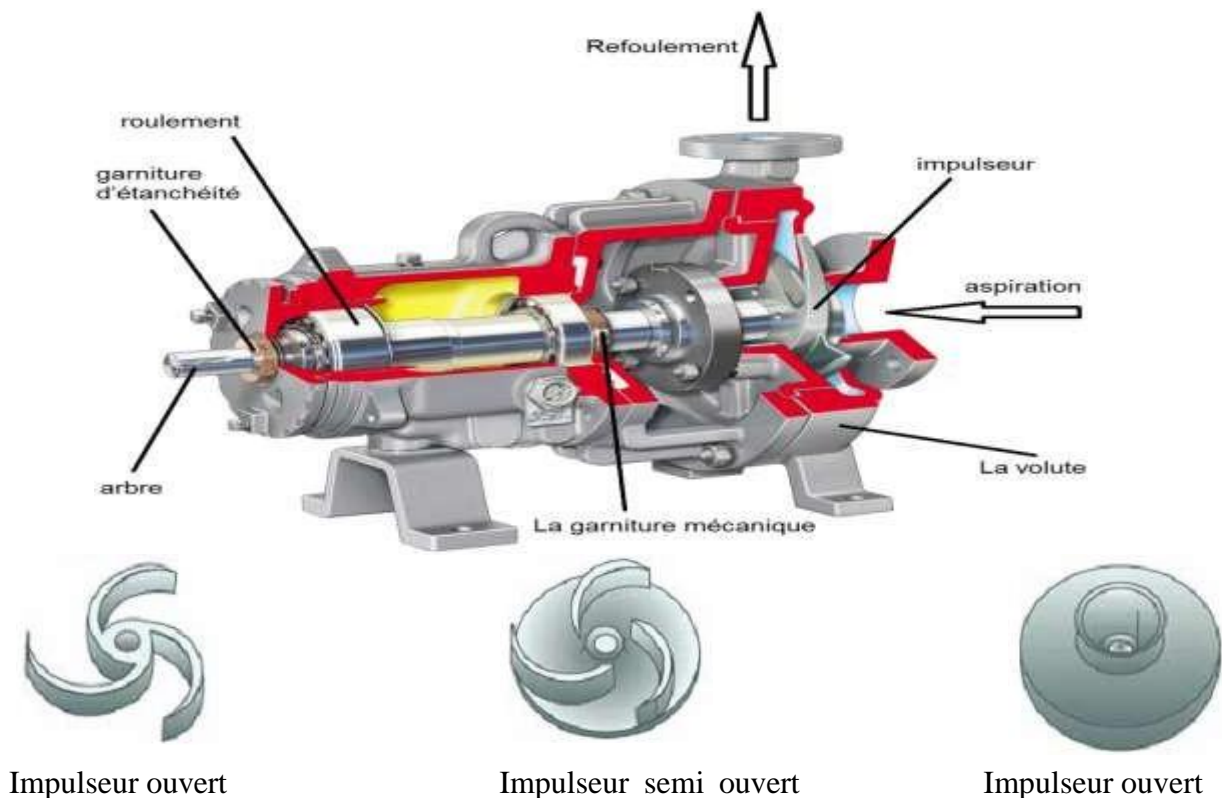


Figure II.8: Principales éléments d'une pompe avec différents conception d'impulseur

II.3.3.3 Principe d'une pompe centrifuge

Le principe d'une pompe centrifuge est basé sur la force centrifuge qui s'exerce sur un liquide en mouvement circulaire et à tendance à faire sortir le liquide de son orbite circulaire.

Donc le liquide aspiré pénètre dans l'entrée de l'impulser, ce dernier à l'aide de sa rotation fait tourner le liquide en lui créant une force centrifuge, les particules du liquide éjectées seront collectées dans la volute collectrice et refoulées dans la conduite de refoulement. [7]

II.3.3.4 Classification des pompes centrifuges [8]

La classification des pompes centrifuge est basée sur la forme de la trajectoire du liquide à l'intérieur du rotor, mais aussi la variété des types de classification dont les critères les plus souvent utilisée sont :

a. Disposition de l'axe

- axe horizontale.
- axe vertical.
- axe incliné.

b. Nombre de récupération

- Un seul étage (monocellulaire)
- Plusieurs étages (multicellulaires)

c. Type de récupération

- Pompe avec diffuseur.
- Pompe avec ailettes.
- Pompe avec volute.

d. Importance de la pression engendrée

- Pompe à base pression.
- Pompe à moyenne pression.
- Pompe à haute pression.

e. Moyen d'entraînement

- Entraînement par courroie.
- Entraînement par accouplement direct.

f. Force de roue

- Roue à simple aspiration.

-Roue à double aspiration.

g. Destination

-Pompe à eau.

-Pompe à acide.

-Pompe à liquide chargé.

h. Force motrice utilisée

-Moteur électrique.

-Moteur diesel.

II.3.3.5 Avantages et les inconvénients des pompes centrifuges :

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

1. à caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques
2. elles sont adaptées à une très large gamme de liquides
3. leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux
4. Construction simple en général, une seule pièce en mouvement : le rotor.
5. Prix peut élever.
6. Encombrement réduit.
7. Jeu assez large, donc facilité de manipuler des liquides contenant des solides en suspension.
8. Entretien en général peu coûteux.
9. Peu d'influence de l'usure ou de la corrosion sur les caractéristiques.
10. Très large gamme de qualités matières suivant le service requis.
11. Faible NPSH requis en général.
12. Grande flexibilité d'utilisation.

Du côté des inconvénients

1. Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux.
2. Production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bar).
3. Elles ne sont pas auto-amorçantes.

4. À l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir....)
5. Débit légèrement instable dans les basses valeurs difficulté de contrôler le débit.
6. Débit et pression de transport interdépendants.
7. Faible rendement

II.3.3.6 Environnement d'une pompe centrifuge en unité :

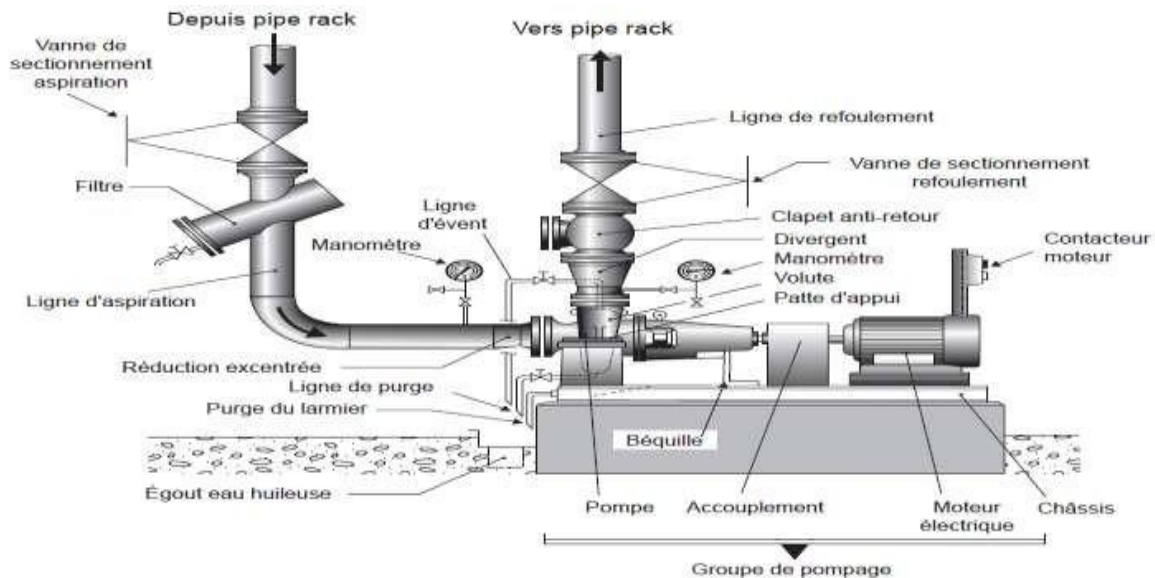


Figure II.9: Environnement d'une pompe centrifuge en unité.

II.3.3.7 Caractéristiques des pompes centrifuges

➤ Débit volumique Q :

Le débit refoulé Q, est le volume utile débité au refoulement de la pompe par unité de temps, en m³/s (unités également utilisées : l/s et m³/h). Il est proportionnel à la vitesse de rotation de la pompe.

➤ Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe (HMT) :

La Hauteur manométrique est la hauteur de liquide qui pourra être obtenue dans la tuyauterie de refoulement par rapport au niveau du liquide à l'aspiration. La HMT de la pompe est de manière simplifiée définie par :

$$H_{MT} = (p_r - p_a) / \rho_g [m]$$

II 1

Avec :

P_a : pression d'aspiration [Pa]

Pr : pression de refoulement [Pa]

➤ **Puissance de la pompe :**

➤ **Puissance absorbée (P_a) :**

Fournie sur l'axe de la pompe (moteur asynchrone, par exemple)

$$P_a = C \cdot \omega = C \cdot n \cdot 2 \cdot \pi / 60 \quad [\text{W}] \quad \text{II 2}$$

Avec C : couple moteur [N.m]

ω : vitesse de rotation [rad/s]

n : vitesse de rotation [tr/min]

➤ **Puissance utile (P_u) :**

$$\text{Travail réalisé par la pompe : } P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{MT} \quad [\text{W}] \quad \text{II 3}$$

Avec ρ : la masse volumique de fluide [Kg/m^3].

g : la gravité [m/s^2 ou N/Kg]

Q : débit volumique [m^3/s]

H_{MT} : hauteur manométrique d'une pompe [m]

➤ **Rendement global (η_g) :**

$$\text{Rendement globale de la pompe } \eta_g : \eta_g = P_u / P_a \quad \text{II 4}$$

Terminologie de base

➤ **Cavitation**

Formation de bulles de vapeur qui pénètrent au niveau de l'orifice d'entrée de l'impulseur. La cavitation peut endommager la pompe lorsque ces bulles de vapeur atteignent une zone haute pression et éclatent. Une NPSH appropriée au niveau du circuit d'aspiration de la pompe permet d'éviter cet effet de cavitation. [9]

➤ **NPSH (Net Positive Section Head – Hauteur Nette d'Aspiration)**

Hauteur d'aspiration totale absolue ; exprimée en mètres de liquide ; déterminée au niveau de tubulure d'aspiration et par rapport à une dénivellation de référence, moins la pression de vapeur du liquide, en mètre absolu.

➤ **Débit stable minimum**

Débit minimum auquel la pompe peut fonctionner sans dépasser les limites de vibrations imposées par les spécifications.

➤ **Pression**

Force exercée sur une surface donnée (bar, Kg/cm^2)

➤ **Pression de vapeur**

Pression à laquelle le liquide entre en ébullition, à une température donnée.

➤ **Poussée**

Forces hydrauliques agissant sur l'impulseur et créées par les pressions générées dans / autour de l'impulseur et par le changement de sens du flux de liquide au sein de celui-ci.

➤ **Echauffement**

Les pertes de puissance d'une pompe centrifuge sont converties en chaleur, ce qui augmente la température du liquide circulant dans la pompe. Lorsque le débit est faible, la chaleur s'accumule dans la pompe et une panne grave peut se produire. [9]

➤ **Pression d'aspiration**

Pression au niveau du raccord d'aspiration de la pompe.

➤ **Vitesse**

Vitesse de rotation. Nombre de tours réalisés par l'arbre pour une unité de temps donnée. Valeur exprimée en tours par minute (tr/min).

➤ **Densité relative**

Rapport entre la densité du liquide et celle d'un liquide standard (eau) à 15°C, au niveau de la mer.

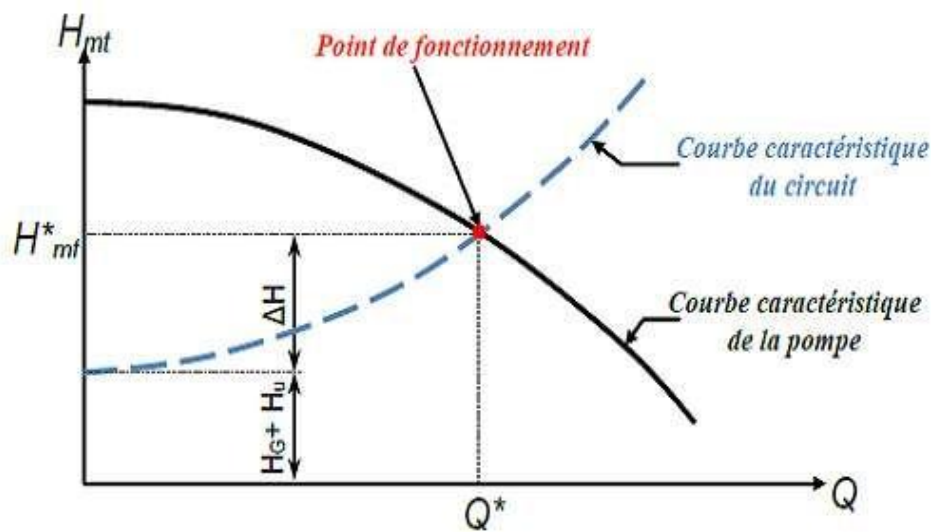


Figure II.10: Courbe caractéristique présente le Point de fonctionnement pour une pompe

Courbes caractéristiques :

Interprétation : Si le débit souhaité est inférieur à celui qui est déterminé, on peut choisir un diamètre de conduite plus petit ou une pompe moins puissante ou bien on utilise une vanne de réglage de débit (augmenter les pertes de charge dans le circuit). Si le débit souhaité est supérieur à celui qui est déterminé, on doit choisir un diamètre de conduite plus grand pour diminuer les pertes de charge ou une pompe plus puissante.

II.3.4. Pompe Hélico-centrifuge :

La roue composée de plusieurs aubes à double courbure dont les deux extrémités sont inclinées par rapport à l'axe de rotation.



Figure II.11: pompes hélico centrifuge

II.4 Description de la pompe d'expédition g111

La pompe d'expédition G111 est une pompe centrifuge à 2 étages, elle a été installée en 1962 au niveau de la zone d'expédition pour transporter le fuel oil de la raffinerie d'Alger vers le port.

La raison pour que on a choisi la pompe G111 pour notre étude c'est bien que cette dernière a subi de nombreuses pannes les dernières années ce qui l'a impacté directement sur la quantité du fuel transféré.



Figure II.12: Vue extérieure de pompe

II.4.1 Rôle de la pompe G111 :

La pompe G111 est utilisée pour l'expédition du fuel oil. Elle aspire le produit depuis les réservoirs de stockage, puis le refoule vers le port d'Alger.

Elle assure principalement :

- Le transfert du fuel oil lourd vers les installations d'expédition (chargement, chauffage ou mélange).
- Le maintien de la pression dans les circuits de transfert en aval.

II.4.2 Situation géographique de la pompe :

Installée dans la zone d'expédition fuel oil de la raffinerie d'Alger, la pompe G111 est fixée horizontalement sur une fondation en béton, proche des réservoirs de stockage. L'ensemble est abrité sous une structure métallique de protection. Elle est couplée directement à un moteur électrique puissant via un accouplement rigide.



Figure II.13: installation de pompe G111

II.4.3 Caractéristiques de la Pompe G111

Tableau II.1 : Caractéristiques de la Pompe G111

Caractéristiques de la Pompe G111	
Produit transporté	FUEL OIL
Bride d'aspiration	10''#300
Bride de refoulement	8''#300
Position d'installation	Horizontale
Pression d'aspiration	0.22kg/cm ²
Pression de refoulement	23 bars
T° de fluide	70c°
Débit	240 M ³ /H
Hauteur Manométrique	70.8 m
NPSH	2.25
Viscosité	120 CST à 37.7 c°
Vitesse de rotation	2950 T/m
Puissance absorbé	350 cv

II.4.4 Organes constitutifs de la pompe G111 :

Organes à fonction hydraulique :

- **Impulseur ou roue** : Solidaire de l'arbre, transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Deux étages de roues augmentent la pression totale.



Figure II.14: Différentes vues d'un impulseur

- **Volute** : Enveloppe externe qui transforme l'énergie cinétique du liquide en pression statique.

Cette pièce a une double fonction :

- 1- Assurer la transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle (énergie de pression).
- 2- Opérer le raccordement avec la tubulure de refoulement.



Figure II.15: Volute

- **Diffuseur** : Son rôle est de canaliser le fluide accéléré par la roue et de le diriger vers la volute et la tubulure de refoulement

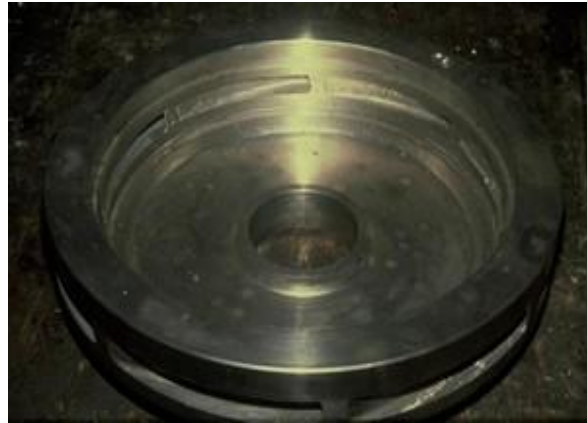


Figure II.16: Diffuseur

Organes à fonction mécanique :

- **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 II.17: Arbre

Paliers/coussinets : Guidage radial et axial, absorbent les charges générées par la rotation.



Figure II.18: Palier

- **Chemise d'arbre** : Son rôle est de protéger le contact de l'arbre avec le palier. Elle est montée sur l'arbre au moyen d'une clavette.



Figure II.19: Chemise d'arbre

- **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 II.20: Accouplement

Organes à fonction d'étanchéité :

- **Garniture mécanique** : Une garniture mécanique est principalement composée de deux solides annulaires, l'un d'eux est en rotation. 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, joint fixe (bague en carbone graphité), joint rotatif (bague en tungstène), bague à ressorts, joint anti poussière et boîtier de garniture.

C'est entre l'arbre et la garniture que peut s'échapper le liquide, il est donc nécessaire de maintenir ces bagues (Carbone ; Tungstène) en contact permanent au moyen de la bague à ressort.

La garniture mécanique est refroidie et lubrifiée par le liquide lui-même.



Figure II.21: Garniture mécanique montée sur l'arbre

- **Joints divers** : Toriques, plats ou à lèvres. Assurent l'étanchéité entre corps, volute, couvercles.

II.2.3 Autres organes constitutifs de la pompe :

- **Tubulures d'aspiration et de refoulement :**

Les tubulures d'aspiration et de refoulement des liquides sont parties intégrantes de la pompe. Elles permettent le cheminement de liquide de l'aspiration au refoulement.



Figure II.22: tubulures d'aspiration et de refoulement.

- **Accessoires (manomètres, vannes, clapets, filtres) :** Surveillance de la pression, isolement en cas d'arrêt, protection contre le refoulement inverse

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a vu différents types de pompes, telles que les pompes volumétriques et centrifuges. On a étudié leurs technologies, fait un point sur différentes parties : description, avantages, inconvénients, principe de fonctionnement, constituants...etc.

Chapitre III : Etude FMD du pompe G111

III.1 Introduction

La fiabilité est un concept essentiel dans l'ingénierie et la qualité des produits. Elle se réfère à la capacité d'un dispositif à fonctionner de manière constante et prévisible dans des conditions d'utilisation spécifiées. Elle est cruciale pour assurer la satisfaction des clients, réduire les coûts de maintenance et améliorer la réputation de l'entreprise. Elle repose sur l'analyse des défaillances, l'utilisation de techniques statistiques et la mise en place de stratégies de conception et de maintenance appropriées. En résumé, la fiabilité est essentielle pour garantir des produits fiables et performants. Pour ceci nous nous sommes intéressés par ce présent chapitre à l'étude de la fiabilité du pompe G111 de la raffinerie d'Alger de voir sa capacité de fonctionnement, diagnostiquer et analyser les pannes ainsi réduire les coûts.

III.2 Fiabilité

III.2.1 Définition

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

$$R(t) = \text{Prob} \{E \text{ non défaillante sur } [0 ; t]\}$$

Définition selon la NF X 06-501

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée.

III.2.2 Notions de fiabilité d'un système

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans intervalle de temps donné, pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir : la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation, et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer. [10]

III.2.3 Objectifs de la fiabilité

L'objectif de la fiabilité est de :

- Mesurer une garantie dans le temps
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance

- Déchiffrer une durée de vie
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement
- Déterminer la stratégie de l'entretien
- Choisir le stock

III.2.4 Caractéristiques de la fiabilité

On a la modélisation suivante :

Un dispositif, mis en marche pour la première fois, tombera en panne inévitablement à un instant T_f , non connu à priori. Et T_f est une variable aléatoire continue qui représente la durée de vie (le temps de bon fonctionnement) du dispositif.

Pour T_f on associe une fonction de répartition $F(t)$ et une fonction de distribution $f(t)$.

III.2.5 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

Lors des études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée en respectant diverses lois, principalement:

- loi exponentielle
- loi de WEIBULL
- loi normale
- loi log-normale (ou loi de GALTON)
- La loi binomiale
- loi de POISSON ou loi de faibles probabilités

III.2.6 Indicateurs de fiabilité

La fonction $R(t)$ est définie comme la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps t ou la probabilité de survie jusqu'à ce temps t . La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps t , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ». [11]

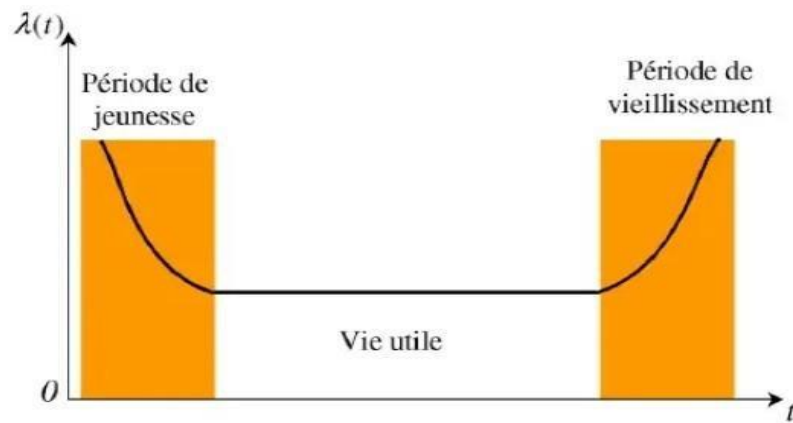


Figure III.1: Distribution de la fonction de loi exponentielle

III.2.7 Modèle de Weibull

C'est la plus populaire des lois, utilisées dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull est déterminée par les trois paramètres suivants : β , γ et η

III.2.7.1 Densité de probabilité

La densité de probabilité d'une loi de Weibull a pour expression

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.1})$$

β est le paramètre de forme ($\beta > 0$)

Où : η est le paramètre de d'échelle ($\eta > 0$)

γ est le paramètre de position ($\gamma > 0$)

III.2.7.2 Fonction de répartition

La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.2})$$

III.2.7.3 Fonction de fiabilité R(t)

La fonction de fiabilité s'écrit : [11]

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.3})$$

III.2.7.4 Taux de défaillance (Taux d'avarie)

Le taux de défaillance donné par :

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}}$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.4})$$

t : taux de défaillance de la pièce d'âge t .

Donc : $t = \frac{f(t)}{R(t)}$

$\lambda(t)$ S'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité.

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante :

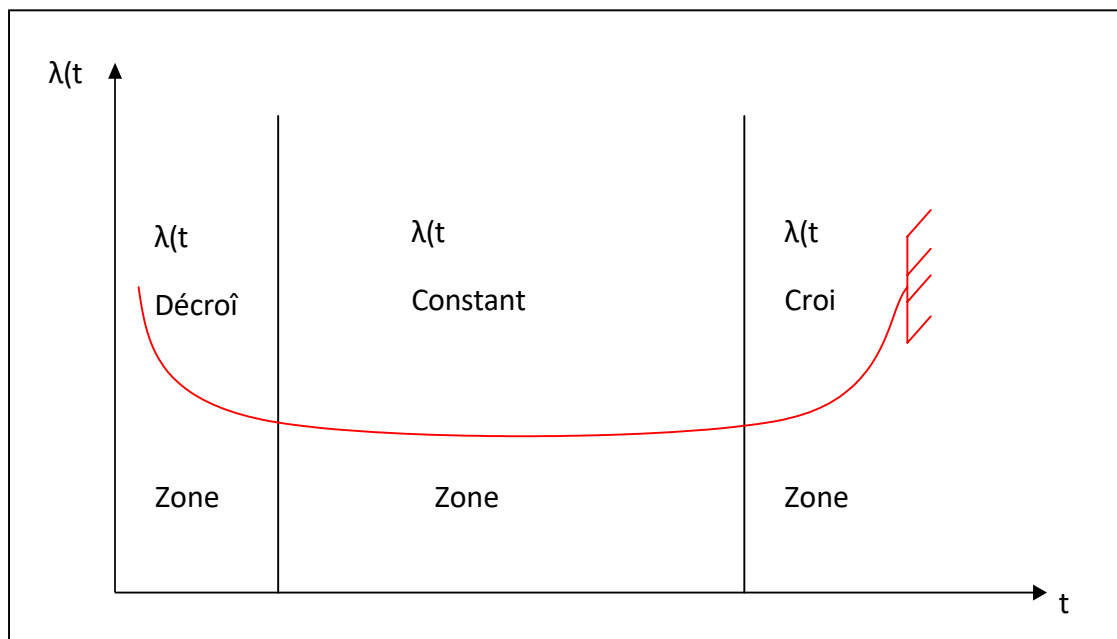


Figure III.2: courbe en baignoire

Interprétation de la courbe

On distingue trois périodes de vie :

- **Zone 1 (Jeunesse) Période de jeunesse**, pannes précoces où apparaissent les défauts

de fabrication ou de conception. Elles doivent disparaître rapidement. Le taux d'avarie décroît en fonction du temps.

- **Zone 2 (Maturité)** Période de maturité ou vie utile, les pannes paraissent dues au hasard. Le taux d'avarie reste sensiblement constant et faible. Les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, par des causes diverses.
- **Zone 3 (Vieillesse)** Un mode de défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant. [12]

A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est mort il est alors déclassé, puis rebuté ou par fois reconstruit. La détermination de θ (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères techno-économiques.

III.2.7.5 Paramètre de forme β

Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse

- $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue
- $3 < \beta < 4$: usure, corrosion

Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité

Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse.

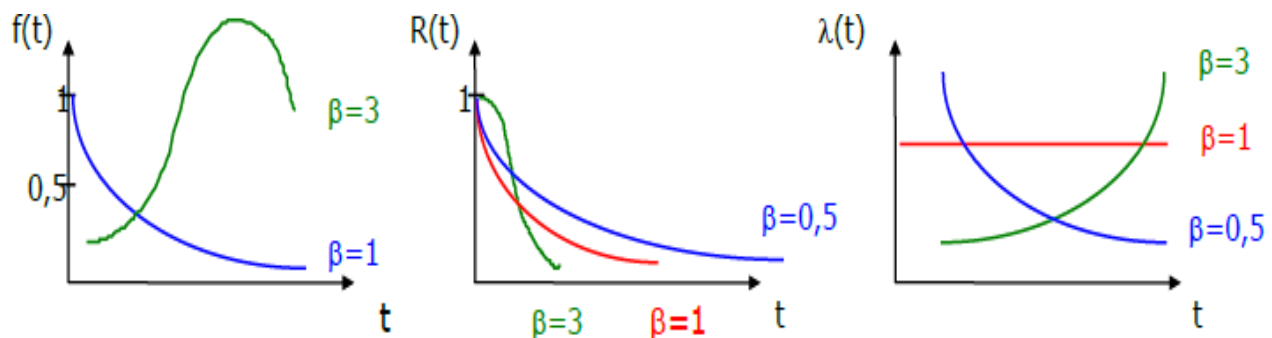


Figure III.3: Paramètres de forme

III.2.7.6 Étude paramétrique du modèle de WEI BULL

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta = 1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire.

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est nulle jusqu'à un

certain âge β .

III.2.7.7 Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres : (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

III.2.7.8 Graphique à échelle fonctionnelle

Pour la distribution de Weibull à 3 paramètres, on fait la transformation :

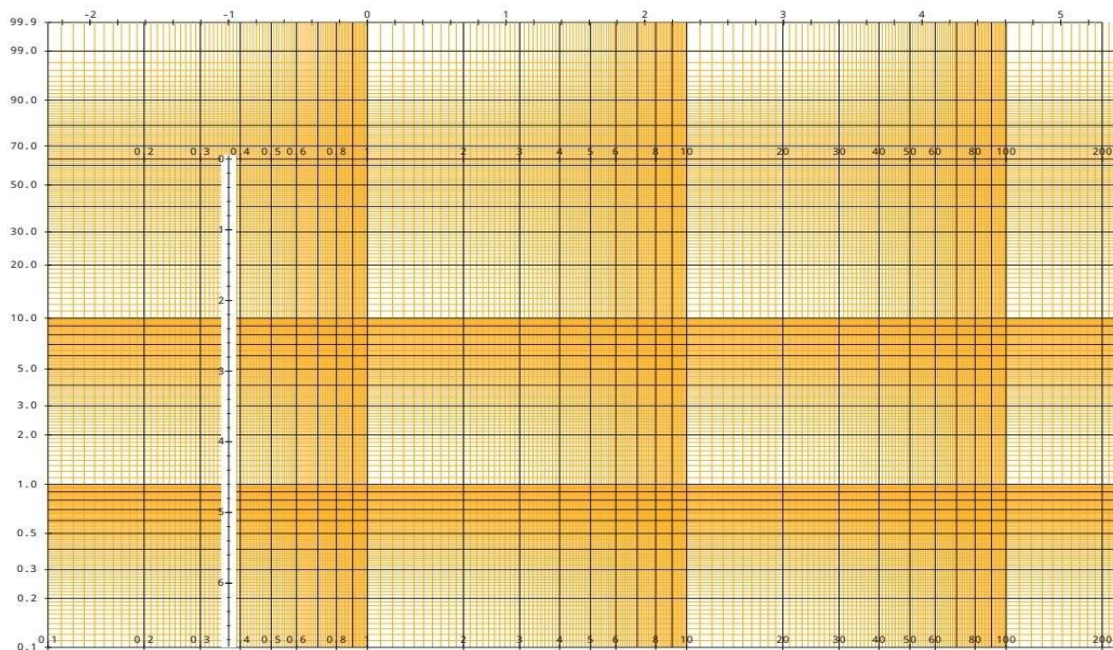


Figure III.4: Papier de weibull [13]

III.2.7.9 Domaine d'utilisation

Le modèle de Weibull est très souple, car la loi à trois paramètres qui permettent d'ajuster correctement toutes sortes de résultats expérimentaux ou opérationnels, contrairement au modèle exponentiel, la loi de Weibull couvre les cas où le taux de défaillance λ est variable et permet donc de s'ajuster aux périodes de jeunesse et aux différentes formes vieillissement.

La détermination des paramètres de Weibull permettra de connaître l'état du matériel, et d'évaluer la MTBF et l'écart type. Les résultats permettent d'estimer la fonction de répartition $F(t)$ correspondante à chaque instant. [14]

III.2.7.10 Recherche de γ

- Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)
- Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur

(gamma) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

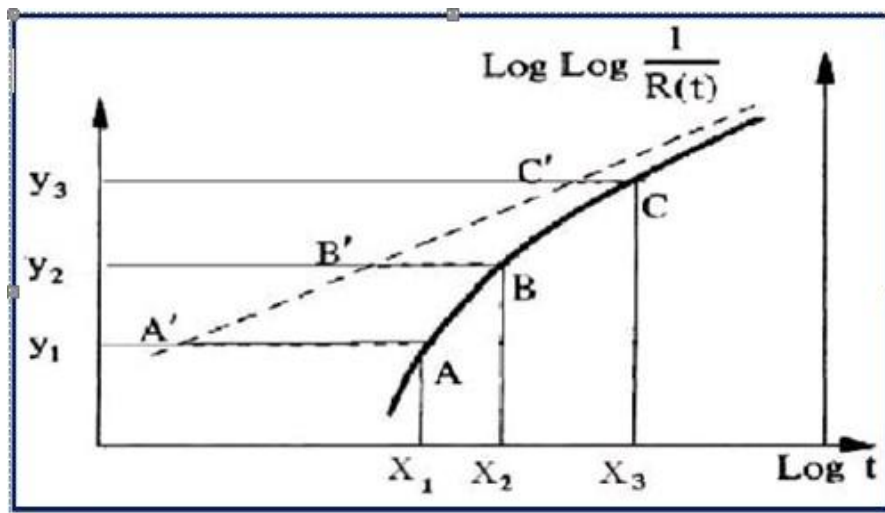


Figure III.5: Redressement de la courbe par translation

III.2.7.11 Recherche de η

$\eta > 0$ qui s'exprime dans l'unité de temps

Avec $\eta_2 < \eta_1$

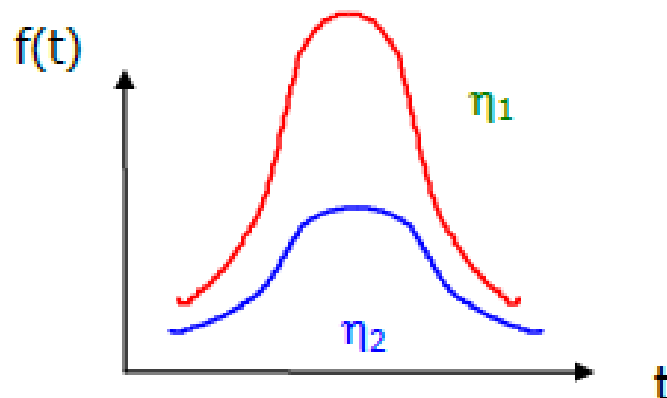


Figure III.6: Paramètre d'échelle

III.2.7.12 Recherche de β

Béta est la pente de la droite de corrélation. On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$, on lit ensuite béta sur l'axe B.

III.3 Maintenabilité

La maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli, pendant un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque l'exploitation et la maintenance sont accomplies dans des conditions données, avec des moyens prescrits. . [15]

Elle caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de

fonctionnement. Elle est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps de intervention pour } n \text{ panne } (n)}{\text{nombre de panne } (n)} = \frac{\sum MTTR}{N} \quad (\text{IV.5})$$

MTTR : (Mean Time To Repaire) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

III.3.1 Taux de réparation μ

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.[15]

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{IV.6})$$

III.4 Disponibilité

La disponibilité est l'aptitude d'un dispositif à être en état d'accomplir une fonction requise, à un instant donné, dans des conditions données et pendant un intervalle de temps donné, compte tenu du système de soutien mis en place .En probabilité : c'est la probabilité de bon fonctionnement de ce dispositif à l'instant . [15]

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production,
- Être rapidement remis en état s'il est défaillant.
- La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité

III.4.1 Types de la disponibilité

III.4.1.1 Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF - MTTR} \quad (\text{IV.7})$$

III.4.1.2 Disponibilité instantanée

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est :

$$D(t) = \frac{\mu}{\gamma + \mu} + \frac{\gamma}{\gamma + \mu} e^{-(\gamma + \mu)t} \quad (\text{IV.8})$$

III.5 Calcul de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité de loi de Wei bull

Le tableau suivant représente une classification des TBF en ordre croissant de la pompe G111 durant la période (2015-2025) :

On a $N < 20$ donc nous donnerons un rang i à chaque défaillance:

$$F(i) = (i - 0,3) / (N + 0,4)$$

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

Tableau III.1: calcul de fiabilité de la pompe G111 (2015-2025)

N°	TBF(h)	Ni	TTR(h)	$i = \sum ni$	F(i)	R(i)	%R(i)	%F(i)
1	165	1	02	1	0.0455	0.9545	95.45	4.55
2	644.5	1	04	2	0.1104	0.8896	88.96	11.04
3	1369	1	04	3	0.1753	0.8247	82.47	17.53
4	1369	1	22	4	0.2403	0.7597	75.97	24.03
5	1539.5	1	23	5	0.3052	0.6948	69.48	30.52
6	3336	1	50	6	0.3701	0.6299	62.99	37.01
7	3926	1	52	7	0.4351	0.5649	56.49	43.51
8	4099.5	1	52	8	0.5	0.5	50.00	50.00
9	5210	1	52	9	0.5649	0.4351	43.51	56.49
10	6505	1	52	10	0.6299	0.3701	37.01	62.99
11	7772	1	52	11	0.6948	0.3052	30.52	69.48
12	8153.5	1	52	12	0.7597	0.2403	24.03	75.97
13	8403.5	1	52	13	0.8247	0.1753	17.53	82.47
14	17990	1	92	14	0.8896	0.1104	11.04	88.96
15	22503	1	114	15	0.9545	0.0455	4.55	95.45

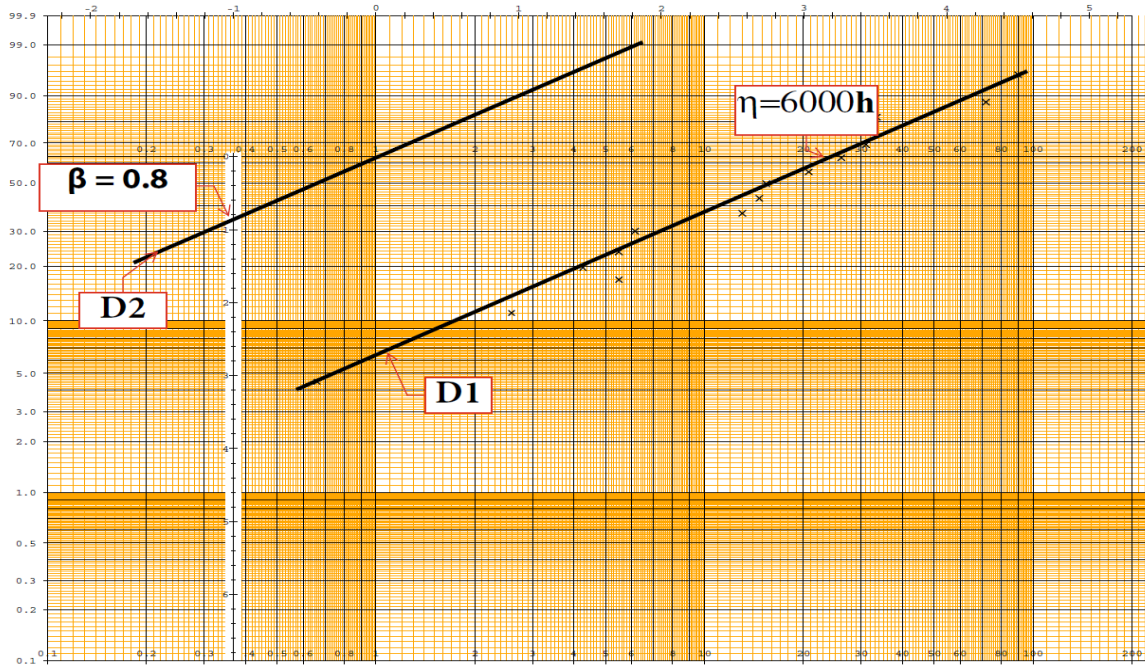


Figure III.7: Le nuage des points de TBF en fonction de F(t)%

Ce graphe suivant représente le nuage des points de (TBF) en fonction de F(t)

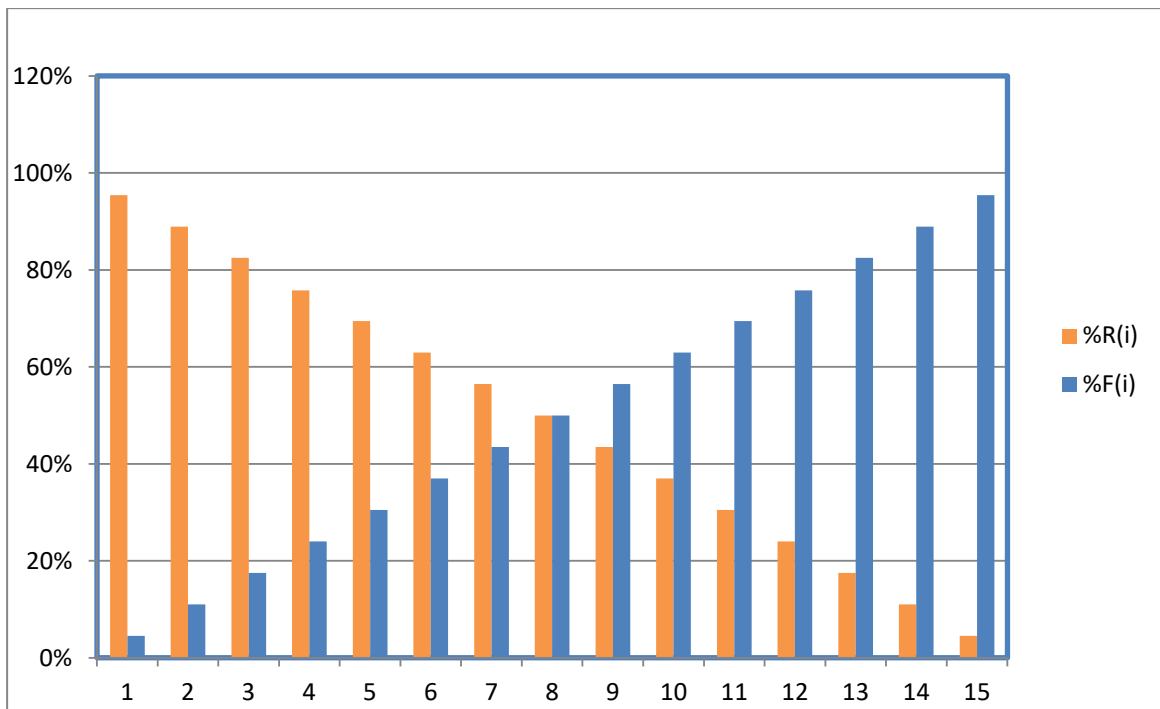


Figure III.8: histogramme de F(t) et R(t)

III.5.1 Détermination des paramètres

Nous parton sur le papier de weibull le nuage de points (TBF, F(i)) qui nous fait apparaitre une droite D1

Donc $\gamma=0$

- La droite D1 coupe l'axe (t, η) a l'abscisse en : $\eta=6000$ h

- La droite D2// D1 coupe l'axe (β) a l'ordonné en : $\beta=0.8$

$\gamma=0$	$\eta=6000$ h	$\beta=0.8$
------------	---------------	-------------

III.5.1.1 Recherche de MTBF

(Moyenne de temps de bon fonctionnement) Utilisation de tables donnant

Pour $\beta=0.8$ on aura $A=1.1330$ $B=1.43$

$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$

$MTBF = 1.1330 \cdot 6000 + 0 = 6798$ heures

MTBF= 6798 h

III.5.1.2 Recherche de l'écart δ

$\delta = B \cdot \eta \implies \delta = 1.43 \cdot 6000 = 8580$ h

$\delta=8580$ h

III.5.1.3 Probabilité de bon fonctionnement

$(MTBF) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} = 0.3318$

soit 33.18%

III.5.1.4 Probabilité de défaillance cumulée F(t) :

$F(t) = 1-R(t) \implies F(MTBF) = 1-R(MTBF)$

$F(MTBF) = 1-0.3318 = 0.6682$

F(MTBF) = 66.82 %

III.5.1.5 Taux de défaillance en fonction de MTBF

$\lambda(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = 0.00013$ **$\lambda(6798) \approx 0.00013$ panne/heures**

III.5.1.6 Représentation des résultats de l'étude de fiabilité

β	MTBF (h)	R (MTBF) (%)	F (MTBF) (%)	λ (MTBF) Panne/heure
0.8	6798	33.18	66.82	0.00013

III.5.1.7 Comportement du matériel :

Durant les années 2015 jusqu'à 2025, la pompe **G111** a fonctionné pendant une moyenne de temps de bon fonctionnement égale à 6798 heures. Une fiabilité de 33.18 % ce qui signifie qu'il y a 33.18 chance sur 100 pour que la machine fonctionne sans défaillances

durant cette même moyenne de temps de bon fonctionnement. Une probabilité d'apparition des pannes égale à 66.82% ce qui signifie qu'il y a 66.82 chances sur 100 pour que l'unité tombe en panne pendant la même durée.

III.1 Calcul de la maintenabilité MTTR

$$MTTR = \sum \frac{TTR}{N}$$

$$MTTR = \frac{675}{15}$$

$$MTTR = 45 \text{ heure}$$

$$MTTR = 45 \text{ heures}$$

III.5.2.1 Taux de réparation μ

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\mu = \frac{1}{45} = 0.02 \text{ h}$$

III.5.3 Calcul de disponibilité

$$D = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

$$D = \frac{6798}{(6798 + 45)} = 0.9$$

$$\text{Soit } D = 99.3\%$$

III.5.3.1 Calcul de l'indisponibilité

$$I = 1 - D$$

$$I = 1 - 0.993$$

$$I = 0.007$$

$$\text{Soit } I = 0,7\%$$

III.5.3.2 Interprétation

Les résultats de calcul de disponibilité, montre que sur une durée de (10) ans, la pompe a eu une disponibilité de 99,3% pour une moyenne de temps technique de réparation égale à 45 heure.

III.6 Interprétation de courbe de la figure :

D'après les résultats obtenus $\beta=0.8$ et $\eta= 6000$, on a constaté que la pompe G111 se situe dans la période de jeunesse, et nous remarquons que la **figure III.6** correspond aux résultats obtenus, la fonction de fiabilité est décroissante en fonction du temps donc la probabilité de fonctionner sans pannes est minimum.

III.7 Conclusion :

L'étude FMD nous permet de connaître l'état de la pompe G111 en fonction de β qui décrit le comportement du matériel par la valeur de $R(t)$, $F(t)$ et $\lambda(t)$.

Selon les résultats obtenus concernant la disponibilité, il est évident que notre équipement est disponible toujours en période de jeunesse. Son niveau de disponibilité reste acceptable grâce à la disponibilité des pièces de rechange, de la main-d'œuvre et à l'intervention efficace du service de contrôle.

Chapitre IV : Généralités sur la maintenance et l'application de l'analyse AMDEC

IV.1 Introduction

La méthode AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre de pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonctions, disponible parce qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant car elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critiques et catastrophiques

IV.2 Historique

Tableau IV.1: Tableau de l'historique [16]

1950's	la méthode FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) est introduite aux États-Unis dans le domaine des armes nucléaires.
1960's	cette méthode est mise en application en France sous le nom d'AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautiques.
1970's	son application est étendue aux domaines du nucléaire civil, des transports terrestres et des grands travaux.
1980's	L'AMDEC est appliquée aux industries de produits et de biens d'équipement de production.

IV.3 Définition d'AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), en anglais FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), C'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des éléments d'un système pour aboutir aux effets de ce système. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production.

IV.4 Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une technique d'analyse prédictive qui estime le risque d'apparition de défauts et leurs conséquences sur le fonctionnement normal de l'appareil de production, permettant ainsi de prendre les mesures correctives nécessaires.

L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- Analyser les conséquences des défaillances.

- Réduction du nombre des défaillances.
- Prévention des pannes.
- Amélioration de fabrication, du montage et de l'installation.
- Amélioration de la maintenance préventive.
- Identifier les modes de défaillances.
- Aide au diagnostic.
- Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection.
- Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance.
- Classer les modes de défaillance.
- Amélioration de la sécurité. [17]

IV.5 Types d'AMDEC

Il existe des différents types des méthodes d'analyse

IV.5.1 AMDEC Produit (Design FMECA)

Se concentre sur l'identification des modes de défaillance potentiels d'un produit ou d'un système dès la phase de conception. Elle permet d'évaluer les effets de ces défaillances sur les performances du produit et de proposer des mesures correctives avant la production. [18]

Application : Utilisée pour améliorer la fiabilité et la qualité des produits dès la phase de conception.

IV.5.2 AMDEC Processus (Process FMECA)

Analyse des opérations de production pour améliorer la qualité de production, par voie de conséquence la qualité de produit ou du service rendu» Cette AMDEC est rédigée sous la responsabilité du bureau des méthodes de fabrication.

Application : Employée pour optimiser les processus de fabrication et assurer la qualité des produits finaux.

IV.5.3 Système AMDEC (System FMECA)

Il couvre l'analyse des modes de défaillance au niveau des systèmes complexes, incluant l'interaction entre différents sous-systèmes et composants. Elle examine l'impact des défaillances sur le fonctionnement global du système.

Application : Utilisée dans des secteurs où les systèmes sont complexes et hautement intégrés, comme l'aéronautique, l'automobile, et le spatial.

IV.5.4 Maintenance par AMDEC (Maintenance FMECA)

Elle est Focalisée sur la prévision et la prévention des défaillances dans le cadre de la maintenance des équipements. Elle aide à établir des plans de maintenance préventive et corrective pour prolonger la durée de vie des équipements.

Application : Essentielle pour les secteurs où la maintenance régulière est cruciale, tels que les infrastructures industrielles, le transport ferroviaire et les centrales énergétiques.

IV.5.5 Logiciel (AMDEC Software FMECA)

Analyse des modes de défaillance spécifiques aux logiciels, en identifiant les erreurs potentielles dans le code ou les algorithmes et leurs effets sur le fonctionnement du logiciel ou du système qu'il contrôle.

Application : Utilisée dans le développement de logiciels critiques pour la sécurité, comme ceux utilisés dans les dispositifs médicaux, les systèmes de contrôle industriel, et les applications militaires.

Chacune de ces AMDEC a pour objectif d'anticiper et de minimiser les risques de défaillance, améliorant ainsi la fiabilité, la sécurité et la performance des produits, des processus et des systèmes. [19]

IV.6 Avantages et les inconvénients de L'AMDEC

a- Avantages

La maîtrise des risques à l'aide de la méthode AMDEC permet de mener des actions préventives, c'est à dire de résoudre les problèmes avant que ceux-ci ne se présentent. Si cette méthode est suivie tout au long du cycle de vie du produit, la production en sera améliorée et débarrassée de problèmes majeurs [20].

b- Inconvénients

L'AMDEC nécessite une connaissance poussée de la question à étudier. En général, un brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produit est nécessaire. Pour cela, il faut donc qu'une équipe puisse se mettre d'accord sur les modes de défaillance étudiés. Cette méthode est, de ce fait, lourde à mettre en place [20].

IV.7 Construction de la grille d'évaluation :

Elle est en fonction de la:

- ✚ La fréquence des défaillances
- ✚ La gravité des défaillances

✚ La qualité de système de détection

IV.7.1 Fréquence F:

Fréquence (occurrence ou probabilité) d'apparition d'un mode de particulière, compte tenu des actions de prévention mises en œuvre au m fréquences s'exprime par le nombre de défaillance de l'élément sur une période) d'apparition d'un mode de défaillance à une cause ion mises en œuvre au moment de l'étude, platement sur une période donnée.

Tableau IV.2: Niveaux de fréquence

Niveau de fréquence	indice	Définition
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par 5ans
Fréquence faible	2	Défaillance possible : Une défaillance par 3 ans
Fréquence Moyenne	3	Défaillance fréquente : Une défaillance par 2 ans
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par une année

IV.7.2 Gravité G

Gravité (sévérité) des effets de la défaillance compte tenu des actions de réduction des effets mise en œuvre au moment de l'étude.

La notion de gravité est directement liée à l'effet de la défaillance. La gravité s'exprime sous les divers aspects suivants :

- Dégradation matérielle de la machine.
- cout de la maintenance.
- sécurité des opérations.
- taux de la machine ou de la ligne (durée d'arrêt).

Tableau IV.3: Niveau de gravité

Niveau de gravité	Indice	Définition
Gravité très faible (mineure)	1	-Arrêt de fonctionnement inférieur à 5 ans -Aucune dégradation notable de matériel
Gravité faible (significative)	2	-Arrêt de fonctionnement de 3 ans -Remise d'état de courte durée ou une petite réparation
Gravité Moyenne	3	-Arrêt de fonctionnement de 2 ans -Changement du matériel défectueux nécessaire
Gravité majeure	4	-Arrêt de fonctionnement d'une année -Intervention importante sur sous ensemble

IV.7.3 détection D

Probabilité de détecter la cause ou le mode de défaillance avant qu'il n'a L'utilisateur, la probabilité manière suffisamment précoce et d'autre part des actions de détection mises en œuvre au moment de l'étude [21]

Tableau IV.4 : critère de détection D

Niveau de détection	Définition
Détection évident	Détection totale de la cause initiale ou du mode Détection évidente 1 défaillance, ainsi que dispositif de détection automatique d'incident (alarme)
Détection possible	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il Ya Détection possible 2 risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur, la détection est exploitable
Détection improbable	La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement Détection improbable 3 décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables, la détection est faible
Détection impossible	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet Détection impossible 4 ne se produise : il s'agit du cas sans détection

IV.7.4 Calcul de la criticité C

La criticité c'est une quantitative du risque constitue par le scénario (mode cause détection) de défaillance analyse

La criticité est évaluée a partir de la combinaison de trois facteur :

- La fréquence d'apparition du couple mode cause
- La gravite de l'effet
- La possibilité d'utiliser les signes de détection
- La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation :

$$C = P.G.D$$

Tableau IV.5: calcul de la criticité C [21]

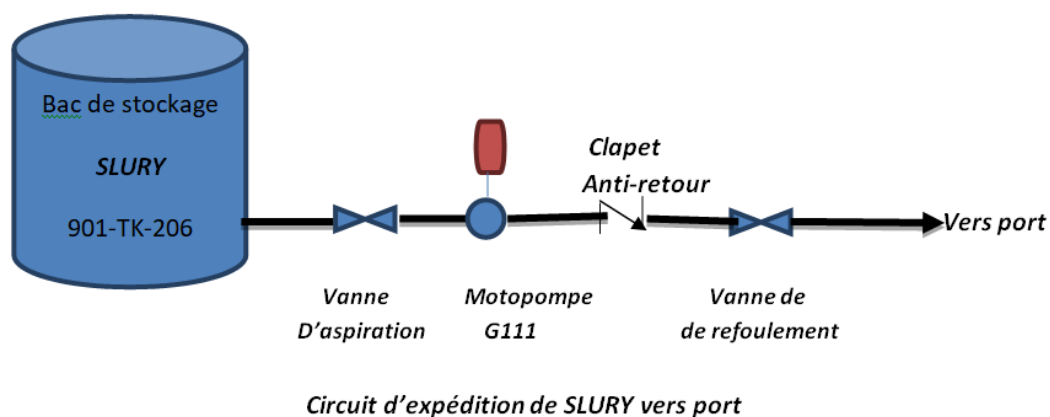
		Fréquence			
Niveau		01 extrême Improbable	02 improbable	03 probable	04 Très probable
Gravité	01 Mineure	01	04	09	16
	02 Significative	02	08	18	32
	03 Moyennes	03	12	27	48
	04 Élevée	04	16	36	64
	05 Catastrophique	05	20	45	80
	Niveau	01 Évidente	02 possible	03 improbable	04 impossible
		détection			

Niveau de criticitéCriticité négligeable : $1 \leq C \leq 12$ Criticité moyenne : $12 \leq C \leq 24$ Criticité élevée : $24 \leq C \leq 32$ Criticité interdite : $32 \leq C \leq 64$ **Tableau IV.6** niveau de criticité

Niveau de criticité	Exemple d'action corrective a engagé
$1 \leq C \leq 12$	Aucune modification de conception Maintenance corrective
$12 \leq C \leq 24$	Amélioration de performance de l'élément Maintenance préventive systématique
$24 \leq C \leq 32$	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle
$32 \leq C \leq 64$	Remise en cause complète de la conception

IV.8 Application de la méthode AMDEC a la pompe d'expédition G111

Dans notre étude le Circuit d'expédition de SLURY vers port est représenté par le schéma synoptique suivant :

**Figure IV.1:** Circuit d'expédition de SLURY vers port

Pour l'application de la méthode AMDEC, il faut d'abord décomposer notre système (le circuit d'expédition) aux sous-systèmes comme suit :

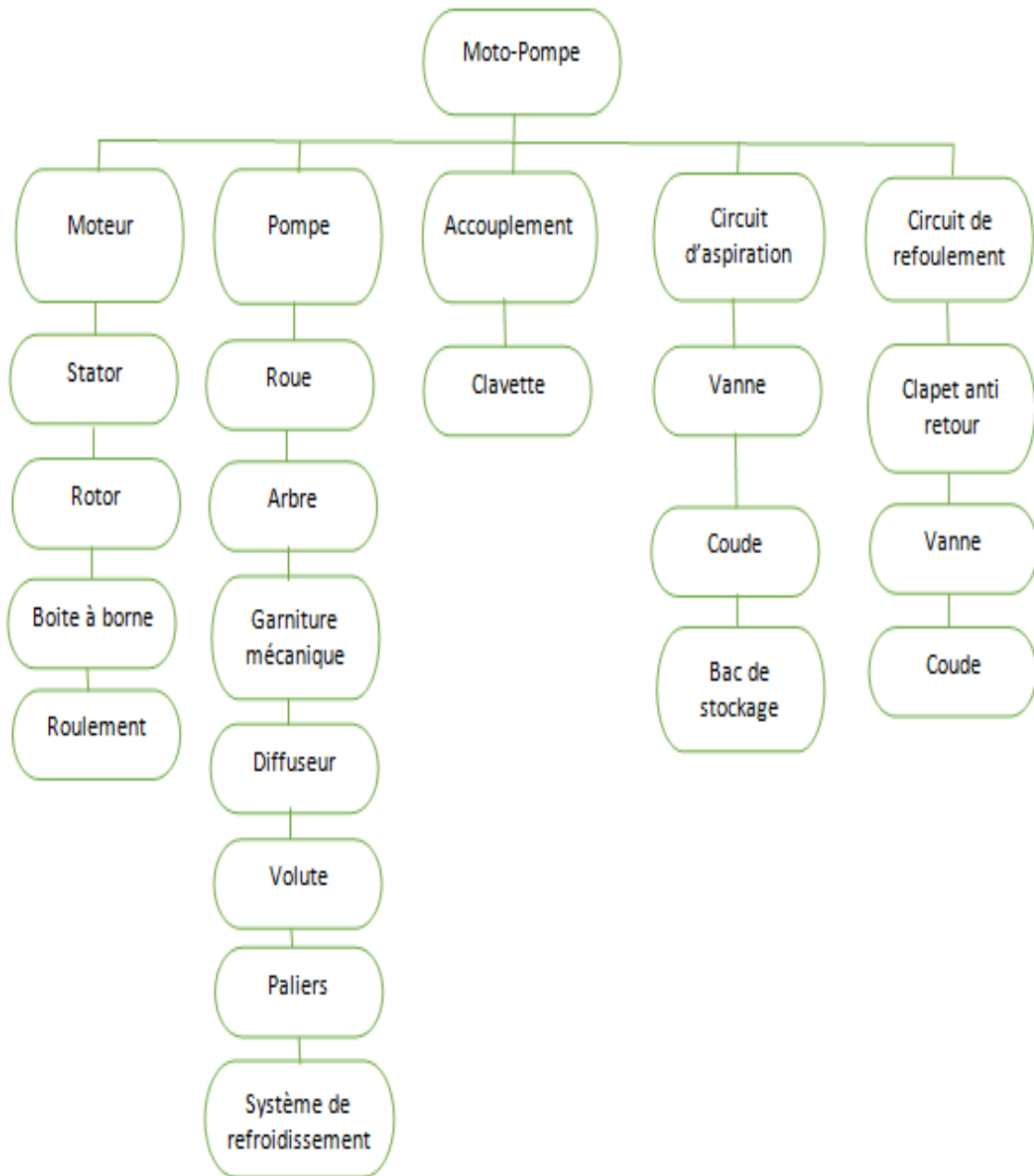


Figure IV.2: schéma de Circuit d'expédition de SLURY vers port

Tableau IV.7: AMDEC moteur

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ									
	Système : Moto-pompe		Sous - système : moteur							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Stator	Créer un champ magnétique	-Excentricité statique -Grillage d'enroulement -Défaillance d'isolement	-Désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator -Surcharge -Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit -Vieillessement naturel des isolants	Arrêt de la pompe	-Visuel -vibration -température élevée	1	4	2	8	-alignement de l'axe -enrobage de bobinage
Rotor	Fournit l'énergie mécanique de rotation	- excentricité du rotor -Rupture des barres rotoriques	-surcharge -fatigue	Arrêt de la pompe	-vibration -température élevée	1	4	3	12	Changement de Rotor
Boite à borne	Assure l'alimentation de moteur	Court-circuit	-mauvaise étanchéité	Arrêt de la pompe	-Visuel	1	2	2	4	Vérifier l'étanchéité
Roulement	Guider et supporter le rotor	-usure -cassure	-fatigue -vibration	Echauffement -blocage de rotor	-vibration -température élevée	1	4	3	12	Changement des roulements

Tableau IV.8: AMDEC pompe centrifuge

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ									Action Corrective
	Système : Moto-pompe		Sous - système : pompe centrifuge							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				
						F	G	D	C	
Roue	Donner une vitesse au liquide	- usure et endommagement de la roue	-cavitation	-Diminution de débit -Arrêt de la pompe	-vibration -bruit	2	4	3	24	-analyse vibratoire -changement de la roue en cas de grave endommagement
Arbre	Transmission le couple de rotation	- usure -rupture	-surcharge -fatigue	Arrêt de la pompe	-vibration -bruit	2	4	3	24	-analyse vibratoire -changement de la roue en cas de grave endommagement
Garniture mécanique	Assure l'étanchéité de la pompe	-usure de grain mobile et/ou de grain fixe - usure des joints	-cavitation -milieu agressif	Arrêt de la pompe	-Visuel (observation de la fuite)	5	4	2	40	-Vérifier l'étanchéité -changement de la garniture
Diffuseur	Canaliser le fluide accéléré par la roue et le diriger vers la volute et la tubulure de refoulement	-usure	-cavitation	-Diminution de pression de refoulement -Arrêt de la pompe	-bruit	1	4	3	12	-changement de Diffuseur en cas de grave endommagement
Volute	Transforme la vitesse de fluide en pression	-usure -fissures	-cavitation	-Diminution de pression de refoulement -Arrêt de la pompe	-bruit	1	4	3	12	-changement de Diffuseur en cas de grave endommagement
Paliers	Guider et supporter l'arbre	-usure -cassure	-cavitation -vibration	-Arrêt de la pompe	-vibration -bruit	1	4	3	12	-maintenance préventive -changement des pièces usées
Système de refroidissement	Refroidissement les pièces en frottement	- usure des joints -bouchage	-fatigue -mauvaise qualité d'eau	-Arrêt de la pompe	-fuite Température des pièces en frottement très élevée	2	2	2	8	-changement des joints -nettoyage -amélioration de la qualité d'eau

Tableau IV.9: AMDEC accouplement

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ									Action Corrective
	Système : Moto-pompe		Sous - système : Accouplement							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Clavette	Assurer la liaison en rotation de deux pièces	-rupture	-surcharge -fatigue	Arrêt de la pompe	-Visuel -vibration	2	3	1	6	-changement de clavette -réalignement des axes

Tableau IV.10: AMDEC Circuit d'aspiration

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ									Action Corrective
	Système : Moto-pompe		Sous - système : Circuit d'aspiration							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Vanne d'aspiration	Permet de commander, réguler ou stopper un débit de fluide	-présente une fuite -blocage	-vieillesse - usure des joints	Arrêt de la pompe (le cas où le produit circulant est dangereux)	-Visuel	2	2	1	4	-réparation ou changement de la vanne
Coude	Changement direction de circuit (casser la pression)	-présente une fuite	- usure des joints	Arrêt de la pompe (le cas où le produit circulant est dangereux)	- Visuel	2	2	1	4	-changement de coude
Bac de stockage	-réserve le produit	- présente une fuite	- usure des joints -défaillance de toit	Arrêt de la pompe (le cas où le produit circulant est dangereux)	- Visuel	2	3	1	6	

Tableau IV.11: AMDEC Circuit de refoulement

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					:				Action Corrective
	Système : Moto-pompe		Sous - système : Circuit de refoulement							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				
						F	G	D	C	
Clapet anti retour	-empêche le retour de fluide	-présente une fuite -détérioration	-présence des particules solide dans le fluide	- Arrêt de la pompe	-Visuel	2	2	1	4	- changement de clapet
Vanne de refoulement	Permet de commander, réguler ou stopper un débit de fluide	-présente une fuite -blocage	-vieillesse - usure des joints	Arrêt de la pompe (le cas où le produit circulant est dangereux)	-Visuel	2	2	1	4	-réparation ou changement de la vanne
Coude	Changement direction de circuit (casser la pression)	-présente une fuite	- usure des joints	Arrêt de la pompe (le cas où le produit circulant est dangereux)	- Visuel	2	2	1	4	-changement de coude

IV.8.1 Méthode ABC (Pareto) :

La méthode ABC est une technique de catégorisation. Elle consiste à classer des éléments en trois catégories : A, B et C. Les références sont catégorisées par ordre décroissant, A désignant la catégorie la plus importante ou stratégique, et C la moins importante.

Tableau IV.12: Classification des niveaux des criticités

	Eléments	Criticités	Criticités en %	Criticité cumulée en %	Classification %
1	Garniture mécanique	40	20	20	20
2	Roue	24	12	32	32
3	Arbre	24	12	44	44
4	Rotor	12	6	50	50
5	Roulement	12	6	56	56
6	Diffuseur	12	6	62	62
7	Volute	12	6	68	68
8	Paliers	12	6	74	74
9	Stator	8	4	78	78
10	Système de refroidissement	8	4	82	82
11	Clavette	6	3	85	85
12	Bac de stockage	6	3	88	88
13	Boite à borne	4	2	90	90
14	Vanne d'aspiration	4	2	92	92
15	Coude ligne d'aspiration	4	2	94	94
16	Clapet anti retour	4	2	96	96
17	Vanne de refoulement	4	2	98	98
18	Coude ligne de refoulement	4	2	100	100
	Total	200	100		

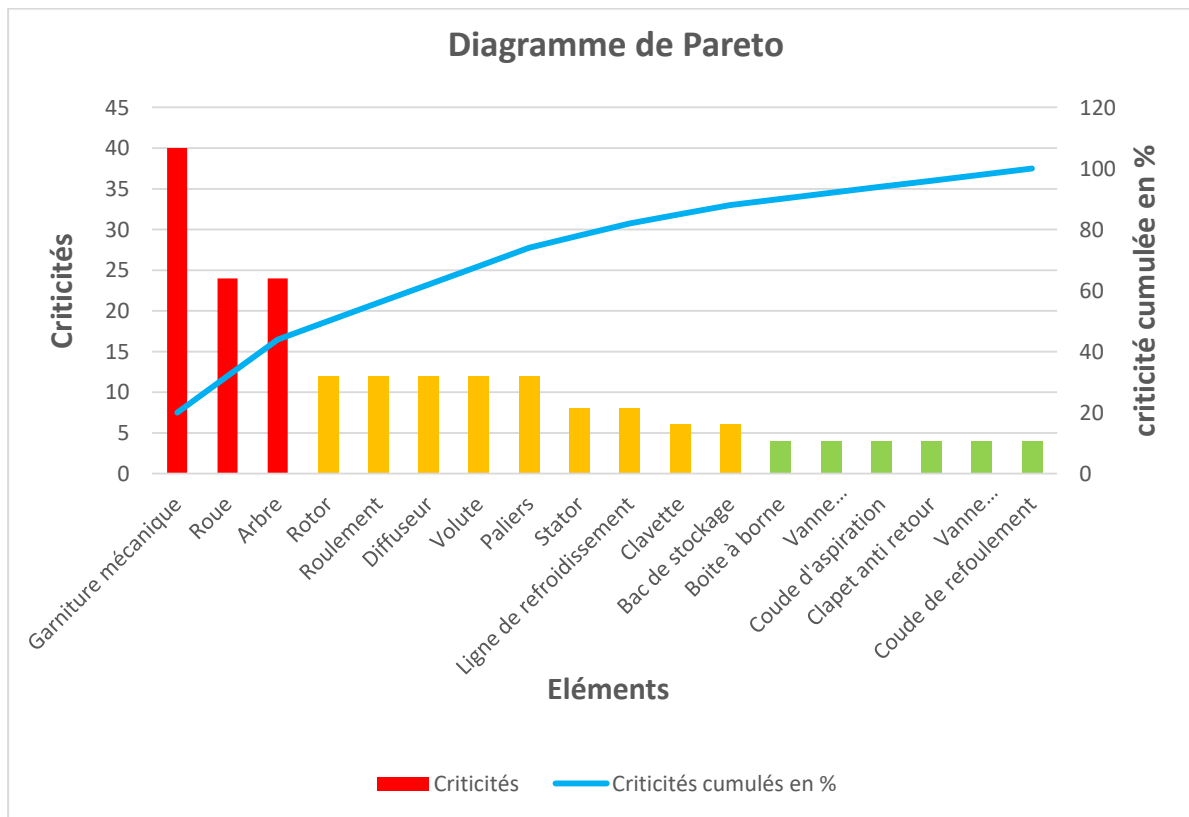


Figure IV.3: courbe de Pareto

Interprétation des résultats :

A partir de la courbe de Pareto on détermine trois classe A, B, C :

Classe A : criticité $C > 12$

La classe A contient les éléments les plus critiques, elle représente 44% de cumul de criticité.

Les éléments constituant cette classe sont :

- Garniture mécanique
- Roue
- Arbre

Classe B : criticité $6 \leq C \leq 12$

La classe B contient les éléments les moyennes critiques, elle représente 44% de cumul de criticité.

Les éléments constituant cette classe sont :

- Rotor
- Roulement
- Diffuseur
- Volute
- Paliers
- Stator
- Système de refroidissement

- Clavette
- Bac de stockage

Classe C : criticité C<6

La classe B contient les éléments les moins critiques, elle représente 12% de cumul de criticité.

Les éléments constituant cette classe sont :

- Boite à borne
- Vanne d'aspiration
- Coude ligne d'aspiration
- Clapet anti retour
- Vanne de refoulement
- Coude ligne de refoulement

IV.9 Définition de la maintenance

Selon les normes de l'AFNOR (NFX 606010), la maintenance consiste en ensemble d'actions visant à maintenir ou à restaurer un équipement dans un état lui permettant d'accomplir sa fonction spécifique. Cela implique une approche proactive pour éliminer les causes d'événements indésirables, afin de les prévenir ou d'empêcher leur récurrence. [22]

IV.10 But de la maintenance

- Redonner au matériel des qualités perdues et nécessaires aux fonctionnements.
- Faire le nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du bien, donc de réduire le nombre de défaillances et augmenter la MTBF.
- Ramener le plus vite possible le matériel en état de fonctionnement et par la suite diminuer la MTTR.

IV.11 Objectifs de la maintenance

- Minimiser les coûts indirects.
- Contribuer à assurer la production prévue et améliorer la qualité des opérations.
- Optimiser le temps de l'immobilisation du matériel.
- Maintenir le potentiel du matériel.
- Assurer la continuité de la fabrication.

- Maintenir de stock des pièces de rechange pour répondre à ces besoins de telle façon Et éviter tout stock mort et toute rupture de stock. [23]

IV.12 Différents types de la maintenance

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance :

- Maintenance corrective :
 - Curative ;
 - Palliative ;
- Maintenance préventive :
 - Systématique ;
 - Conditionnelle ;

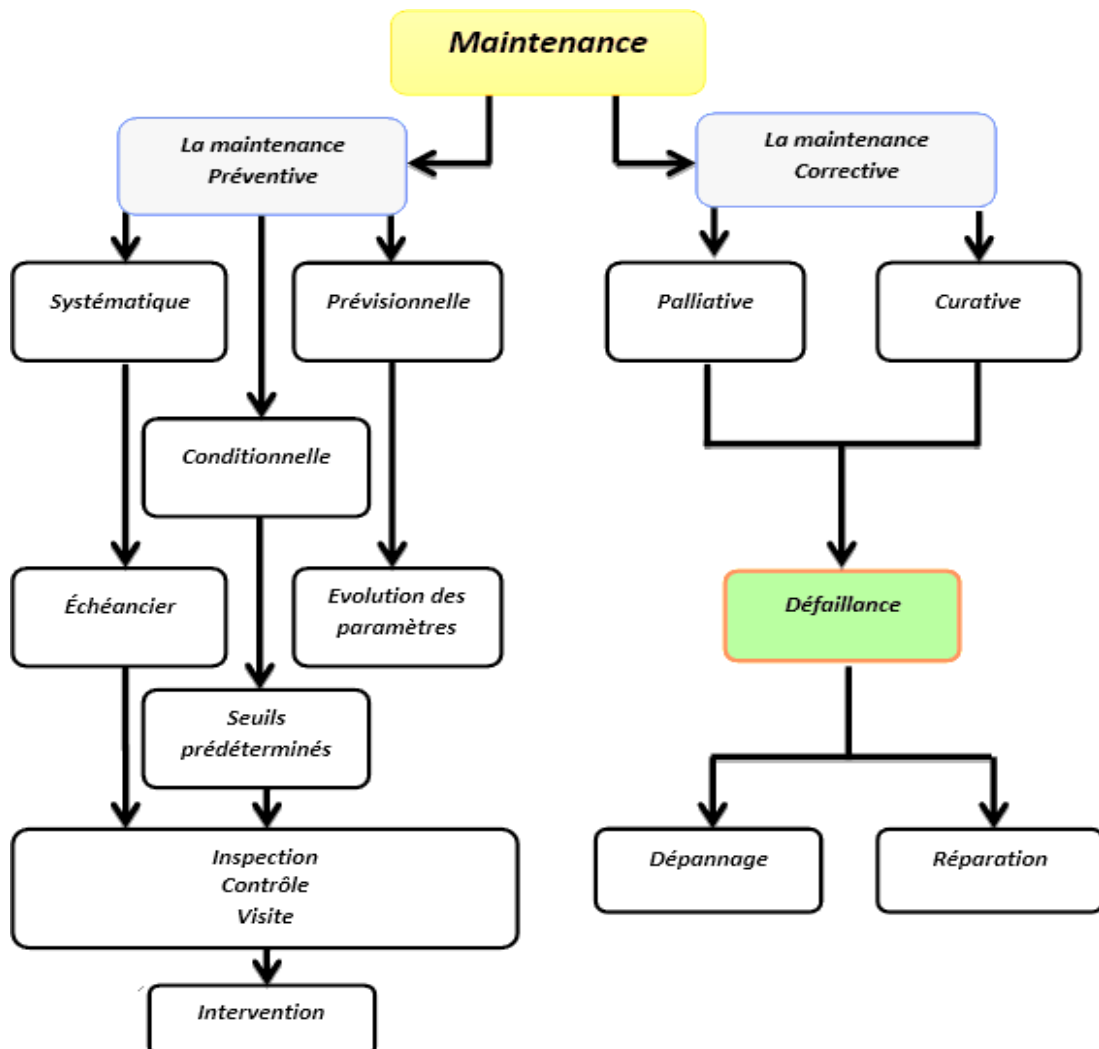


Figure IV.4: Organigramme sur les types de maintenance. (22)

IV.13 Fonctions principales du service maintenance

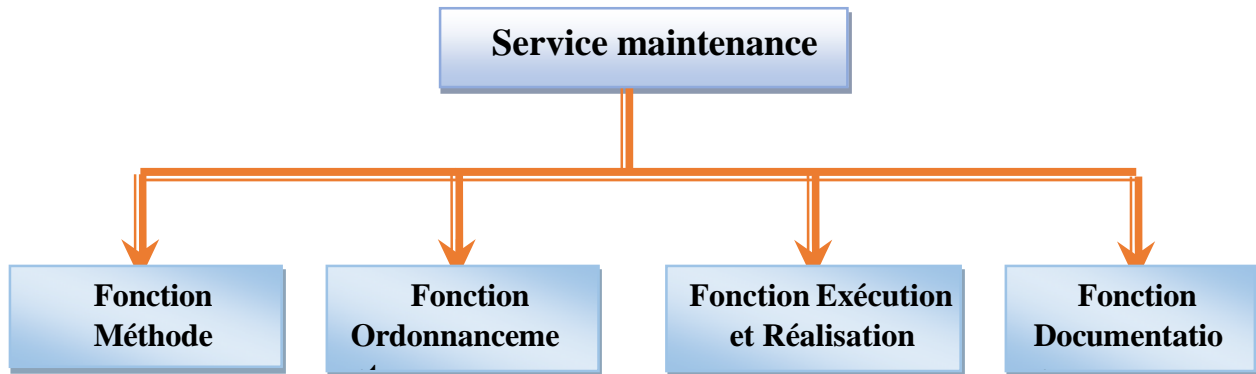


Figure IV.5: Organigramme des fonctions principales du service maintenance

Fonction méthode (c'est le cerveau du service maintenance) :

- Déterminer les pièces de rechange.
- Préparation des interventions.
- Proposition de modification.
- Définir et choisir les procédures de maintenance, essais et contrôles.
- Vérification des travaux effectués.
- Analyser les coups de maintenance, défaillance et fonctionnement.

Fonction ordonnancement :

- Etablit le planning d'intervention.
- Repartit les personnels.
- Calculer le temps d'intervention.
- Surveiller l'avancement des travaux.

Fonction exécution :

- Assurer l'installation des machines.
- Informer le personnel sur l'équipement.
- Assurer la remise en marche après défaillance.
- Etablit le diagnostic de défaillance.
- Gérer les stocks.

Fonction documentation :

Elle consiste à créer, organiser, animer, compléter et être à jour toute la documentation relative à la maintenance.

IV.14 Niveaux de la maintenance

1. Réglages simples.
2. Dépannages par échange standard et petites opérations de maintenance préventive.
3. Identification, diagnostic, réparation.
4. Maintenance importante.
5. Rénovation, reconstruction.

IV.15 Conclusion

L'application de la méthode AMDEC au circuit d'expédition de SLURY est un outil précieux pour améliorer la fiabilité et la sécurité de l'installation. Elle permet de prévenir les pannes coûteuses et les accidents, et d'optimiser la maintenance

Conclusion générale

Conclusion générale

Les pompes jouent un rôle primordiale dans l'industrie, notamment dans l'industrie pétrolière qui influe constructivement l'économie du pays, pour ceci nous intéressé à la réalisation de notre travail qui s'inscrit dans la préparation de notre mémoire de fin d'études Master qui a pour objectif

À l'issue de ce travail, nous avons mené une étude complète sur la pompe G111, un équipement stratégique de la raffinerie d'Alger, dans une démarche alliant compréhension technique, analyse de performance et méthodologie de maintenance corrective.

Nous avons commencé par une présentation de la raffinerie d'Alger sidi arcine, afin de situer notre étude dans son contexte industriel réel. Cette étape nous a permis d'appréhender l'environnement de fonctionnement de la pompe ainsi que son importance dans le circuit de transfert du fuel oil.

Nous avons ensuite présenté les principes fondamentaux relatifs aux pompes industrielles, indispensables pour comprendre le rôle, le comportement et les contraintes associées à ce type d'équipement. Une description technique détaillée de la pompe G111 a également été réalisée, mettant en évidence ses caractéristiques, sa configuration et son rôle opérationnel.

Sur cette base, une analyse FMD (Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité) a été menée à partir des données réelles d'exploitation. Cette étape a permis d'identifier les faiblesses techniques et les facteurs influençant les performances de la pompe, en apportant des indicateurs clés pour guider les actions futures.

Enfin, nous avons appliqué la méthodologie AMDEC corrective, en identifiant les modes de défaillance critiques, en analysant leurs causes et en formulant des actions correctives adaptées. Cette approche vise à renforcer la fiabilité de la pompe, tout en améliorant la planification et la gestion de sa maintenance.

Ce travail représente ainsi une contribution concrète à l'amélioration de la performance et de la fiabilité des équipements critiques de la raffinerie. Il constitue une base méthodologique solide pour développer des stratégies de maintenance plus efficaces, et ouvre la voie à des études complémentaires, notamment dans l'intégration de la maintenance prédictive et des systèmes de surveillance intelligents.

En perspective, nous proposons l'application de l'analyse vibratoire pour cette pompe afin de mieux diagnostiquer les endommagements mécanique et apporter des recommandations aux ingénieurs pour résoudre toutes les anomalies et défauts les plus fréquents qui rentre dans le cadre de la maintenance préventives.

Références bibliographiques

- [1] **Documentation de la raffinerie d'Alger**, «Manuel d'exploitation»,1964.
- [2] «**Foster Wheeler**», (Manuel d'exploitation, unité de distillation), Société Française – Raffinerie d'Alger. 1963.
- [3]:Fichier PDF : MACHINES HYDRAULIQUES. Classification et Définition (<http://www.almohandiss.com>).15.30h,02/06/2025
- [4]: **Bernard DE CHARGERE** et **Robert REY**, « Pompes volumétrique pour liquides ». Techniques d'ingénieur, Juillet 2009.
- [5]: Documentation du constructeur (Halberg, siemens, voith).
- [6] Centrifugal pump clinic. Igor J Karassik.
- [7] **BASCAL BIGOT**, « coure : les pompe » 2003,
- [8] **BRAHMIA .F, ADDOUNE. F**, « Etude de maintenance de la pompe huile chaude » INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE
- [9] Mr. **HAOUAM YOUCEF**, Influence de Débit sur le comportement vibratoire de la pompe d'expédition 50-P004 B, Université Blida 1, faculté de science, 2016/2017
- [10] Meriouma, A. E., & Arbaoui, Y. *Étude De la maintenance d'une pompe a boue de forage*, Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2021/2022
- [11] Bellaouar, A., & Beleulmi, M. S, Fiabilité maintenabilité disponibilité. *Faculté des Sciences de la Technologie Département Génie des Transports UNIVERSITE Constantine, I*, 2013/2014.
- [12] Bellefki, M, cours pompe la maintenance en mécanique pétrolière. IAP d'Arzew,(2013)
- [13] <https://melusine.eu.org/syracuse/bbgraf/papiers/weibull.xml>,13.00h,15/05/2025
- [14] **BOULENGER, A.**, Aide-mémoire Maintenance conditionnelle, (2008).
- [15] Claude Haserd, fiabilité, maintenabilité, disponibilité, Edition AFNOR ,2eme Edition, paris (1986).
- [16] A. **ABDENOUR**, Application de l'AMDEC pour le turbocompresseur GHH au niveau de l'unité d'acide nitrique FERTIAL-ANNABA, 2018/2019
- [17] CH. **ABDELAZIZ**, Étude AMDEC de la Faiseuse HURON MU par les outils de la maintenance industrielle" au niveau de l'unité AMM Arcelor Mittal –Annaba, 2018/2019

[18] M.Henini, I.Guiton, Maintenance industrielle basée sur la fiabilité ,mémoire fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme ingénieure d'état ,2010

[19] CHERIFI Lyes, Conception D'un GRAFCET Et Application De La Méthode De Maintenance AMDEC De La Machine Battage Polyester Au Niveau De l'EATIT de DRAA BEN KHEDDA, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Département de Génie Mécanique 2021/2020.

[20] Drif, Akila & Taourirt, Asma Etude de Fiabilité et Application de l'analyse AMDEC sur la Pompe Alimentaire du Groupe (04) de la Central Thermique de RAS DJINET Université M'Hamed Bougara-Boumerdes, 2022- 2023

[21] KADDOUR BENATIA Abdou, KHEMIS Imed Eddine, mémoire de fin d'études : Les principaux risques liés à la fabrication des moteurs Et application de L'AMDEC au séparateur des huiles Au niveau de l'ENEL, BOUMERDES ,2020 /2021.

[22] X60-319/NF EN 13306 2010 AFNOR Terminologie de la maintenance, Janvier 2012, email : norminfo@afnor.org

[23] AUBERVILLE J.M., Maintenance industrielle, de l'entretien de base à l'optimisation de la sûreté, Editions Ellipses 2004.

Annexe

Annexe

I. Eude de fiabilité

Table numérique

La distribution de **WEIBULL** se faite comme suit

Q	A	B	Q	A	B	Q	A	B
			1.50	0.9027	0.613	4	0.9064	0.254
			1.55	0.8994	0.593	4.1	0.9077	0.249
			1.60	0.8966	0.574	4.2	0.9089	0.244
			1.65	0.8942	0.556	4.3	0.9102	0.239
0,20	120	1901	1.70	0.8922	0.540	4.4	0.9114	0.235
0.25	24	199	1.75	0.8906	0.525	4.5	0.9126	0.230
0.30	9.2605	50.08	1.80	0.8893	0.511	4.6	0.9137	0.226
0.35	5.0291	19.98	1.85	0.8882	0.498	4.7	0.9149	0.222
0.40	3.3234	10.44	1.90	0.8874	0.486	4.8	0.9160	0.218
0.45	2.4786	6.46	1.95	0.8867	0.474	4.9	0.9171	0.214
0.50	2	4.47	2	0.8862	0.463	5	0.9182	0.210
0.55	1.7024	3.35	2.1	0.8857	0.443	5.1	0.9192	0.207
0.60	1.5046	2.65	2.2	0.8856	0.425	5.2	0.9202	0.203
0.65	1.3663	2.18	2.3	0.8859	0.409	5.3	0.9213	0.200
0.70	1.2638	1.85	2.4	0.8865	0.393	5.4	0.9222	0.197
0.75	1.1906	1.61	2.5	0.8873	0.380	5.5	0.9232	0.194
0.80	1.1330	1.43	2.6	0.8882	0.367	5.6	0.9241	0.191
0.85	1.0880	1.29	2.7	0.8893	0.355	5.7	0.9251	0.188
0.90	1.0522	1.17	2.8	0.8905	0.344	5.8	0.9260	0.185
0.95	1.0234	1.08	2.9	0.8917	0.334	5.9	0.9269	0.183
1	1	1	3	0.8930	0.325	6	0.9277	0.180
1.05	0.9603	0.934	3.1	0.8943	0.316	6.1	0.9286	0.177
1.10	0.9649	0.878	3.2	0.8957	0.307	6.2	0.9294	0.175
1.15	0.9517	0.830	3.3	0.8970	0.299	6.3	0.9302	0.172

1.20	0.9407	0.787	3.4	0.8984	0.292	6.4	0.9310	0.170
1.25	0.9314	0.750	3.5	0.8997	0.285	6.5	0.9318	0.168
1.30	0.9236	0.716	3.6	0.9011	0.278	6.6	0.9325	0.166
1.35	0.9170	0.687	3.7	0.9025	0.272	6.7	0.9333	0.163
1.40	0.9114	0.660	3.8	0.9038	0.266	6.8	0.9340	0.161
1.45	0.9067	0.635	3.9	0.9051	0.260	6.9	0.9347	0.160

D'après le dessin de la courbe sur le papier **WEIBULL** on essaye de trouver la fonction en termes de η , γ , β avec A et B sont des constantes.

Historique des pannes de la pompe G111 :

	Date et heure début de la panne	Date et heure fin de la panne	Durée de d'intervention (h)	Description de l'anomalie
01	12/06/2015 14h00	16/06/2015 10h00	92h	Bruit important
02	02/11/2015 11h00	04/11/2015 15h00	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique
03	09/10/2016 8h30	09/10/2016 10h30	02h	Travaux de préventive
04	05/12/2016 11h30	07/12/2016 13h30	50h	Béton de socle arraché
05	03/01/2017 10h00	05/01/2017 14h00	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique
06	03/03/2017 15h00	08/03/2017 09h00	114h	Arbre bloqué
07	21/02/2018 12h30	21/02/2018 16h30	4h	Fuite au niveau de ligne de refroidissement de la pompe
08	11/08/2018 12h00	13/08/2018 16h00	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique
09	02/07/2019 12h00	03/07/2019 11h00	23h	Vane bay pass bloquée
10	10/07/2019 08h00	12/07/2019 12h00	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique
11	08/04/2020 13h00	09/04/2020 11h00	22h	Bruit anormale au niveau de palier
12	11/11/2020 13h00	13/11/2020 17h00	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique
13	09/06/2023 08h00	09/06/2023 12h00	4h	Nettoyage filtre d'aspiration
14	12/08/2023 15h30	14/08/2023 19h30	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique
15	02/09/2025 09h30	04/09/2025 13h30	52h	Fuite au niveau du Garniture mécanique