



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département Maintenance en Electromécanique.

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel.

Spécialité : Maintenance Fiabilité Qualité.

Thème

APPLICATION DE LA METHODE AMDEC SUR UN EQUIPEMENT INDUSTRIEL

Présenté et soutenu publiquement par :

NEDJARI Younes et **CHEBBA Mebarek**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
ROUAN Serik	MAA	IMSI	Président
Moufok Souad	MAA	IMSI	Encadreur
ADJOUA Aziz	MCB	IMSI	Examineur

Année 2021/2022

Remercîment

Tous d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu, de nous avoir donné la force et le courage pour mener à bien ce modeste travail et d'arriver en fin à ce jour-là.

Nous tenons particulièrement à remercier notre encadreur :

*Madame **MOUFOK Souad** Qui a eu confiance en nous et nous a permis d'achever ce travaille, et qui a mis à notre disposition tous les moyens et les ressources nécessaires à sa réalisation.*

Nous remercions également les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

Nous tenons à remercier sincèrement corps professoral et administratif du département : « Maintenance en Electromécanique » pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire

Dédicace

. A ma très chère mère qui a toujours fait de l'instruction une priorité dans mon éducation : Affable, honorable, aimable : tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon père qui m'a soutenue depuis mon enfance, je n'arrive pas à te remercier de tous ce que tu m'as fait grâce à toi chef aujourd'hui je suis là tu nous as fait peur le jour de ton opération mais el hamdoulillah tu l'a survécu avec t'a bonté

A mon cher petit frère sami et mes sœurs : les mots ne suffisent pas pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mes fidèles compagnons, Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

*À mon encadreur Madame Moufok Souad,
Merci madame d'être notre encadreur, ont été contentes de travailler avec vous,
que dieux vous protège et ta petite famille*

Et à toute personne chère à mon cœur.

NEDJARI Younes

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents, source intarissable d'amour et d'inspiration, qui m'a tant prodigué de la tendresse et qui mes inculqué des valeurs grâce auxquelles je trace sereinement mon chemin dans la vie amés, adorables frères et mes admirables sœurs à tous mes collègues à tous mes proches a tous ceux qui j'aime

A tous les enseignants et collaborateurs de la spécialité maintenance industrielle.

Liste des figures

Figure 1. <i>Domaine d'utilisation des deux grandes catégories de pompe</i>	3
Figure 2. <i>Classification des pompes</i>	4
Figure 3. <i>Fonctionnement des pompes volumétriques rotatives</i>	5
Figure 4. <i>Vue écorchée d'une pompe à engrenages</i>	6
Figure 5. <i>Pompes à vis (cas à 2 vis)</i>	6
Figure 6. <i>Pompe à palettes</i>	7
Figure 7. <i>Vue intérieure d'une pompe à lobes</i>	8
Figure 8. <i>Principe pompe à piston</i>	8
Figure 9. <i>Pompe à membranes</i>	9
Figure 10. <i>Les types des roues</i>	10
Figure 11. <i>Pompe multicellulaire</i>	11
Figure 12. <i>Pompe monocellulaire</i>	11
Figure 13. <i>Vue écorchée et extérieure d'une pompe verticale</i>	12
Figure 14. <i>Montage d'une pompe en aspiration et en charge</i>	12
Figure 15. <i>Présentation extérieure d'une pompe centrifuge</i>	13
Figure 16. <i>Schéma de Pompe centrifuge</i>	14
Figure 17. <i>Vue intérieure de la P105</i>	15
Figure 18. <i>Rôle et situation de la P105</i>	16
Figure 19. <i>Impulser</i>	17
Figure 20. <i>Volute</i>	17
Figure 21. <i>Inducteur</i>	18
Figure 22. <i>Ensemble rotor monté dans une volute</i>	19
Figure 23. <i>Arbre</i>	19
Figure 24a <i>Coussinets</i>	20
Figure 24b <i>Coussinet d'étranglement</i>	20
Figure 25. <i>Bague d'usure</i>	20
Figure 26. <i>Bague d'usure montée dans son support</i>	21

Figure 27. <i>Chemise d'arbre</i>	22
Figure 28. <i>Accouplement de la P105</i>	22
Figure 29. <i>Garniture mécanique de P105</i>	23
Figure 30. <i>Tubulures d'aspiration et de refoulement</i>	24
Figure 31. <i>Dessin de coupe de la P 105</i>	25
Figure 32. <i>Les différents types de maintenance</i>	28
Figure 33. <i>Courbe en baignoire du taux de défaillance</i>	42
Figure 34. <i>Courbe du taux de défaillance en mécanique</i>	44
Figure 35. <i>Courbe de pareto</i>	50
Figure 36. <i>Diagrammes de causes à effets " Ishikawa "</i> ..	56
Figure 37. <i>Diagramme de PARETO</i>	65
Figure 38. <i>Décomposition structurelle de la Pompe Centrifuge</i>	66
Figure 39. <i>Les composants de sous-systèmes (Décomposition structurelle)</i>	67
Figure40. <i>Diagramme de pareto</i>	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. <i>Les des pièces de la pompe.....</i>	<i>25</i>
Tableau 2. <i>Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique</i>	<i>36</i>
Tableau 3. <i>La procédure de la maintenance niveau 1.....</i>	<i>37</i>
Tableau 4. <i>La procédure de la maintenance niveau 2.....</i>	<i>39</i>
Tableau 5. <i>Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.</i>	<i>57</i>
Tableau 6. <i>Grille de cotation de la gravité.....</i>	<i>58</i>
Tableau 7. <i>Grille de cotation de la probabilité de non détection</i>	<i>59</i>
Tableau 8. <i>Suive la panne</i>	<i>63</i>
Tableau 9. <i>Résultat ABC.....</i>	<i>64</i>
Tableau 10. <i>Etude Pareto sur la criticité</i>	<i>74</i>

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : *Association Française de Normalisation*

AMDEC : *Analyse des Modes des Défaillances, de leur Effet et de leur Criticité*

MTBF : *La Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement*

MTTR : *La Moyenne des Temps Techniques de Reparitions*

TBF : *Le Temps de Bon Fonctionnement*

TTR : *Le Temps Technique de Réparation*

C : *Criticité*

G : *Gravité*

F : *Fréquence*

D : *Détection*

CSTF : *Centre de Stockage et Transfert Fluid.*

Sommaire

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Liste des abréviations	III
Résumé	IV
Introduction général.....	1
Chapitre I :Généralités et description de la pompe P 105	1
1.1Introduction	2
1.2Définition d'une pompe.....	2
1.3Les différentes types d'une pompe et leurs caractéristiques.....	2
1.3.1 Les pompes volumétriques	5
1.3.1.1 Définition et principe de fonctionnement	5
1.3.2Les turbopompes	9
1.3.2.1Définition et principe de fonctionnement.....	9
1.3.2.2 Classification des turbopompe	10
1.3.3Les pompes hélico-centrifuge ou semi-axiale	12
1.3.3.1 Les pompe hélice ou axiale	13
1.3.3.2Les pompes centrifuge	13
1.4La pompe centrifuge P 105.....	15
1.4.1 Le role de la pompe P 105	15
1.4.2 La situation géographique de la pompe	16
1.4.3 Les caractéristiques de la pompe P 105	16
1.4.4 Les organes constitutifs de la pompe P 105	17
1.4.4.1 Organes ayant une fonction hydraulique	17
1.4.4.2 Organes ayant une fonction mécanique	18
1.4.4.3 Organes ayant une fonction d'étanchéité	22
1.4.4.4 Autres organes constitutifs de la pompe	22
I.5Conclusion.....	25
Chapitre 2 : Généralité sur la maintenance appliquées sur la pompe centrifuge P 105	26
2.1Introduction	27
2.2Définition de la maintenance	27
2.3Types de maintenance.....	27
2.3.1Maintenance corrective.....	28
2.3.1.1 Opérations sur la maintenance corrective	28

2.3.1.2	Le temps de maintenance corrective	29
2.3.2	Maintenance préventive.....	30
2.3.2.1	Opérations sur la maintenance préventive	30
2.3.2.2	Objectifs de la maintenance préventive	31
2.3.3	Maintenance systématique	32
2.3.4	Maintenance conditionnelle	32
2.3.5	Maintenance prévisionnelle	32
2.4	Les niveaux de la maintenance.....	33
2.5	Maintenance appliquée à la pompe P 105	34
2.5.1	La surveillance	34
2.5.2	Maintenance prédictive	35
2.5.3	Maintenance préventive systématique	35
2.6	Le plan de maintenance de la pompe P 105.....	36
2.6.1	Inspéction préventive.....	36
2.6.2	Maintenance de niveau 1.....	37
2.6.3	Maintenance de niveau 2.....	38
2.7	Fiabilité.....	40
2.7.1	Fiabilité et qualité.....	41
2.7.2	Temps moyen de bon fonctionnement.....	41
2.7.2.1	Définition de la formule du MTBF	41
2.7.2.2	Utilité de la MTBF	41
2.7.2.3	Taux de défaillance pour des composants mécaniques	43
2.7.3	Le temp de réparation (MTTR)	45
2.7.3.1	Définition du MTTR	45
2.7.3.2	Formule du temps moyen de réparation MTTR	45
2.7.3.3	Quelques points à noter	45
2.7.3.4	Utilités du MTTR	46
2.7.4	Disponibilité (DO)	46
2.8	Conclusion.....	47
Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance		48
3.1	Introduction	49
3.2	Analyse de la fiabilité à partir de la méthode ABC-loi de pareto	49
3.2.1	Définition du principe de la loi de pareto (20-80).....	49
3.2.2	Diagramme de pareto.....	49
3.3	La méthode AMDEC	51

3.3.1	Historique de la méthode AMDEC.....	51
3.3.2	Définition de la méthode AMDEC.....	51
3.3.3	Caractéristiques de la méthode AMDEC	51
3.3.4	Avantages de la méthode AMDEC	52
3.3.5	Inconvénients de la méthode AMDEC	52
3.3.6	Les types de la méthode AMDEC	53
3.3.7	AMDEC machine	53
3.3.7.1	Définition	53
3.3.7.2	Les interet de AMDEC machine	54
3.3.7.3	Cas d'application	54
3.3.8	La démarche pratique de l'AMDEC	55
3.3.8.1	Initialisation (étape 1)	55
3.3.8.2	description fonctionnelle de la machine (étape 2)	55
3.3.8.3	Analyse des mode de défaillance, de leurs effet et de leurs criticité (étape 3)	55
3.3.8.4	Synthese de l'étude/décision (étape 4)	59
3.3.8.5	Criticité - indice finaux (étape 5)	60
3.3.8.6	Suivi (étape 6)	61
3.4	Conclusion	61
Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions correctives		62
4.1	Introduction	63
4.2	Historiques des pannes de la pompe P 105.....	63
4.3	Application diagramme pareto	64
4.4	Interprétation des résultats.....	65
4.5	Application de la méthode AMDEC sur la pompe P 105.....	66
4.6	Les feuilles AMDEC de la pompe centrifuge.....	67
4.6.1	Traitement des sous-systemes	68
4.6.2	Analyse des sous-systemes	70
4.7	Etude pareto sur la criticité	73
4.8	Diagramme de pareto.....	75
4.9	Interprétation des résultats.....	75
4.10	Comparaison entre les résultats pareto.....	76
4.11	Conclusion.....	76
Conclusion générale		77

Introduction générale

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Jusqu'à très récemment, la maintenance était considérée comme un centre des coûts. Actuellement, il y'a une prise de conscience qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise. La complexité des mécanismes de dégradation des équipements a fait en sorte que la durée de vie de ces derniers a toujours été traitée comme une variable aléatoire.

Avec la mise en place du juste à temps, de la qualité globale et compte tenu des coûts Très élevés des machines modernes, les pertes de production ont des répercussions économiques souvent importantes. L'amélioration de la disponibilité de l'outil de production devient donc une priorité de l'entreprise et en particulier du service maintenance.

L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une approche qualitative pour les études de sûreté dans différents domaines. En effet cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Les informations obtenues sont utilisées dans le cadre de la maîtrise des risques, avec comme préoccupation principale l'obtention d'un bon niveau de sûreté de fonctionnement du système opérationnel.

Dans cette optique et à la lumière de ces points, l'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.

Notre projet est constitué de quatre chapitres :

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe P 105.

Dans ce chapitre nous allons présenter les pompes de façon générale et une description globale de la pompe centrifuge P 105.

Chapitre 2 : Généralité sur la maintenance Appliqués sur la pompe P 105.

Ce chapitre contient la définition de la maintenance avec ses types et niveaux ainsi que le type de maintenance appliqué sur la pompe P 105.

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance

Le troisième chapitre présente une présentation de la structure de services de maintenance en expliquant deux méthodes d'analyse de fiabilité AMDEC et ABC.

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions correctives.

Ce chapitre nous avons utilisé les deux méthodes AMDEC et ABC dans l'historique des pannes de la pompe P 105, pour déterminer les composants les plus critiques et développer un nouveau plan de maintenance, qui facilitent son adoption en production.

CHAPITRE 1

Généralités et description de la pompe centrifuge P 105

1.1.Introduction

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. La plus ancienne pompe connue est la pompe à godets inventée en Chine. Les pompes Diesel et électriques, utilisées à nos jours, peuvent avoir des débits de pompage très élevés. Le principe de la pompe est apparu dès que l'homme a pu construire un habitat artificiel pour son confort. Le besoin en eau nécessaire à sa survie l'oblige à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat. Il utilisa d'abord l'énergie développée par ses muscles pour transporter l'eau à l'aide de récipients naturels ou artificiels. Plus la contenance et la distance étaient grandes, plus l'énergie dépensée a été importante. Les principes des pompes à piston, des pompes centrifuges et des pompes à vide sont découverts à cette époque. De manière générale, durant la grande époque de la culture gréco-romaine, de nombreux principes de physique et d'hydraulique sont découverts, mais pas forcément développés. Les Grecs et les Romains furent les premiers à utiliser des systèmes rotatifs pour véhiculer l'eau. On doit aussi à cette époque l'invention des écluses (afin d'éviter les vitesses d'écoulement trop rapide) et les dispositifs anti-béliers sur les conduites fermées, afin d'éviter l'éclatement des conduites. [1]

1.2. Définition d'une pompe

On appelle pompe, (de l'italien '*pompa*'), tout appareil qui aspire un fluide d'un milieu à basse pression pour le refouler vers un milieu à plus grande pression. Ainsi d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide liquide. L'augmentation de la pression du fluide véhiculé par la pompe a lieu à la suite de la transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant cette pompe, en une augmentation de l'énergie hydraulique qui est acquise par le liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe. [2]

1.3. Les différents types de pompes et leurs caractéristiques

Les pompes en général se classent en deux grandes familles :

- Les pompes volumétriques.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- Les turbopompes (pompes centrifuges). L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges. [3]

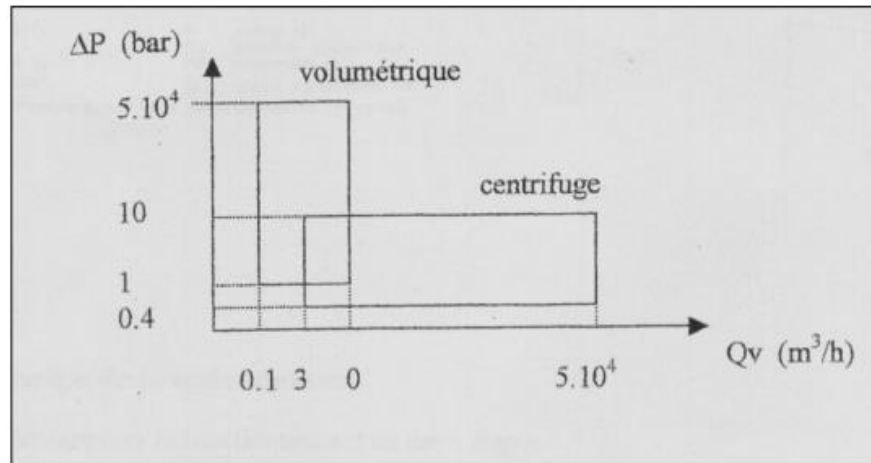


Figure 1. *Domaine d'utilisation des deux grandes catégories de pompe.* [3]

Dans les turbopompes une roue, munie d'aubes ou d'ailettes, animée d'un mouvement de rotation, fournit au fluide de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en pression, par réduction de vitesse dans un organe appelé récupérateur. Dans les pompes volumétriques, l'énergie est fournie par les variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement (grand encombrement).

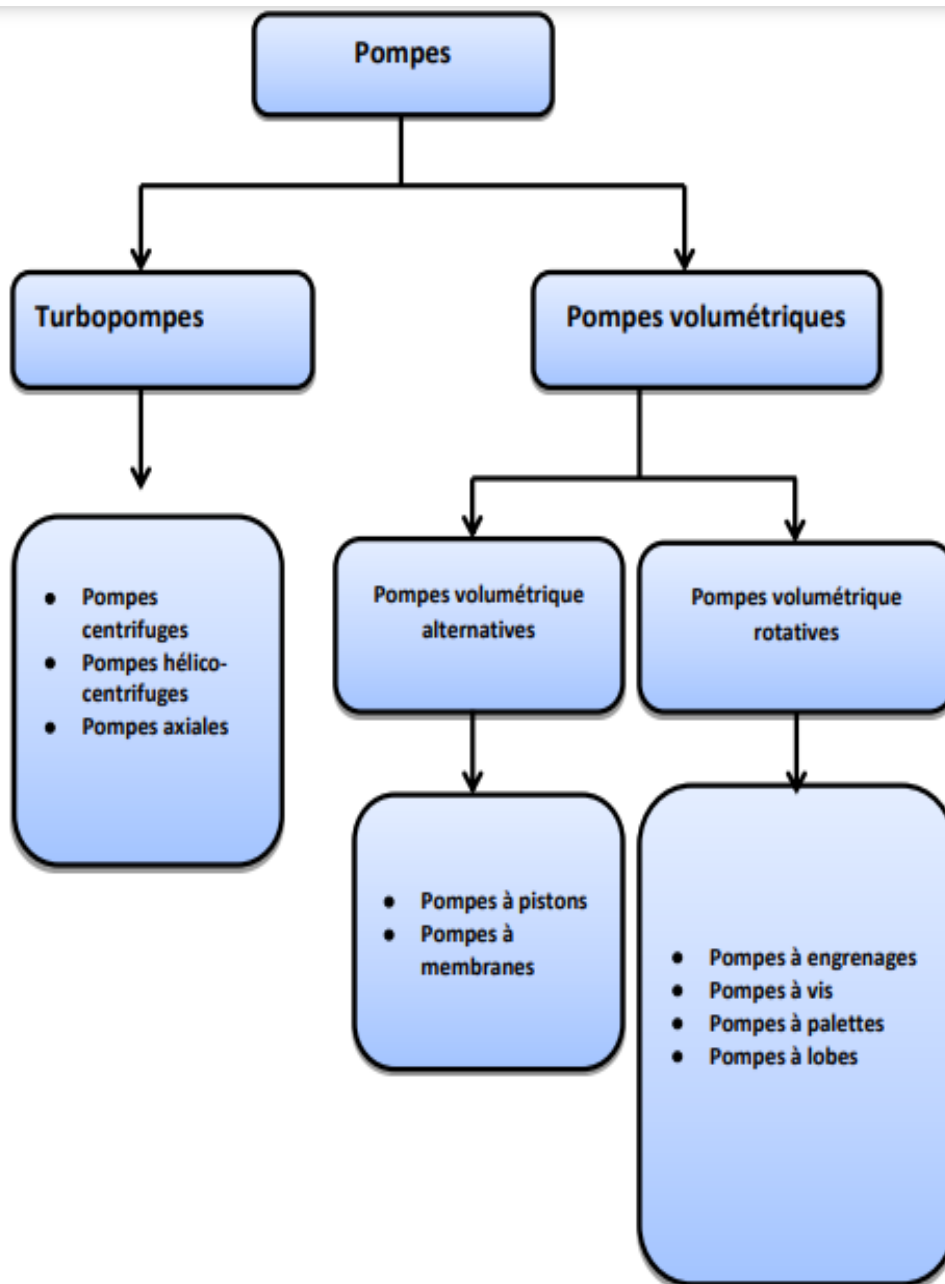


Figure 2. Classification des pompes. [3]

1.3.1. Les pompes volumétriques

1.3.1.1. Définition et principe de fonctionnement

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant :

- Exécution d'un mouvement cyclique.
- Pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement. Autrement dit, L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. [3]

Nous distinguons généralement :

- **Les pompes volumétriques rotatives** : Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement. [3]

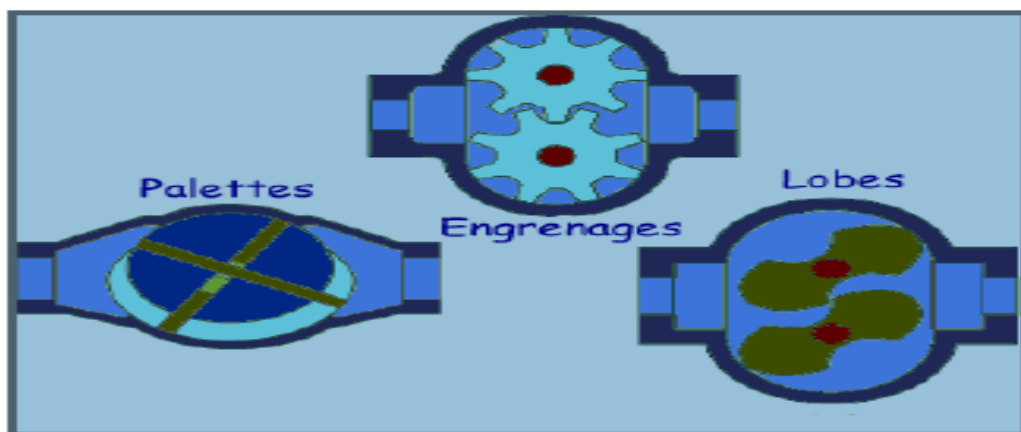


Figure 3. *Fonctionnement des pompes volumétriques rotatives.* [3]

Les principaux types de pompes volumétriques rotatives sont les suivants :

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- **Pompes à engrenages :** Dans un corps de pompe de profil approprié et portant des orifices d'aspiration (Asp.) et de refoulement (Ref.) tournent deux engrenages dont les dents entraînent le liquide entre creux de dents et corps de pompe.[3]

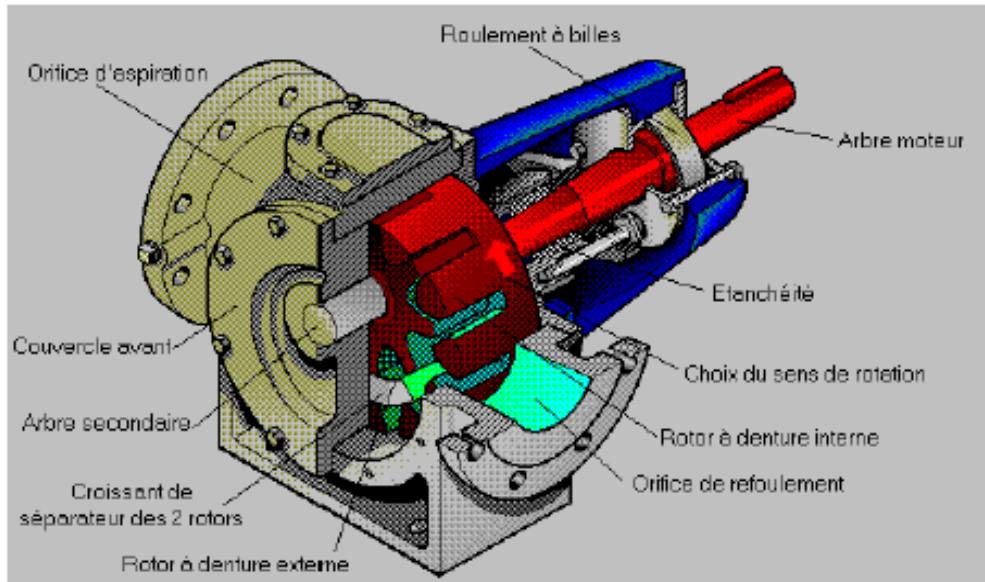


Figure 4. *Vue écorchée d'une pompe à engrenages.* [3]

- **Pompes à vis :** Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice, les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs (figure I-5). Ces pompes peuvent tourner vite de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3 000 tr/min). Elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (100 bar). Par contre, elles n'admettent pas de particules solides. [3]

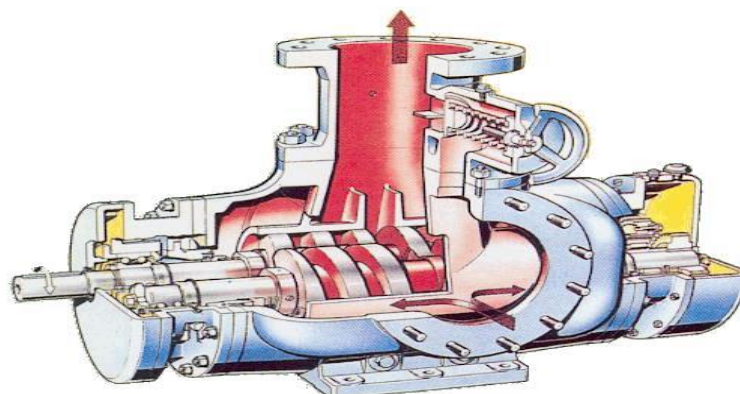


Figure 5. *Pompes à vis (cas à 2 vis).* [3]

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- **Pompe à palettes** : Dans un corps de pompe circulaire ayant deux ouvertures (aspiration et refoulement) tourne un rotor dont le diamètre est tangentiel au corps de pompe et situé au milieu des deux lumières. Ce rotor porte des palettes encastrées dans des rainures (nombre variable suivant type de pompe) sur lesquelles elles se déplacent pour piéger le produit à pomper.

Sous l'action combinée de la force centrifuge, de ressorts éventuels et de l'excentration rotor corps de pompe, les palettes frottent sur le corps de pompe provoquant des variations de volume qui engendrent l'aspiration et le refoulement. [3]

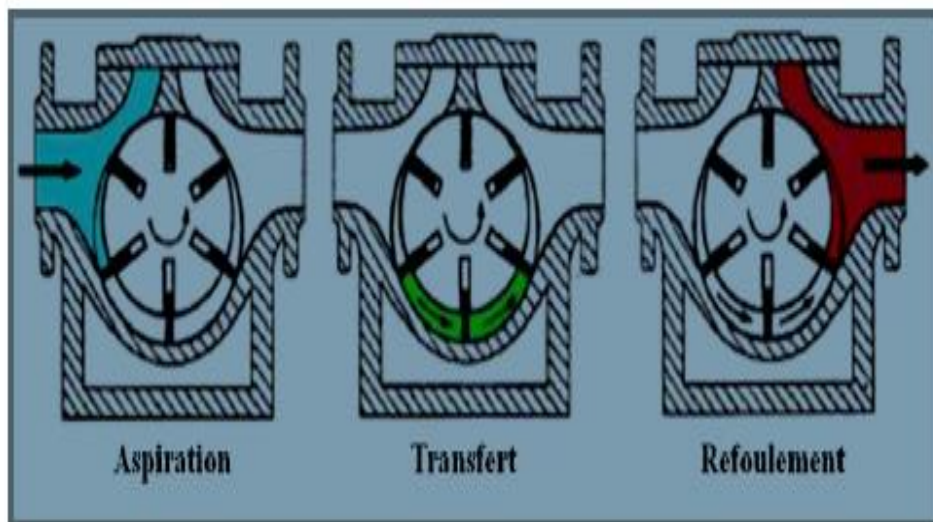


Figure 6. Pompe à palettes. [3]

- **Pompe à lobes** : Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages sauf que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage (figure3). Les rotors ne sont jamais en contact et, pour ce faire, sont entraînés par des engrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible.

Ce type de pompe se nettoie facilement, c'est pourquoi il est très utilisé dans l'industrie alimentaire. Le débit peut atteindre 400 m³/h pour les plus gros modèles, la pression au refoulement est de l'ordre de 12 bars et la viscosité quelques dizaines de milliers de.[3]

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

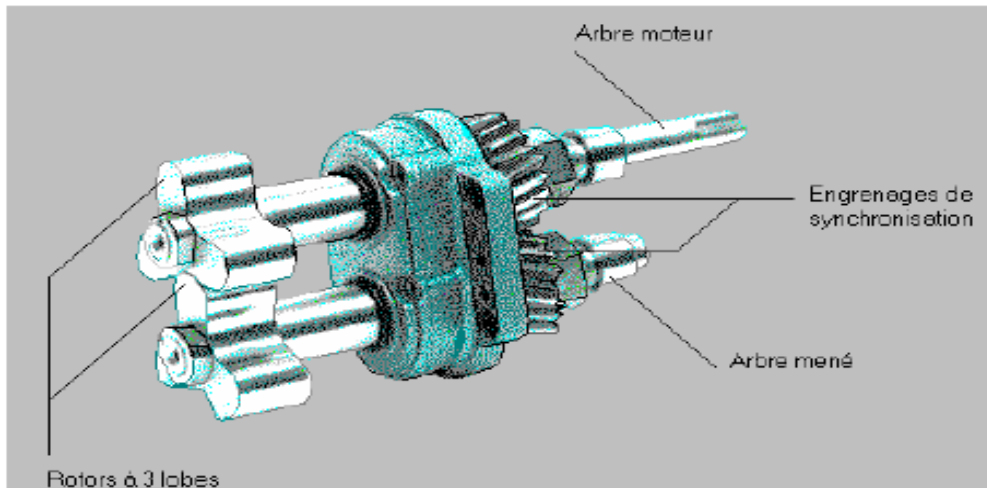


Figure 7. *Vue intérieure d'une pompe à lobes. [4]*

- **Les pompes volumétriques alternatives** : Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de ces pompes sont les suivants :
- **Pompes à piston** : Son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé : il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe (figure 8). [5]

Ces pompes sont utilisées sur les moyens de l'ordre de 80 m³/h et la pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.

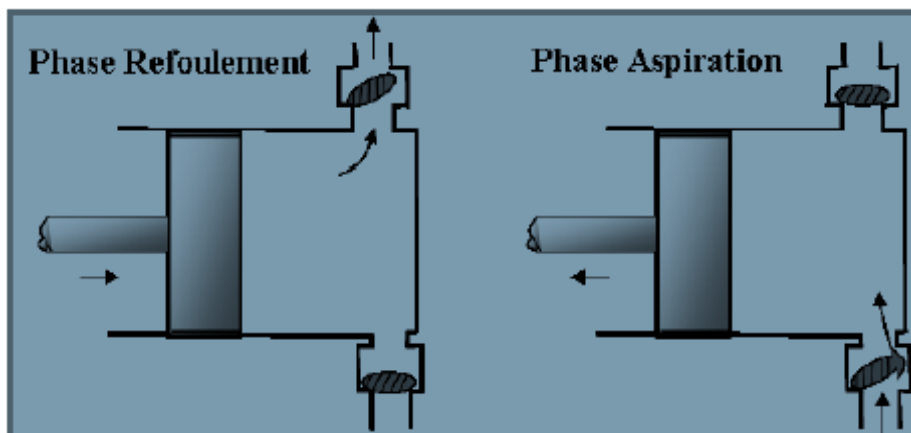


Figure 8. *Principe pompe à piston. [5]*

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- **Pompes à membranes** : Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative (figure 9). Ces pompes sont utilisées sur les débits moyens de l'ordre de 80 m³/h, pour des températures inférieures à 150 °C et des viscosités faibles. [6]

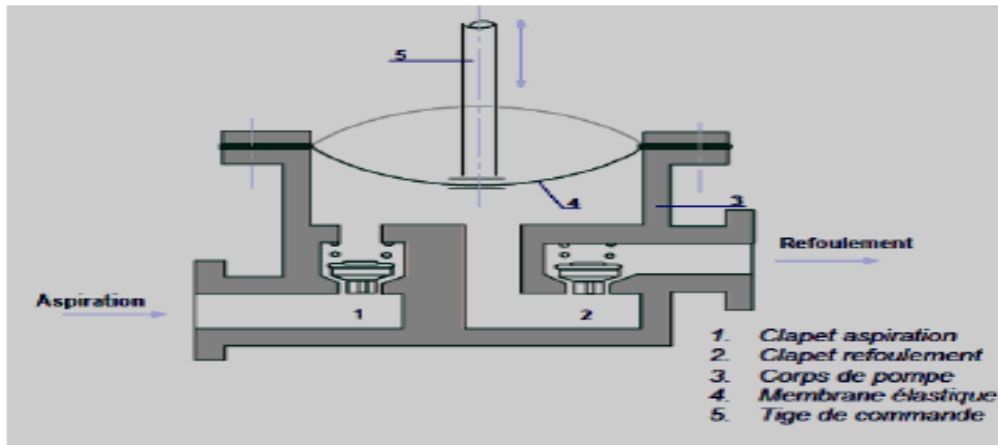


Figure 9. Pompe à membranes. [6]

1.3.2. Les turbopompes

1.3.2.1. Définition et principe de fonctionnement

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, hélico-centrifuges et à hélice porte essentiellement sur la direction de la vitesse donnée au fluide.

- **Aspiration** : la pompe étant amorcée (c'est à dire pleine de liquide), la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente, et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue, engendrant ainsi une aspiration et le maintien de l'amorçage.
- **Accélération** : la rotation augmente la vitesse du fluide tandis que la force centrifuge qui le comprime sur la périphérie augmente sa pression. Les aubes sont le plus souvent incurvées et inclinées vers l'arrière par rapport au sens de rotation, mais ce

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

n'est pas une obligation. Dans un même corps de pompe on peut monter des roues différentes en fonction des caractéristiques du fluide.

- **Refoulement** : dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression. [7]

1.3.2.2. Classification des turbopompes

Dans la famille turbopompe, on classe les pompes :

- Selon la trajectoire du fluide :
 - Les pompes centrifuges (à écoulement radial).
 - Les pompes hélico-centrifuges (à écoulement diagonal)
 - Les pompes axiales ou à hélices (à écoulement axiales). [8]

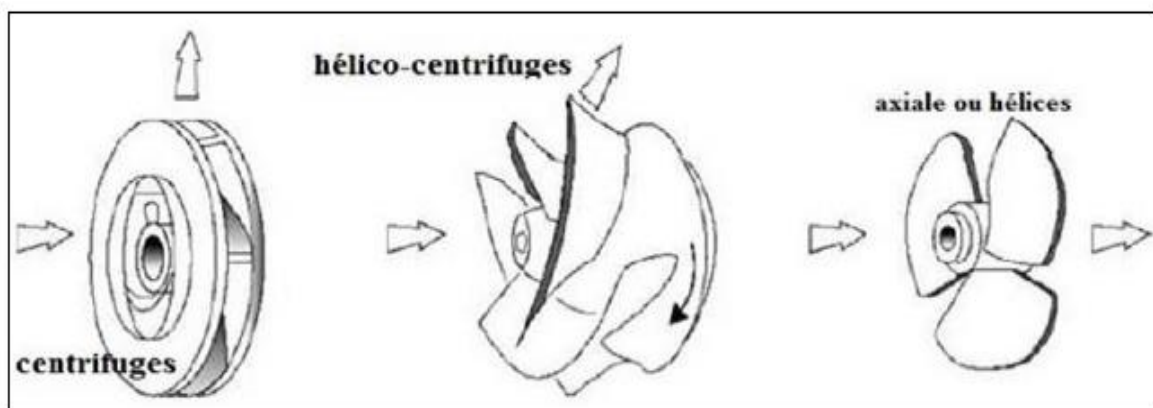


Figure 10. Les types des roues. [8]

- Selon le nombre d'étages :
 - Monocellulaire : avec une seule roue sur l'arbre.
 - Multicellulaire : avec plusieurs roues sur l'arbre déposées en série.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

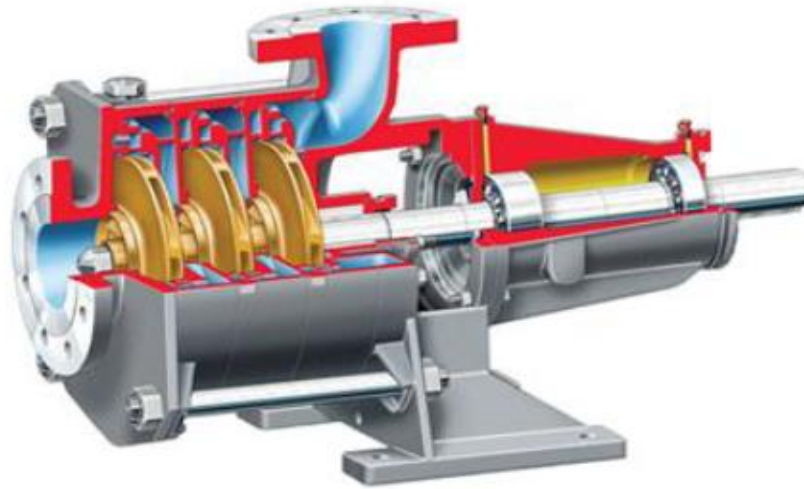


Figure 11. Pompe multicellulaire. [3]

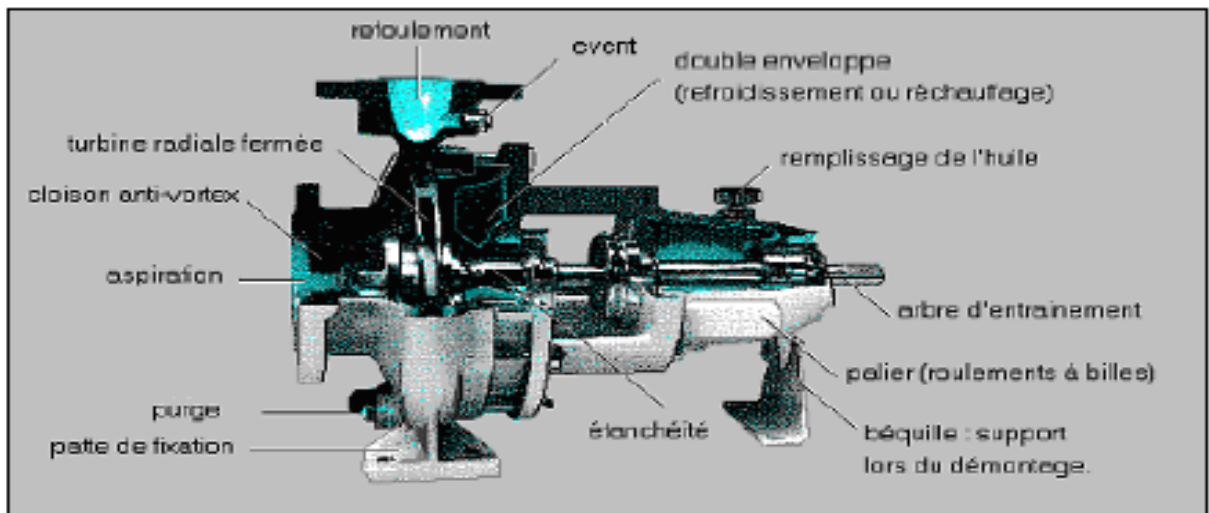


Figure 12. Pompe monocellulaire. [3]

– Selon la disposition de l'axe de la pompe :

- Pompe verticale.
- Pompe horizontale

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

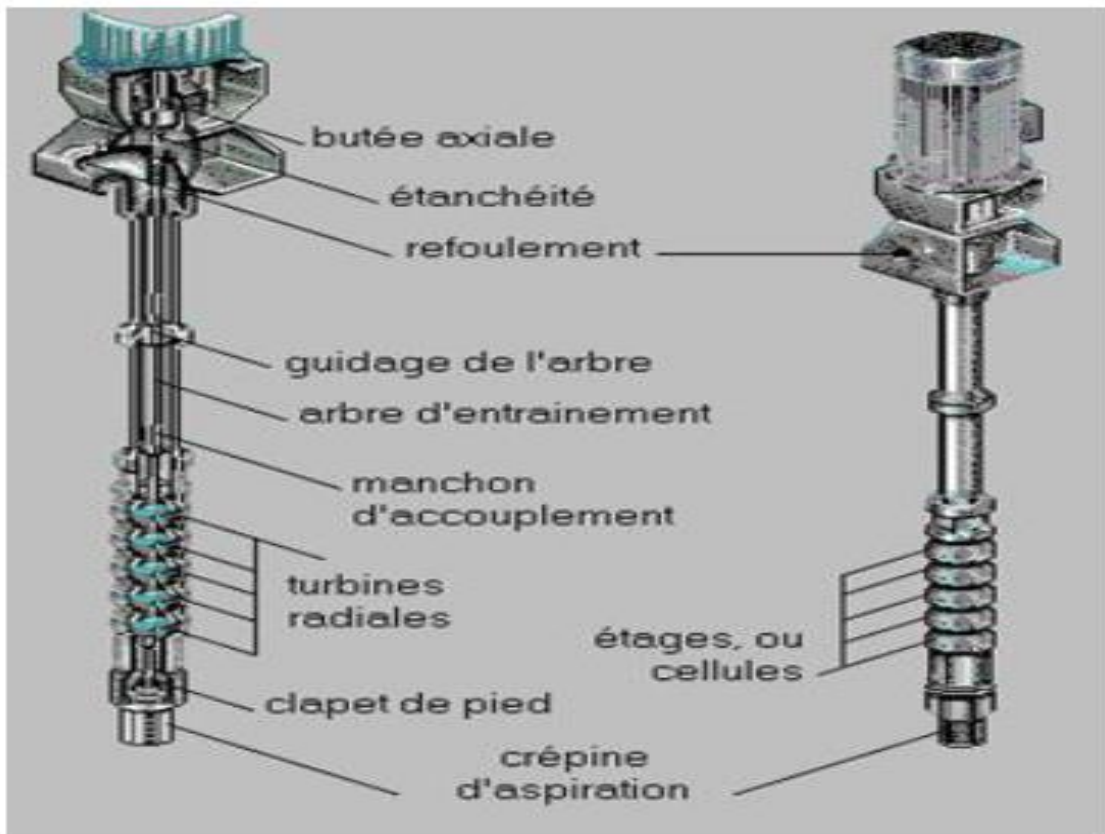


Figure 13. Vue écorchée et extérieure d'une pompe verticale. [3]

– Selon les différents montages :

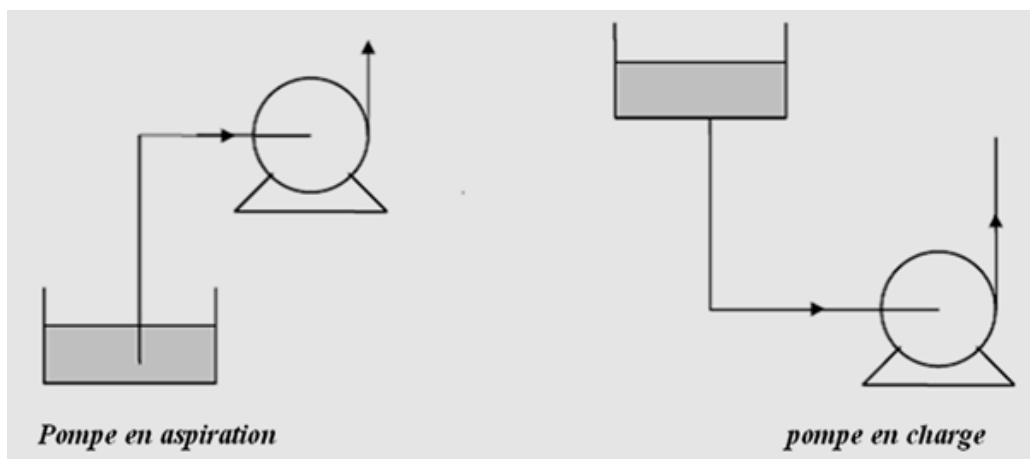


Figure 14. Montage d'une pompe en aspiration et en charge. [3]

1.3.3. Les pompes hélico-centrifuge ou semi-axiales

Les pompes centrifuges semi-axiales ou hélico-centrifuges (axial elbow propeller pumps) ont un fonctionnement et des caractéristiques de pression et de débit intermédiaires entre les pompes, axiales et radiales. Les roues peuvent être aussi ouvertes ou fermées. [6]

1.3.3.1. Les pompe hélices ou axiales

Avec les pompes centrifuges axiales (vertical process pumps), les aubes ont une forme proche de celles d'une hélice de bateau. Ces pompes sont utilisées afin d'obtenir de très gros débits avec des hauteurs de refoulement faibles. [6]

1.3.3.2. Les pompes centrifuges

a. Définition

Les pompes centrifuges sont le type de pompe le plus répandu en industrie pétrolière. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc. [8]

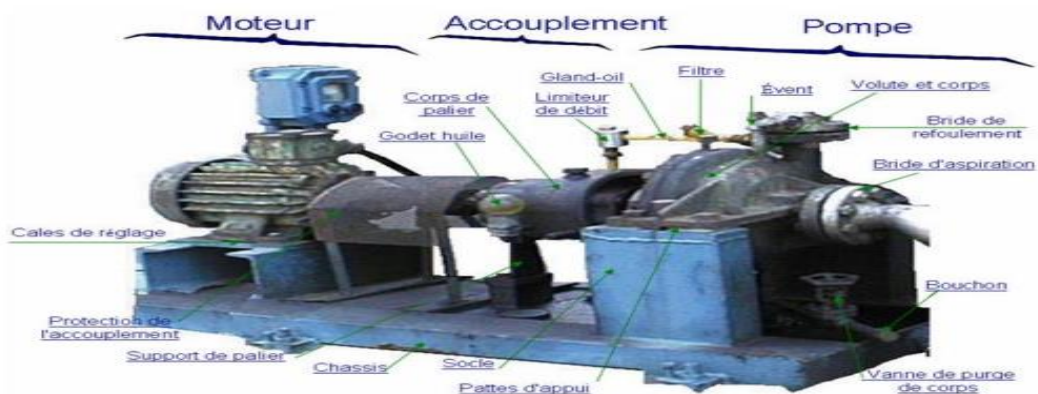


Figure 15. Présentation extérieure d'une pompe centrifuge. [8]

b. Principe de fonctionnement de pompe centrifuge

Une pompe centrifuge dans sa forme la plus simple est constituée d'une roue munie d'ailettes radiales et tournantes à l'intérieur d'une enveloppe corps de pompe. Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie. Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur (rotor) en rotation d'où il sera propulsé radicalement vers l'extérieur par la force centrifuge. Cette vitesse est ensuite convertie en pression au niveau de diffuseur.

[8]

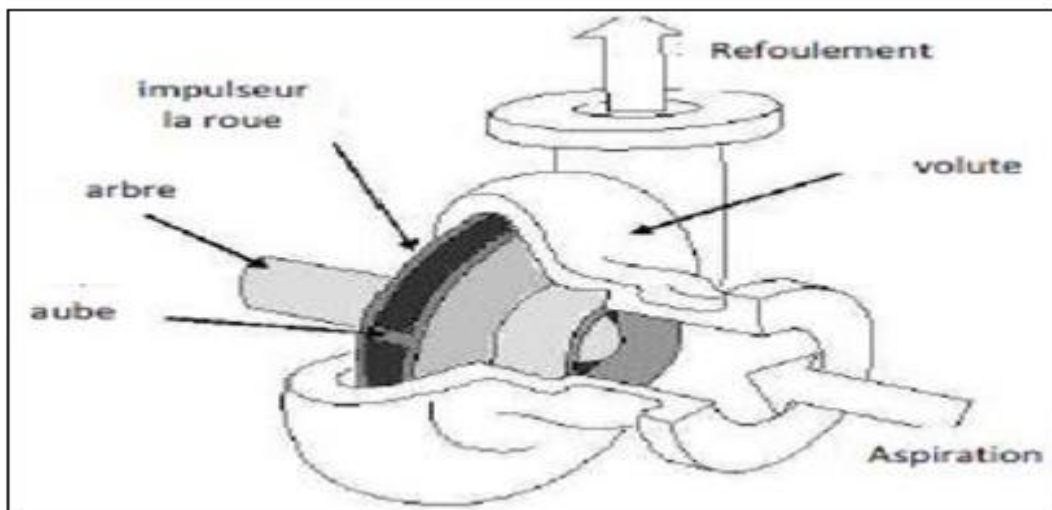


Figure 16. Schéma de Pompe centrifuge. [8]

c. Utilisation

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût. Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme :

- Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales. [9]

1.4. La pompe centrifuge P 105

La P105 est une pompe centrifuge de type vertical. Elle est stratégique pour le procès de traitement de gaz du module M.P.P IV (module processing plant 04) qui englobe six, soit deux par train de production. C'est aussi une pompe qui a soulevé beaucoup d'interrogations depuis sa mise en service, ce qui justifie le grand intérêt qu'on lui porte.



Figure 17. *Vue intérieure de la P105.*

1.4.1. Le rôle de la pompe P105

C'est une pompe de reflux du débutaniseur C102. Elle aspire du G.P.L à partir du ballon D108 et elle le refoule vers :

- La tête du débutaniseur C102.
- Le ballon D005 d'aspiration des pompes d'expédition du G.P.L (P004) vers le CSTF (Centre de Stockage et Transfert Fluide).

1.4.2. La situation géographique de la pompe

Les pompes P105 A/B, existent au niveau de chaque train du module, elles se situent juste au-dessous de la colonne C102 (le débutaniseur voir schéma du procès). Ce sont deux grandes pompes centrifuges entraînées par deux moteurs électriques asynchrones, une en marche et une autre en arrêt, placées verticalement et leur partie inférieure est enterrée.

Les conduites d'aspiration et de refoulement, ainsi que la garniture mécanique et l'accouplement rigide se situent au-dessous de la plaque de base.

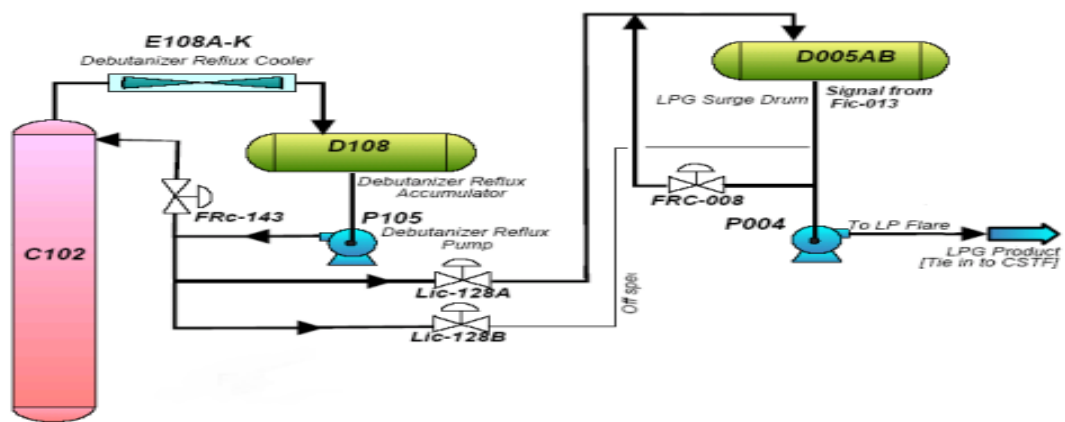


Figure 18. Rôle et situation de la P105.

1.4.3. Les caractéristiques de la pompe P105

- Marque : EBARA (Japonaise).
- N° de série : R720283-02.
- Type : vertical centrifuge (Immergée).
- Masse : 5100 [Kg].
- Température de pompage T_p : 57.6 °C
- Viscosité à T_p C_p : 0,1cP.
- Vitesse de rotation : 1490 [tr/min].
- Puissance du moteur : 90 [kW].
- Pression de vapeur à T_p : 14,3 [kg/cm²].
- Pression différentielle : 4,4 [kg/cm²].
- Pression d'aspiration : 13,1 [kg/cm²].
- Pression de refoulement : 17,5 [kg/cm²].
- Diamètre d'aspiration : 0,3556 m.
- Diamètre de refoulement : 0.254m.
- Hauteur différentielle : 33 m.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- Nombre d'étages : 02.
- Produit traité : GPL.
- Densité à T_p : 0,475.
- Type de garniture : garniture mécanique
- Type d'accouplement : Entretoise rigide.
- Type de roue : fermée
- Graissage : auto lubrifiante.

1.4.4. Les organes constitutifs de la pompe P105

1.4.4.1. Organes ayant une fonction hydraulique

- Impulseur ou roue :

La rotation de l'arbre entraîne une génération d'énergie cinétique provoquée par la roue solidaire à l'arbre au moyen d'une clavette, et mettant en mouvement le liquide véhiculé.

L'énergie cinétique développée est transformée en pression.



Figure 19. Impulser.

- **Volute :**

La volute entoure l'impulser avec une interposition d'un diffuseur. Elle est un organe transformant une partie de l'énergie cinétique transmise au liquide par la roue en énergie de pression.

Cette pièce a une double fonction :

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

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.



Figure 20. *Volute.*

– **Inducteur (roue de gavage):** Le rôle de l'inducteur est :

- Activer et faciliter l'aspiration du liquide au premier impulseur.
- Augmenter légèrement la pression afin d'éviter l'apparition de la cavitation.



Figure 21. *Inducteur.*



Figure 22. *Ensemble rotor monté dans une volute.*

1.4.4.2. Organes ayant une 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 23. Arbre.

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



(a)

(b)

Figure 24. (a) Coussinets et (b) Coussinet d'étranglement.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

- **Bagues d'usure** : Leur rôle est de protéger le contact entre l'Impulseur et la volute suite à une usure éventuelle et sont installées par presse, et bloquées par des vis sur le diffuseur.



Figure 25. Bague d'usure.



Figure 26. Bague d'usure montée dans son support.

- **Chemise de l'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.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.



Figure 27. *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 28. *Accouplement de la P105.*

1.4.4.3. Organes ayant une fonction d'étanchéité

- **Les joints d'étanchéité** : Un joint d'étanchéité est un dispositif assurant l'étanchéité, c'est-à-dire évitant les fuites de fluide entre un milieu intérieur et un milieu extérieur, on le trouve dans plusieurs endroits dans la P105 et avec plusieurs types (torique, plat, à lèvres).
- **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 29. Garniture mécanique de P105.

1.4.4.4. 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.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.



Figure 30. *Tubulures d'aspiration et de refoulement.*

- **Manomètre, vannes, clapets et filtre :** Sont des accessoires d'indication (pression), de protection, d'isolement et régulation des paramètres de la pompe.

1.4.5. Dessin de coupe de la pompe P105

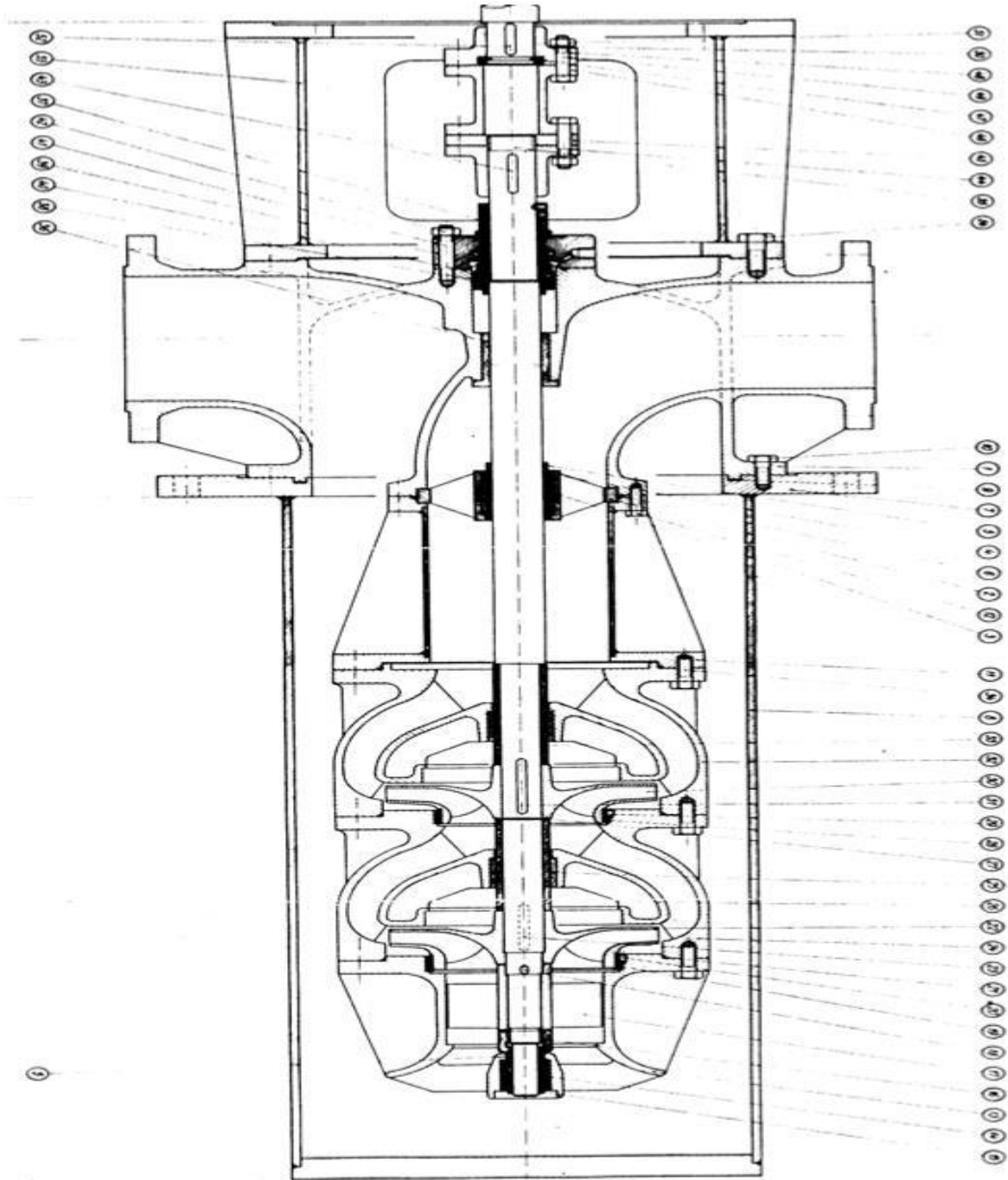


Figure 31. Dessin de coupe de la P105.

Chapitre 1 : Généralités et description de la pompe centrifuge P 105.

Tableau 1. Les pièces de la pompe.

01	Corps de refoulement	19	Bague d'usure	37	Chemise d'arbre
02	Support de coussinet	20	Vis de blocage	38	Graniture
03	chemise	21	Joint torique	39	Couvercle de garniture
04	coussinet	22	Impulseur	40	Joint torique
05	Vis de blocage	23	Clavette	41	Goujon
06	Joint torique	24	Diffuseur	42	Ecrou
07	Plaque de base	25	Coussinet	43	Clavette
08	barrel	26	Chemise intermediaire	44	Manchon d'accouplement
09	Joint plat	27	Bague fendue	45	Ecrou d'accouplement
10	Vis a tete hexagonal	28	Bague d'usure	46	Ecrou de réglage
11	lanterne	29	Vis de blocage	47	Bague fendue
12	Vis à tête hexagonal	30	Impulseur	48	Manchon d'accouplement
13	Corps d'aspiration	31	Clavette	49	Boulon
14	Coussinet	32	Diffuseur supérieur	50	Rondelle ressort
15	Chemise	33	Chemise intermédiaire	51	Ecrou
16	Ecrou de blocage	34	Vis à tête hexagonale	52	Clavette
17	Roue de gavage	35	Arbre	53	Lanterne du moteur
18	Clavette	36	Coussinet a collerette	54	Vis tête hexagonale

1.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a détaillé une pompe en générale, et on a décrit en particulier la pompe P 105. Quel que soit le type de pompe, pour son bon fonctionnement, il faut l'entretenir et le contrôler donc une maintenance adéquate est à choisir.

CHAPITRE 2

Généralités sur la maintenance appliquées sur la pompe centrifuge P105

2.1. Introduction

La maintenance n'est pas seulement réparée ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu, ensuite à produire, son utilisation doit être aisée et sa sécurité maximale. Pendant toute sa vie de production la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et disponibilités en recherchant les solutions les plus simples. En fin de vie, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatible avec les possibilités du matériel et enfin son renouvellement. [10]

2.2. Définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise

Dans cette définition, les termes « maintenir » et « rétablir » introduisent les deux grands aspects de la maintenance. Pour le premier, la notion de prévention est sous-entendue sur une entité supposée encore en fonctionnement. Pour le second, nous assimilons le verbe « rétablir » à une notion de correction sur une entité qui n'est plus en mesure d'accomplir convenablement sa fonction. En s'appuyant sur cette définition, cette partie a pour objectif de présenter les notions générales liées à la maintenance. Nous nous focalisons en premier lieu sur les différents types de maintenance et les moyens d'actions associés avant de se concentrer sur l'évaluation des performances. [11]

2.3. Types de maintenance

Pour classifier les différents types de maintenance, deux grandes catégories Composées elles-mêmes de sous-catégories se distinguent :

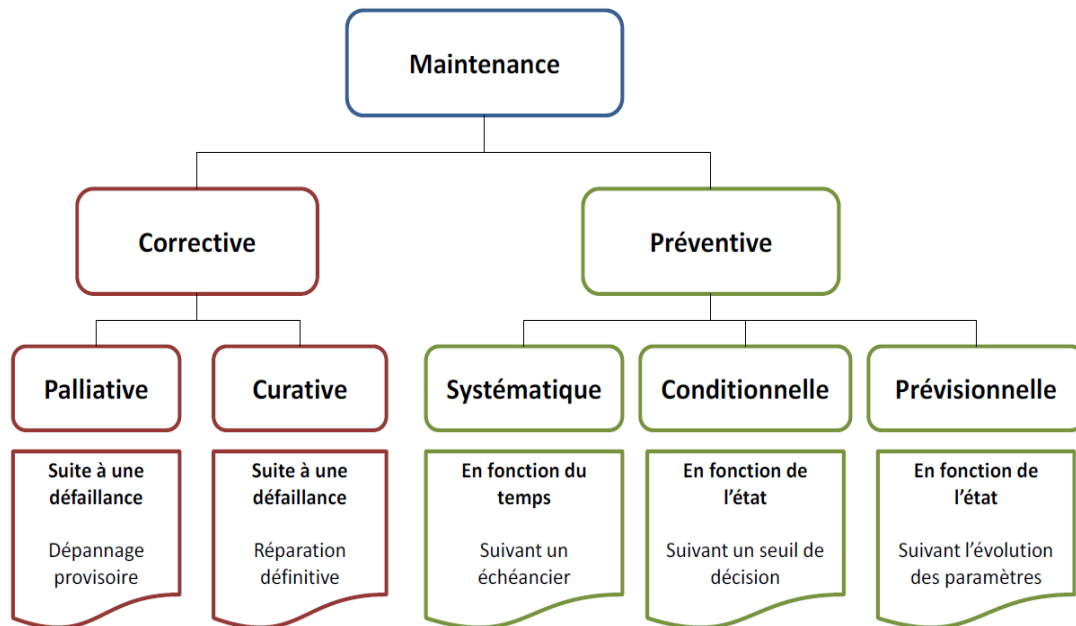


Figure 32. Les différents types de maintenance. [10]

2.3.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective désigne l'élimination d'une avarie ou d'une altération dans le fonctionnement d'un élément matériel (aussi appelé « bien » ou « entité » dans le jargon de la spécialité), par un des divers moyens que sont la réparation, la restauration à l'état antérieur, et le remplacement de l'élément matériel implique

La définition de la norme européenne est la suivante : « Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. [12]

2.3.1.1. Opérations sur la maintenance corrective

Après apparition d'une défaillance, la maintenance doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- **Test** : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

- **Détection** : ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
 - **Localisation** : ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
 - **Diagnostic** : ou identification et analyse des causes de la défaillance.
 - **Dépannage** : réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
 - **Contrôle** : du bon fonctionnement après intervention.
 - **Amélioration éventuelle** : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
 - **Historique** : ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.
- [14]

2.3.1.2. Le temps de maintenance corrective

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

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

Le responsable maintenance doit donc tenir compte de ces distorsions et avoir à sa disposition une équipe « réactive » aux événements aléatoires. Pour réduire la durée des

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

interventions, donc les coûts directs et indirects (coûts d'indisponibilité de l'équipement), on peut :

- Mettre en place des méthodes d'interventions rationnelles et standardisées (outillages spécifiques, échanges standards, logistique adaptée, etc..).
- Prendre en compte la maintenabilité des équipements dès la conception (trappe de visites accessibles, témoins d'usure visible, etc..).

2.3.2. Maintenance préventive

Elle consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance sont inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est pas disponible pour la maintenance qu'à certain moments précis).

La définition donnée par l'AFNOR est la suivante : « Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien » [15].

2.3.2.1. Opérations sur la maintenance préventive

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

- **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements [15].
- **Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance.

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.
- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4.

Les trois premières opérations sont encore appelées « opérations de surveillance ». Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien. On accepte donc de payer pour savoir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage. [15]

2.3.2.2. Objectifs de la maintenance préventive

La maintenance préventive a des objectifs, parmi eux on cite :

- La durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc....

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

- Améliorer les conditions du travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves. [15]

2.3.3. Maintenance systématique

La maintenance systématique est appelée aussi périodique ou programmée. Désignent des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage (heures de fonctionnement, nombre d'unités produites, nombre de mouvements effectués, etc.).

Définition de la norme européenne : « Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'Etat du bien » [12].

2.3.4. Maintenance conditionnelle

Réalisée à la suite de relevés, de mesures, de contrôles révélateurs de l'état de dégradation de l'équipement ; le matériel fait l'objet d'une surveillance au moyen de techniques comme l'analyse des vibrations ou analyse vibratoire, la tribologie et la thermographie par infrarouges ou thermographie infrarouge, qui permettent de savoir s'il va y avoir une avarie et quand celle-ci se produira. Il ne reste plus qu'à prendre les mesures qui s'imposent pour éviter l'avarie.

Définition de la norme européenne : « Maintenance préventive basée sur la surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent » [12]

2.3.5. Maintenance prévisionnelle

Est une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (AFNOR, 2001).

Précisions que cette maintenance prévisionnelle intègre également les conditions d'utilisations et l'environnement futurs du système. Contrairement à la maintenance

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

conditionnelle, elle associe une prévision sur les indicateurs de santé pour la prise de décision de maintenance. Pour envisager la mise en place de cette maintenance prévisionnelle, il est nécessaire de maîtriser en détails le comportement de l'entité concernée. L'utilisation de cette connaissance permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention doit être exécutée.

Notons que la maintenance conditionnelle (ou prévisionnelle) nécessite souvent plus d'investissements que les autres formes de maintenance. Cette augmentation du coût s'explique principalement par les technologies de surveillance utilisées (capteurs, instrumentation, logiciels ...). Dans ce cadre, l'enjeu de la modélisation est de réaliser une analyse coût/bénéfice pour évaluer si la mise en place de ce type de maintenance est pertinente pour une entité donnée.

Ces définitions nous donnent une vision globale des différents types de maintenance qui peuvent s'appliquer à une entité. Cependant, dans la réalité, on emploie généralement une maintenance mixte qui va combiner maintenance préventive et corrective. L'équilibre optimal entre préventif et correctif est déterminé grâce à la modélisation de maintenance.[14]

2.4. Les niveaux de la maintenance

Niveau 1 : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc....

Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock des pièces consommables nécessaires est très faible.

Niveau 2 : Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

Niveau 3 : Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

Niveau 4 : Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons du travail par les organismes spécialisés.

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé.

Niveau 5 : Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure. **[16]**

Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication.

2.5. Maintenance appliquée à la pompe P105

2.5.1. La Surveillance

C'est un ensemble des actions effectuées de manière continue durant le fonctionnement de la machine qui consistent à :

- Vérification de vibration du moteur et de la pompe, et la température du logement du palier en le touchant.
- Vérification du moteur, la garniture mécanique de la pompe et les orifices d'aspiration et de refoulement de la pompe pour des bruits anormaux

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

- Vérification qu'il n'y a pas de fuite sur la garniture mécanique de la pompe
- Vérification qu'il n'y a pas de fuite sur les brides de chaque tuyau.
- Vérification des pressions à l'aspiration et au refoulement.

2.5.2. Maintenance prédictive

Pour exploiter la pompe P105 au maximum de son potentiel, le service fait appel à la maintenance prédictive qui est basée sur les relevés de Vibrations.

2.5.3. Maintenance préventive systématique

Cette maintenance proposée par le constructeur consiste à réaliser des relevés précis des données d'exploitation et des rapports d'inspection. Ces données doivent être examinées pour déterminer l'entretien nécessaire.

Selon les caractéristiques techniques établies par le constructeur et l'expérience de personnel du module, la maintenance préventive de la pompe P105 est divisée en trois stades :

- Le 1er stade consiste à une inspection préventive toutes les 4000 heures appliquées sur système d'étanchéité externe (garniture mécanique) et une réparation en cas d'anomalies.
- Le 2eme stade est appliqué toutes les 8000 heures comportent des actions de maintenance niveau I sur la partie inférieure de la pompe (vérification du jeu fonctionnel du palier inférieur et l'étanchéité du 1er étage, et faire une réparation s'il y a des anomalies).
- Le 3eme stade quant à lui s'agit-il d'une maintenance niveau II (révision générale) appliquée toutes les 16000 heures qui consiste à :

2.6. Le plan de maintenance de la pompe P105

2.6.1. Inspection préventive

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

- Démontage.
- Inspection et réparation.
- Remontage. La procédure de l'inspection préventive est présentée dans le tableau 2 :

Tableau 2. *Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique.*

Inspection Préventive	N°	Les étapes de démontage
	01	Installation des plaques de flexion
	02	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
	03	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
	N°	Les étapes de remontage
	01	Installation de l'assemble de garniture mécanique
	02	Fixation de couvercle de garniture mécanique mécanique
	03	Alignement de l'accouplement
	04	Levée de l'arbre
	05	Enlèvement des plaques de fixation
	06	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant a la main

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

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

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

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

2.6.2. Maintenance de niveau 1

Les différentes maintenances de niveau 1 sont détaillées dans le tableau 3.

Tableau 3. La procédure de la maintenance niveau 1.

Démontage	01	Installation des plaques de flexion
	02	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
	03	Enlèvement du moteur
	04	Levée de la pompe
	05	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
	06	Enlèvement du carter inférieur

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

Maintenance N°01	Inspection Réparation	Mesure du jeu entre la chemise de l'arbre et le coussinet du palier inférieur Inspection des pièces de contact glissant pour la bague d'usure et la roue du premier étage	
	Remontage	01	Installation du corps d'aspiration
		02	Soulever de la pompe
		03	Installation de la pompe dans la fosse
		04	Installation du moteur
		05	Installation de l'assemble de garniture mécanique
		06	Fixation de couvercle de garniture mécanique
		07	Alignement de l'accouplement
		08	Levée de l'arbre
		09	Enlèvement des plaques de fixation
		10	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main

2.6.3. Maintenance de niveau 2

Cette opération doit s'effectuer toutes les 16000 heures de marche, elle s'agit d'une révision générale, plus de l'inspection et la réparation de la garniture mécanique, nous devons :

- Vérifier l'excentricité de l'arbre
- Vérifier la déflexion des roues
- Mesurer et vérifier les jeux entre les roues et bagues d'usure du corps, et entre les coussinets et chemises de l'arbre.

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

Tableau 4. *La procédure de la maintenance niveau 2.*

Maintenance N°02	Démontage	01	Installation des plaques de flexion
		02	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
		03	Enlèvement du moteur
		04	Levée de la pompe
		05	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
		06	Enlèvement du corps d'aspiration, l'inducteur, les roues et les volutes du 1er et 2e étage
		07	Enlèvement du tube colonne montante et l'arbre
	Inspection Réparation	-Vérification de l'excentricité de l'arbre -Vérification de la déflexion des roues -Mesure des jeux entre les roues et bagues d'usure du corps, et entre les coussinets et chemises de l'arbre	
	Remontage	01	Placer le coussinet du palier intermédiaire dans son support puis installer l'ensemble dans le corps de la pompe
		02	Placer le joint torique dans le corps puis installer le tube de colonne
		03	Placer le joint torique dans le tube de colonne puis installer la volute de 2e étage
		04	Fixation de la chemise intermédiaire sur l'arbre et montage de l'ensemble

2.7. Fiabilité

La fiabilité d'un composant exprime la probabilité qu'il fonctionne correctement sans défaillance pendant un temps déterminé dans des conditions fixées de manière précise [3]. La définition de la fiabilité montre bien que son domaine englobe les probabilités, donc les statistiques et les mathématiques. Il faut avoir aussi conscience qu'un phénomène de fiabilité ne peut se réduire à l'application de lois statistiques. Une étude de fiabilité nécessite obligatoirement une expertise physique des organes ou des composants étudiés et elle peut être élargie à tous ceux qui leur sont liés.

Apprendre la fiabilité, c'est déjà comprendre le besoin de qualité de retour d'expérience et savoir organiser la collecte des informations. On doit aussi garder à l'esprit que les statistiques ne s'appliquent qu'à des phénomènes aléatoires donc au hasard. Or un composant ou un équipement font partie d'un système qui est soumis à un grand nombre de contraintes dont les causes appartiennent à deux familles différentes :

- Causes communes ou aléatoires : dues au hasard, fréquentes et à effet individuel faible, elles sont d'origines nombreuses et variées, indépendantes les unes des autres et aucune d'entre elles n'étant prépondérante tel que le spectre des contraintes subies par un composant.
- Causes spéciales : elles sont soudaines, peu fréquentes, issues d'événements passagers peu nombreux et difficilement identifiables telles que : erreurs de manipulation, mauvais montages ou réglages et pièces de mauvaise qualité.

On ne peut faire des prévisions rationnelles relatives à la fiabilité d'un équipement que s'il est dans un état stable ou sous contrôle statistique lorsqu'on a supprimé dans celui-ci toutes les causes spéciales. [17]

2.7.1. Fiabilité et qualité

Ces notions sont indissociables. Si la qualité est prise dans son sens général de « satisfaction » du besoin des utilisateurs, il est évident que la fiabilité est un élément de la satisfaction de l'utilisateur. La fiabilité c'est la probabilité de bon fonctionnement.

Si la qualité est prise dans le sens « qualité initiale », nous pourrions dire que la qualité initiale garantit la conformité d'un produit à ses spécifications, alors que la fiabilité mesure son aptitude à y demeurer conforme le long de sa vie utile.

La fiabilité est l'extension de la qualité initiale dans le temps. Il n'y a pas de bonne fiabilité sans bonne qualité. [17]

2.7.2. Temps moyen de bon fonctionnement

2.7.2.1. Définition de la formule du MTBF

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps. [18] Formule du temps moyen entre les pannes MTBF

$$mtbf = \frac{\text{la somme des temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre de panne}} \quad (1)$$

Si λ est constant : $MTBF = 1 / \lambda$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

2.7.2.2. Utilité de la MTBF

Pour les actifs critiques tels que les avions, les équipements de sécurité et les générateurs, le MTBF est un indicateur important des performances attendues. Par conséquent ; les fabricants l'utilisent comme mesure de fiabilité quantifiable et comme outil essentiel lors des étapes de conception et de production de nombreux produits. Il est couramment utilisé aujourd'hui dans la conception de systèmes mécaniques et électroniques ; l'exploitation sûre des usines ; l'approvisionnement en produits, etc.

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

Même les décisions quotidiennes telles que l'achat d'une marque particulière de voiture ou d'ordinateur sont affectées par le désir de l'acheteur d'un produit avec un MTBF plus élevé que ce que la marque suivante a à offrir.

Bien que le MTBF ne considère pas la maintenance planifiée ; il peut toujours être appliqué pour des choses comme le calcul de la fréquence des inspections pour les remplacements préventifs.

Même si l'on sait qu'un actif fonctionnera probablement pendant un certain nombre d'heures avant la prochaine panne, l'introduction d'actions préventives telles que la lubrification ou le recalibrage peut aider à maintenir cette panne au minimum et à prolonger la durée de fonctionnement de l'actif. [17]

Pour un équipement (système réparable), le taux de défaillance se traduit souvent par une courbe dite « courbe en baignoire » mettant en évidence 3 époques :

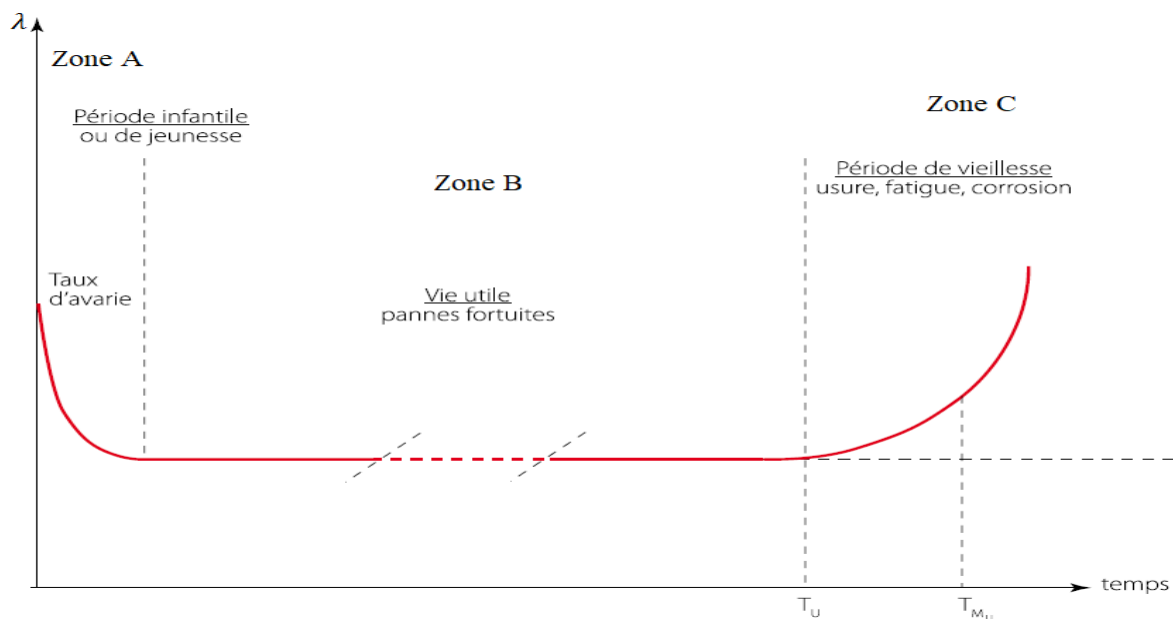


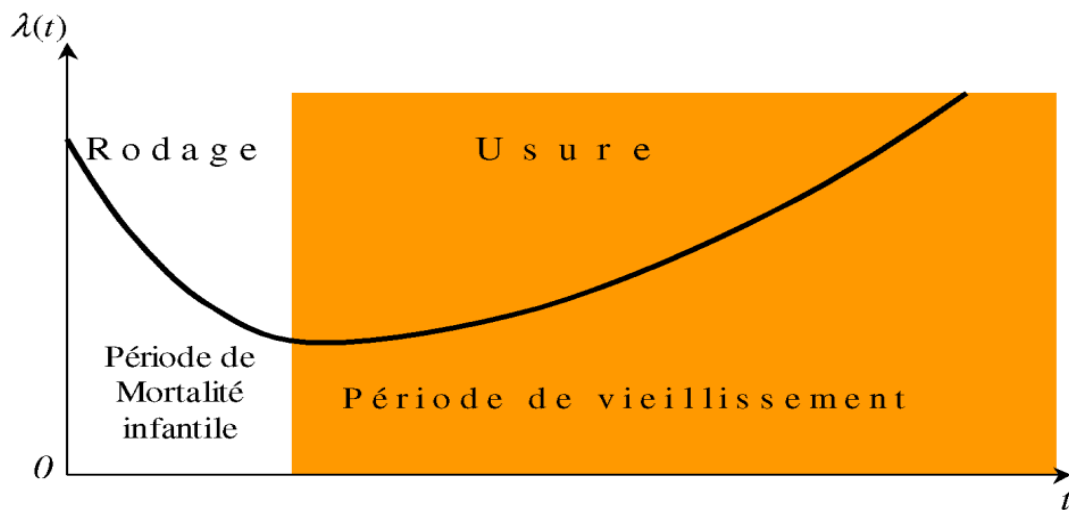
Figure 33. Courbe en baignoire du taux de défaillance. [19]

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

- **Zone (A) Période de jeunesse (rodage) :** La première zone définit la période de jeunesse, caractérisée par une décroissance rapide du taux de défaillance. Pour un composant électronique cette décroissance s'explique par l'élimination progressive de défauts dus aux processus de conception ou de fabrication mal maîtrisé ou à un lot de composants mauvais. Cette période peut être minimisée pour les composants vendus aujourd'hui. En effet, les fabricants de composants électroniques se sont engagés à vérifier la qualité de leurs produits en sortie de fabrication.
- **Zone (B) « Période de maturité (pleine activité) » :** La deuxième zone définit la période de vie utile généralement très longue. Le taux de défaillance est approximativement constant. Le choix de la loi exponentielle, dont la propriété principale est d'être sans mémoire, est tout à fait satisfaisant. Les pannes sont dites aléatoires, leur apparition n'est pas liée à l'âge du composant mais à d'autres mécanismes d'endommagement. Les calculs prévisionnels de fiabilité se font presque souvent dans cette Période de vie utile.
- **Zone (C) Période de vieillesse ou d'usure :** La dernière phase est la période de vieillissement, elle est caractérisée par une Augmentation progressive du taux de défaillance avec l'âge du dispositif. Ceci est expliqué par des phénomènes de vieillissement tels que l'usure, l'érosion, etc. Cette période est très nettement au-delà de la durée de vie réelle d'un composant électronique. Parfois, on réalise des tests de vieillissement accélérés pour révéler les différents modes de défaillance des composants. [19]

2.7.2.3. Taux de défaillance pour des composants mécaniques

Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Si on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, on obtient une courbe qui ne présente pas le plateau de la (figure 34) la période de vie utile (taux de défaillance constant) n'existe pas ou elle est réduite. Le taux de défaillance du dispositif est une fonction non linéaire du temps et ceci dans chaque phase de sa vie.[19]



- **Zone 1 :** La première zone définit la période de mortalité infantile. C'est une durée de vie en principe très courte Elle décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques dans cette période de leur vie.
- **Zone 2 :** La dernière zone définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison : corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation. Contrairement aux composants électroniques les calculs de la fiabilité pour des composants mécaniques se font essentiellement dans la période de vieillissement, en utilisant des lois de Probabilité dont le taux de défaillance est fonction du temps telles que la loi Log-normale, Weibull, [19]

2.7.3. Le temps de réparation (MTTR)

2.7.3.1. Définition du MTTR

Le MTTR fait référence au temps nécessaire pour réparer un système et le restaurer à toutes ses fonctionnalités.

L'horloge MTTR commence à clignoter au début des réparations et continue jusqu'à ce que les opérations soient restaurées. Cela comprend le temps de réparation, la période de test et le retour à l'état de fonctionnement normal. [17]

2.7.3.2. Formule du temps moyen de réparation MTTR

Pour calculer le MTTR divisez le temps total de maintenance par le nombre total d'actions de maintenance sur une période donnée :

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Temps d'intervention pour pannes}}{\text{nombre de panne}} \quad (2)$$

2.7.3.3. Quelques points à noter

En règle générale, chaque instance d'échec varie en gravité. Ainsi ; alors que certains incidents nécessitent plusieurs jours pour être réparés ; d'autres peuvent prendre quelques minutes à peine. Par conséquent, le MTTR donne une moyenne de ce à quoi s'attendre. Pour obtenir des résultats fiables ; il est important d'effectuer chaque réparation par un personnel compétent et formé qui peut suivre des procédures bien définies. Chaque système de maintenance efficace doit toujours chercher à réduire le plus possible le MTTR. Cela peut être fait de différentes manières. Une approche consiste à suivre les pièces de rechange et les niveaux de stock (économisant ainsi les temps d'arrêt lors de l'approvisionnement en pièces). Une autre façon consiste à mettre en œuvre des stratégies de maintenance proactive comme la maintenance prédictive. La maintenance prédictive (PdM) vous permettra ; entre autres ; de mieux surveiller l'état des équipements en service et de prédire plus précisément les pannes potentielles en utilisant des capteurs de surveillance d'état ; montés directement sur les composants susceptibles de tomber en panne.

Ces capteurs peuvent vous alerter longtemps à l'avance quand il faut s'attendre à une panne. À ce stade ; la réparation n'est plus réactive mais prédictive ; car le responsable de

Chapitre 2 : Généralités sur la maintenance appliquées sur la Pompe centrifuge P105.

maintenance a suffisamment de temps pour organiser toutes les ressources nécessaires à l'exécution du travail. [17]

2.7.3.4. Utilité du MTTR

Prendre trop de temps pour réparer un système ou un équipement n'est pas souhaitable ; car cela peut avoir un impact très négatif sur les résultats commerciaux. C'est notamment le cas pour les processus particulièrement sensibles à l'échec. Cela entraîne souvent des arrêts de production ; des délais manqués ; une perte de revenus, etc.

Comprendre et appréhender correctement le MTTR est un outil important pour toute organisation ; car il vous indique avec quelle efficacité vous pouvez répondre et réparer tout problème avec vos actifs. La plupart des organisations cherchent à réduire le MTTR avec une équipe de maintenance interne soutenue par les ressources ; les outils ; les pièces de rechange et les logiciels de GMAO nécessaires. [17]

Les responsables de la maintenance peuvent utiliser le MTTR pour éclairer les décisions de maintenance telles que :

- Quand réparer ou remplacer des actifs
- Quantité de pièces et inventaire à avoir sous la main
- S'il faut louer ou acheter du matériel

2.7.4. Disponibilité (DO)

Aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées (NFX60-010).

La disponibilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

- Facteurs liés à sa construction (nombre d'arrêts pour pannes, facilité de remise en état) ;
- Facteurs liés à son utilisation (maintenance, production). [19]

$$DO = \frac{MTBF}{MTTR+MTBF} \quad (3)$$

2.8. Conclusion

Afin de répondre aux besoins des consommateurs et augmenter la profitabilité, on a besoin d'une stratégie de maintenance adéquate en fonction de l'activité de l'entreprise et de son potentiel de croissance.

Le présent chapitre, nous a permis d'exprimer quelques notions de la maintenance industrielle, telle que les types de maintenance, les niveaux, l'importance et les objectifs. Comme toute activité industrielle, la maintenance évolue et on ne peut pas avoir une seule et unique pratique de la maintenance. La politique de maintenance vise avant tout un outil productif pour atteindre son meilleur potentiel disponible à moindre coût.

CHAPITRE 3

**Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la
maintenance**

3.1. Introduction

Afin d'utiliser la méthode AMDEC pour l'élaboration d'un plan de maintenance préventive, on doit appliquer au début une étude Pareto (ABC) pour détecter les équipements les plus défaillants, aussi pour savoir sur quoi on va agir, après une classification effectuée par ordre de priorité selon un ensemble de critères.

Au cours de notre étude suivante, on va donner un état de l'art sur les deux méthodes AMDEC et ABC ainsi que les différentes étapes appliquées sur les deux méthodes.

3.2. Analyse de la fiabilité à partir de la méthode ABC-loi de PARETO

3.2.1. Définition du principe de la loi de Pareto (loi du 80-20, ou 20-80)

Est une théorie selon laquelle 20% des causes sont responsables de 80% des effets. Applicable à différents domaines et secteurs, celle-ci figure notamment parmi les méthodes de maintenance les plus connues dans le monde industriel. Que ce soit en BTS maintenance, en école d'ingénieur ou tout simplement au sein même des services méthodes maintenance des entreprises, l'analyse des pannes est directement associée aux diagrammes de Pareto, dont le but est d'établir une hiérarchie des causes d'une phénomène. [21]

3.2.2. Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto permet de :

- Hiérarchiser les problèmes en fonction du nombre d'occurrence (nombre d'apparition) de ceux-ci ;
- Définir des priorités ;
- Sélectionner les problèmes les plus importants.
- Le Pareto est utile pour identifier sur quelles causes agir en priorité pour améliorer de façon significative la situation. On évitera ainsi de gaspiller de l'énergie sur ce qui a peu d'impact.
- Il s'agit d'un graphique à barres dont les valeurs sont classées dans un ordre décroissant.
 - D'une façon générale, il peut s'utiliser dans n'importe quelle démarche de progrès.
 - Pareto s'appuie sur le principe 80/20. C'est-à-dire agir sur 20% de causes permet de résoudre 80% des effets.

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

Pour créer un diagramme de Pareto, il faut :

- Définir l'ensemble des interventions en fonction du type de panne
- Triez ces groupes par ordre croissant
- Calculez le nombre total d'interventions ou le temps mis en fonction du type de carte de Pareto que vous souhaitez analyser
- Calculer le pourcentage pour chaque groupe : nombre d'intervention / total ou temps passé / total
- Réalisation du dessin

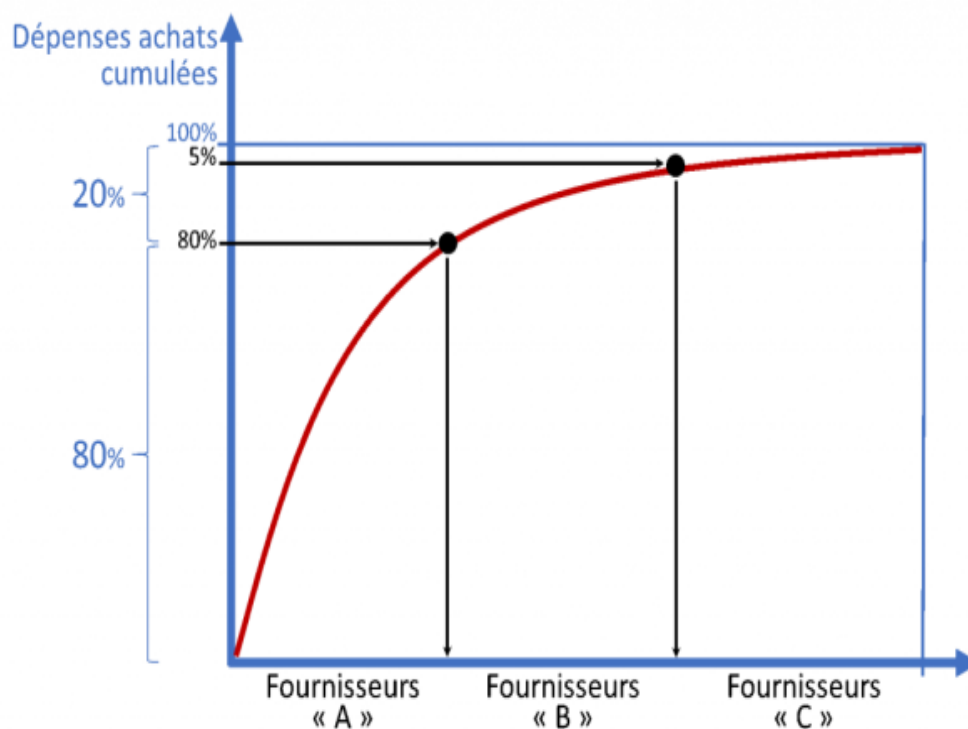


Figure 35. Courbe de PARETO. [20]

Il s'agit de déterminer les aires obtenues à partir de la forme de la courbe. Généralement, la courbe comporte deux ruptures, ce qui permet de définir trois régions A, B et C.

- **Zone A** : C'est la première partie de la courbe qui échoue le plus.
- **Zone B** : C'est la deuxième partie de la courbe qui définit modérément l'échec
- **Zone C** : C'est la troisième partie de la courbe avec le moins de défauts.

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

L'étude se concentre d'abord sur les éléments qui composent la zone A en priorité. Si Les décisions et ajustements apportés aux éléments de la zone **A** ne sont pas satisfaisants, l'étude se poursuivra sur les premiers éléments de la zone **B** jusqu'à satisfaction. Éléments d'appartenance à la région **C** peut être négligée, car elle a peu d'influence sur le critère considéré.

3.3. La méthode AMDEC

3.3.1. Historique de la méthode AMDEC

L'AMDEC a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnell Douglas en 1966.

Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement sous le nom de FMEA pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité. À la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs automobiles.

La méthode a fait ses preuves dans les industries suivantes : spatiale, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie, informatique. [22]

3.3.2. Définition de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité) permet une analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements.

Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de la réalisation d'un produit. [24]

3.3.3. Caractéristiques de la méthode AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse inductive, exhaustive et rigoureuse qui permet une recherche systématique :

- Des modes de défaillance d'un moyen de production.

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

- Des causes de défaillance générant les modes de défaillance, ces causes peuvent se situer au niveau des composants du moyen de production où être dues à des sollicitations extérieurs.
- Des conséquences des défaillances sur le moyen de production, sur son environnement, sur le produit ou sur l'homme.
- Des moyens de détection pour la prévention et/ou la correction des défaillances.[25]

3.3.4. Avantages de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation pour obtenir dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif les résultats suivants :

- La satisfaction du client est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre lequel personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.
- Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion. L'élaboration et la gestion de ces plans seront, avec les mises à jour régulières de l'AMDEC, des moyens majeurs de pour l'amélioration continue.
- Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC vous aide à réduire les coûts d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts et des retouches : c'est un des objectifs majeurs de la méthode.
- Un des objectifs majeurs de l'AMDEC se traduira par la mise en place des mesures préventives, voire par l'élaboration des plans d'actions pour l'élimination des causes des défaillances :
 - Identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de Production.
 - Identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel.[24]

3.3.5. Inconvénients de la méthode AMDEC

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.[27]

3.3.6. Les types de la méthode AMDEC

Il existe plusieurs types AMDEC selon l'usage prévu : [28]

- **AMDEC organisation** s'applique aux différents niveaux de processus principaux de l'entreprise du premier niveau qui englobe les processus de gestion, d'information, de production, de gestion du personnel) et le processus marketing, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.
- **AMDEC produit ou projet** est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique des AMDEC sur tous composants.
- **AMDEC processus** s'applique aux processus de fabrication. Elle permet d'analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être utilisée pour les postes de travail.
- **AMDEC machine et moyen** s'applique à des machines, outils, équipements et appareils de mesure, des logiciels, systèmes de transport interne, et les moyens de production.
- **AMDEC service** s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.
- **AMDEC sécurité** s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où existent des risques pour ceux-ci.

3.3.7. AMDEC machine

3.3.7.1. Définition

Ces techniques d'analyses qui ont pour but d'évaluer et de garantir la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des machines par la maîtrise des défaillances.

Elles ont pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et équipements industriels. Leurs rôles ne sont pas de remettre en cause les fonctions de la machine mais plutôt d'analyser dans quelle mesure ces fonctions peuvent ne plus être assurées correctement. En particulier :

- Définir un système de surveillance : détection des anomalies, alarme, signalisation, ...
- Optimiser les stocks de pièces de rechange.
- Mettre en place une maintenance conditionnelle : suivi vibratoire, analyse des huiles, thermomètre, ...
- Construire les aides au diagnostic...

3.3.7.2. Les intérêts de AMDEC machine

Le groupe qui procède à l'AMDEC recherche essentiellement des solutions pour être mise en place par la maintenance elle-même en particulier :

- Réduire le nombre de défaillances,
- Prévention des pannes.
- Fiabilisation de la conception.
- Amélioration de la fabrication, du montage, de l'installation.
- Optimisation de l'utilisation et de la conduite.
- Amélioration de la surveillance et des tests.
- Amélioration de la maintenance préventive.
- Détection précoce des dégradations.
- Réduire les temps d'indisponibilité après défaillance.
- Prise en compte de la maintenabilité dès la conception.
- Amélioration de la testabilité.
- Amélioration de la maintenance corrective.
- Amélioration de la sécurité [27]

3.3.7.3. Cas d'application

L'AMDEC machine est particulièrement destinée aux constructeurs (AMDEC prévisionnelle) et aux utilisateurs de machines (AMDEC opérationnelle).

- **AMDEC prévisionnelle** : En phase de conception, pour vérifier certains points particuliers (élément nouveau, spécifiques ou complexe) dont on connaît mal le comportement. Elle permet l'amélioration de la conception, la validation d'une solution technique par rapport à un cahier des charges ou une exigence spécifique, la mise en place des dispositions d'assurance qualité, la préparation d'un plan de maintenance. On la met en pratique quand les composants sont définis, avant que les plans de détail ne soient figés.
- **AMDEC opérationnelle** : Elle est utilisée en période d'exploitation, pour améliorer le comportement d'un matériel critique et pour mettre au point le plan de maintenance d'une nouvelle installation ou pour optimiser des actions de maintenance (choix, procédure, stocks).

L'AMDEC machine est essentiellement destinée à l'analyse des modes de défaillance d'éléments matériels (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques, électroniques...). Elle peut aussi s'appliquer aux fonctions de la machine. [26]

3.3.8. La démarche pratique de l'AMDEC

La démarche pratique de l'AMDEC se déroule en six étapes :

3.3.8.1. Initialisation (Etape 1)

La phase d'initialisation comprend trois étapes qui sont :

- **Définition du système et des objectifs à atteindre** : L'AMDEC est un travail systématique et long, peut générer beaucoup de documents et donc devenir inutilisable. On aura donc intérêt à se limiter à des équipements qui posent problème. De même, les objectifs de l'étude seront précisés en termes d'amélioration attendues de disponibilité, de maintenance ou autre.
- **Constitution du groupe de travail** : Le groupe de travail comprend :
 - Un représentant du service procédant à l'investissement du moyen de production.
 - Le concepteur du moyen étudié.
 - L'utilisateur futur du moyen étudié.
 - Le mainteneur futur du moyen étudié.
 - Un spécialiste (expert d'un sujet traité ponctuellement).
 - Les services : qualité, fiabilité, sécurité,...
- **Mise au point de supports de l'étude** : Les méthodes d'évaluations des facteurs (Gravité, Fréquence, Détection, Criticité) seront plus détaillées au moment d'évaluation de la criticité. [25]

3.3.8.2. Description fonctionnelle de la machine (Etape 2)

Cette étape permet de découper la machine en sous-systèmes, assemblage, composant. **Dans notre cas** : pompe centrifuge

- Pompe P105.
- Moteur PM105.

3.3.8.3. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (Etape 3)

Cette étape permet de :

- Analyser les mécanismes de défaillances.
- Examiner les moyens permettant de détecter le mode de défaillance d'une part, et ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- Procéder à l'évaluation de la criticité (niveau de risque) de ce mode de défaillance en termes de probabilité et de gravité à travers :

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

- La probabilité d'occurrence F.
- La gravité des conséquences G.
- La probabilité de non détection D.

Il est intéressant de se doter de tableaux (feuille AMDEC) tant en qualité de support pour mener la réflexion que pour la présentation des résultats.

Le groupe de travail détermine et énumère dans la feuille AMDEC les éléments suivants :

- **Élément** : Cette colonne permet d'inscrire la désignation du composant le plus précisément possible, ainsi que son repère de nomenclature s'il existe.
Dans notre cas : P105 pour le premier sous-système (pompe), et PM105 pour le deuxième sous-système (moteur).- accouplement – circuit d'aspiration – circuit de refoulement
- **Fonction** : Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par le composant dans le fonctionnement normal du dispositif étudié.
- **Détection** : Ce sont les symptômes (anomalies, indicateurs,) observés, détectés qui permettent de repérer assez tôt l'évolution d'un mécanisme défaillant. [24]
- **Modes de défaillance** : Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont le composant peut être amené à ne plus assurer sa fonction. Le mode de défaillance s'exprime en termes physiques.
- **Causes** :
 - C'est l'anomalie qui conduit au mode de défaillance.
 - La défaillance est un écart par rapport à la norme de fonctionnement.
 - Les causes trouvent leurs sources dans cinq grandes familles. On en fait l'inventaire dans des diagrammes dits "*diagrammes de causes à effets*".

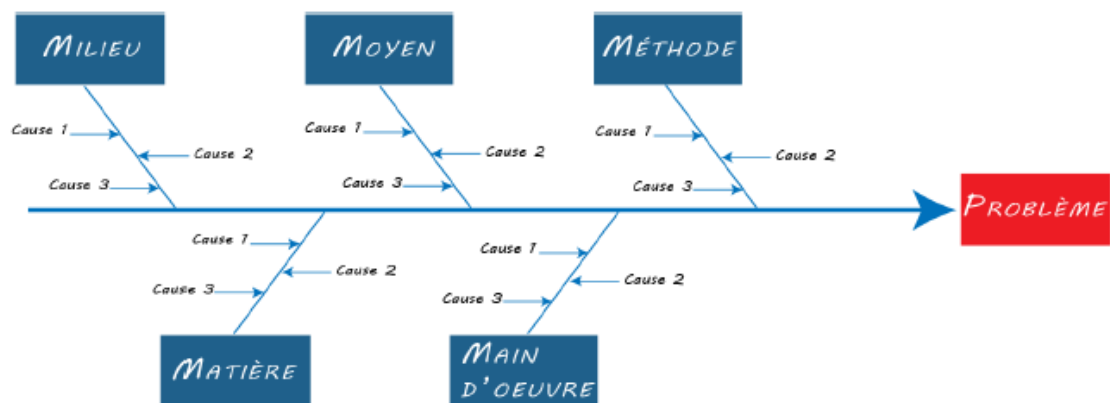


Figure 36. Diagrammes de causes à effets "Ishikawa".

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

- Chaque famille peut à son tour être décomposée en sous-famille.
 - Un mode de défaillance peut résulter de la combinaison de plusieurs causes.
 - Une cause peut être à l'origine de plusieurs modes de défaillances. [30]
- **Effets** : L'effet concrétise la conséquence du mode de défaillance et il dépend du point de vue AMDEC que l'on adopte :
- Effets sur la qualité du produit (AMDEC procédé).
 - Effets sur la productivité (AMDEC machine).
 - Effets sur la sécurité (AMDEC sécurité).

Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance. Les effets sont les événements perçus par l'utilisateur du dispositif.

– **La criticité** :

La criticité est définie par le produit : $C = F \times G \times D$

- **Indice F** : relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance. Cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. L'indice **F** est déterminé à partir du barème de cotation (tableau 5). La note octroyée est comprise entre 1 et 4.

Tableau 5. Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.

Valeurs de fréquence : F	Définition des niveaux
Très faibles F = 1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par 5 ans
Faibles F = 2	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par 2 ans
Moyennes F = 3	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par 6 mois

- **Indice G**: relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance en termes de :

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

- Temps d'intervention (TI), composante du temps d'indisponibilité du moyen de production qui correspond au temps actif de maintenance corrective (diagnostic + réparation ou échange + remise en service).
- Qualité de la production.
- Sécurité des hommes et des biens.

L'indice G est déterminé à partir du barème de cotation (tableau 6), L'indice sanctionne uniquement l'effet le plus grave produit par le mode de défaillance, même lorsque plusieurs effets ont été identifiés. La note octroyée est comprise entre 1 et 5.

Tableau 6. Grille de cotation de la gravité.

Valeurs de gravité G	Défaillance
Gravité mineure G = 1	Défaillance mineure : <ul style="list-style-type: none">- Indisponibilité de la machine inférieure à 1 jour.- Aucune dégradation notable du matériel.
Gravité moyenne G = 2	Défaillance moyenne : <ul style="list-style-type: none">- Indisponibilité de la machine de 1 jour à 2 jours.- Remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire
Gravité critique G = 3	Défaillance critique : <ul style="list-style-type: none">- Indisponibilité de la machine de 2 jours à 7 jours.- Changement du matériel défectueux nécessaire (ou réparation).
Gravité très critique G = 4	Défaillance très critique : <ul style="list-style-type: none">-Indisponibilité de la machine plus à 7 jours.- Intervention nécessitent des moyens coûteux.
Gravité majeure G = 5	Défaillance majeure : <ul style="list-style-type: none">- Indisponibilité de la machine pour une durée indéterminée.

- **Indice D:** relatif à la possibilité de détecter la défaillance (couple mode de défaillance-cause) avant qu'elle ne produise l'effet. L'indice D est déterminé à partir du barème de cotation (tableau 7). La note est comprise entre 1 et 4.

Tableau 7. Grille de cotation de la probabilité de non détection.

Valeurs de la probabilité de non détection : D	Définition des niveaux
Détection évidente D=1	- Alarme en salle de contrôle
Détection possible D=2	- Défaillance détectable par action de l'opérateur ou par des relevés vibratoires
Détection difficile D=3	- Défaillance difficilement détectable : Le signe avant-coureur difficilement détectable
Détection impossible D=4	- Défaillance indétectable : il n'existe aucun signe avant-coureur.

- **Indice C** : qui permettra de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et caractéristique du dispositif considéré. $C=F \times G \times D$

Le seuil de criticité varie en fonction des objectifs de fiabilité ou des technologies traitées. Dans notre cas, vu la fonction importante dans le processus de traitement et les pertes matérielles résultant de l'indisponibilité de la pompe, nous avons décidé de fixer le seuil de criticité à 10. Dès lors que l'indice de criticité dépasse le seuil prédéfini, la défaillance analysée fera l'objet d'une action corrective.

De la même manière, des actions correctives sont engagées si les indices G, D ou F sont supérieurs ou égaux à la valeur 4 et ce même si l'indice de criticité n'atteint pas le seuil fixé.

3.3.8.4. Synthèse de l'étude/décisions (Etape 4)

L'ensemble des colonnes actions correctives permet de définir les mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques. Une diminution de la critique peut être obtenue :

- Par la mise en œuvre de modifications ou d'améliorations de la conception de l'installation, qui permettront :

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

- Soit de rendre le moyen de production plus fiable (diminuer la fréquence d'apparition de la défaillance).
 - Soit de rendre le moyen de production plus maintenable (diminuer le temps d'immobilisation par la réduction des effets des défaillances).
- Par la mise en œuvre de dispositions organisationnelles concernant la maintenance ou la conduite de l'installation (exemple : définir la gamme de maintenance préventive, écrire les modes opératoires de réglage, mettre en stock des pièces de rechange, etc.).

Le choix du type d'action corrective à mettre en place doit être guidé par le critère le plus pénalisant dans la note de criticité. Par exemple, si la criticité d'une défaillance est élevée du fait de la fréquence, l'action corrective doit viser à diminuer prioritairement la fréquence. Quand aucune action corrective ne peut permettre de ramener l'indice de gravité au-dessous de 4, le groupe de travail devra définir une action visant à maintenir ou à ramener les deux autres critères (fréquence et non détection) à une valeur égale à 1. De la même manière, quand aucune action corrective ne permet de ramener l'indice de fréquence au-dessous de 4, l'action corrective définie par le groupe de travail doit permettre de ramener ou de maintenir les deux autres critères (gravité et détection) à une valeur égale à 1.

3.3.8.5. Criticité - Indices finaux (Etape 5)

Lorsque la définition d'une action corrective a été réalisée, l'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la nouvelle criticité, à partir de l'estimation des nouveaux indices de fréquence, de gravité et de non-détection. La nouvelle criticité est inscrite dans le tableau AMDEC en utilisant le même barème de cotation que celui ayant servi à la cotation initiale.

- **Indice F'** : l'amélioration de la note de fréquence F s'obtient par une action sur la fiabilité du composant analysé ou sur les conditions d'utilisation ou par une action de maintenance préventive systématique, etc. C'est l'action à rechercher en priorité.
- **Indice G'** : l'amélioration de la note de gravité G s'obtient par une action sur la maintenabilité ou sur l'aptitude à diagnostiquer et à réparer plus rapidement. Cela peut entraîner des modifications de conception (suivi de la qualité produite, confinement des risques, etc.).
- **Indice D'** : l'amélioration de la note de non-détection D s'obtient en agissant sur les moyens de détection (installation des capteurs, augmentation de la fréquence des inspections,...).

Chapitre 3 : Les méthodes ABC et AMDEC utilisées dans la maintenance.

- **Indice C'** : $C' = F' \times G' \times D'$ qui permettra de quantifier le progrès réalisé.

Une fois les actions correctives identifiées et déterminées, le décideur validera la mise en application des actions correctives proposées par le groupe, en tenant compte des délais prévus, des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

3.3.8.6. Suivi (Etape 6)

Le suivi est un aspect fondamental pour le succès de la mise en œuvre de l'AMDEC. Le suivi va permettre de vérifier que toutes les actions décidées ont été réalisées et que les nouvelles valeurs de criticité sont effectivement atteintes.

3.4. Conclusion

La politique de maintenance est basée sur la maintenance préventive pour le but de réduire la probabilité de défaillance et éviter les arrêts de production qui coûteront beaucoup. En basant sur cette politique de maintenance, nous allons, dans le chapitre suivant (et toujours dans le cadre de la maintenance préventive) appliquer une méthode d'analyse AMDEC (analyse des modes de défaillances, de leurs effets, et de leurs criticités) et loi de Pareto afin d'éliminer ou d'au moins réduire les points critiques de la pompe P105.

CHAPITRE 4

Analyse AMDEC et les actions correctives

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions les deux méthodes d'analyse de fiabilité AMDEC et ABC définies dans le chapitre 3, appliquées sur l'historique des pannes de la pompe p 105. Ce travail nous a permis de déterminer les composants les plus critiques et développer un nouveau plan de maintenance qui facilite son adoption en production.

4.2. Historiques des pannes de la Pompe p105

Le tableau suivant présente l'historique des pannes dans une période précise donné dans le tableau 8.

Tableau 8. *Tableau de suivi de panne.*

N°	DUREE D'ARRET (h)	Cause d'arrêt	Nom du composant
1	32	Moteur tourne à vide et la pompe ne fonctionne pas	Roue
2	29	Remplissage de la pompe (mise en marche)	Garniture
3	28	Débit trop faible	Crepine clapete anti retour
4	27	Débit trop faible	Clapete anti retour
5	22	Poches d'air dans les tuyauteries	Roulement
6	20	Débit trop faible	Arbre
7	19	Pompe ne fonctionne pas le moteur tourne à vide	Stator
8	15	Corps de pompe insuffisamment remplis	Rotor
9	14	Fuite à travers un tuyau	Boite à borne
10	12	Pression faible	Tube
11	11	Arrêt subite du moteur	Clavette
12	7	Poches d'air dans les tuyaux	Coude
13	6	Bruit anormal	Coude
14	5	Bruit anormal	Diffuseur
15	4,5	Débit trop faible	Volute
16	3	Débit trop faible	Orfice
17	2,5	Débit trop faible	Réservoir
18	2	Débit trop faible	Vanne
19	1,5	Débit trop faible	Manchon d'accouplement
20	0,5	Débit trop faible	Ecrou d'accouplement

4.3. Application Diagramme PARETO

D'après les résultats donnés dans le tableau 8, nous allons calculer le cumule des pannes ainsi que le pourcentage cumulé des pannes donné dans le tableau 9, ensuite on construit un diagramme de PARETO (figure 42), qui va nous permettre de connaître les sous-systèmes les plus défaillants en facteur de leur cumul de pannes en pourcentage.

Tableau 9 : résultats ABC

Composant	Temps d'arrêt panne	Cumule des pannes	Cumulés %
Roue	32	32	12,26%
Garniture mécanique	29	61	23,37%
Crepine clapette anti retour	28	89	34,10%
Clapette anti retour	27	116	44,44%
Roulement	22	138	52,87%
Arbre	20	158	60,54%
Stator	19	177	67,82%
Rotor	15	192	73,56%
Boite à borne	14	206	78,93%
Tube	12	218	83,52%
Clavette	11	229	87,74%
Coude	7	236	90,42%
Coude	6	242	92,72%
Diffuseur	5	247	94,64%
Volute	4,5	251,5	96,36%
Orfice	3	254,5	97,51%
Réservoir	2,5	25	9,58%
Vanne	2	259	99,23%
Manchon d'accouplement	1,5	260,5	99,81%
Ecrou d'accouplement	0,5	261	100,00%

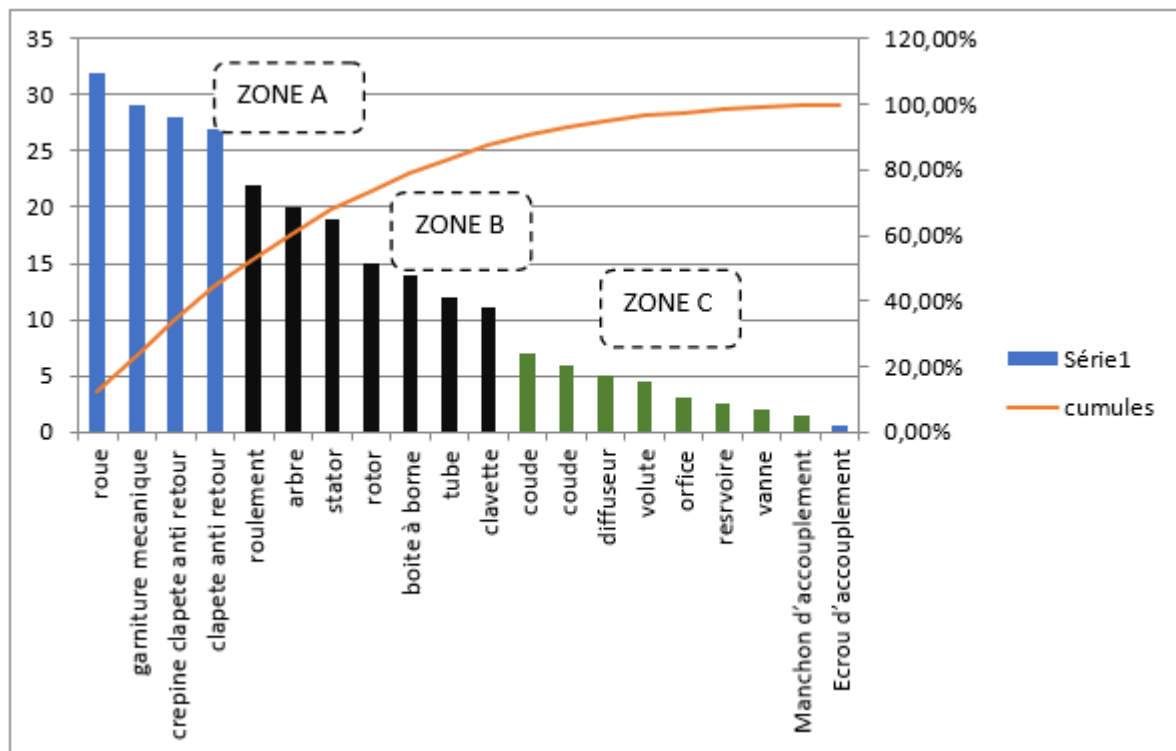


Figure 42 : Diagramme de PARETO

4.4. Interprétation des résultats

Dans ce travail, notre étude est basée sur l'analyse de la concentration des pannes selon les sous-systèmes donnés dans le tableau ABC, en essayant d'étudier les causes et les effets, puis proposer des solutions pour améliorer la fiabilité des pompes. On observe que la courbe ABC contient trois zones d'où :

- **Zone "A"** : les 44,44 % des pannes représentent les composant :
 - Roue
 - Garniture mécanique
 - Crépine clapette anti retour
 - Clapette anti retour

Cette zone contient les éléments les plus défaillant), ils nécessitent une maintenance préventive systématique dans une période définie.

- **Zone "B"** : les 34,87 % des pannes représentent les composant :

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

- Roulement
- Arbre
- Stator
- Rotor
- Boite à borne
- Tube
- Clavette

La maintenance appliquée dans la zone B est la maintenance préventive conditionnelle.

– **Zone "C"** : les 9.58 % des pannes représentent les composant

- Coude
- Diffuseur
- Volute
- Orifice
- Réservoir
- Vanne
- Manchon d'accouplement
- Ecrou d'accouplement

La maintenance appliquée dans la zone C est la maintenance corrective.

4.5. Application de la méthode AMDEC sur la pompe centrifuge

Dans un premier lieu on a décomposé fonctionnellement le système (**Figure 43**).

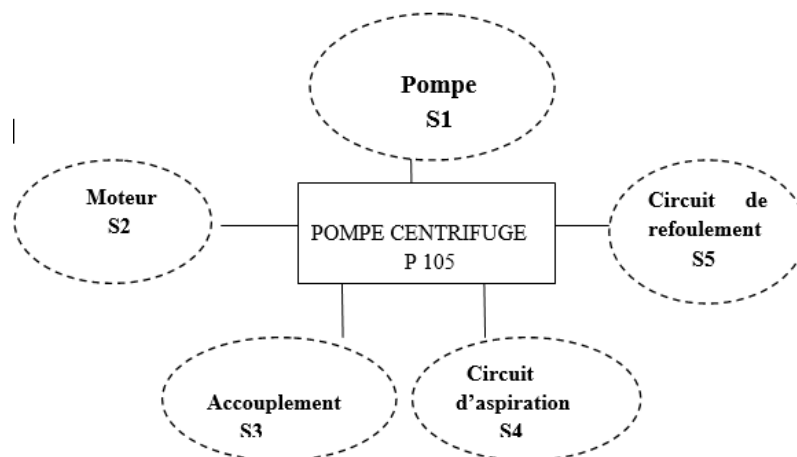


Figure 43. Décomposition fonctionnelle de la Pompe Centrifuge.

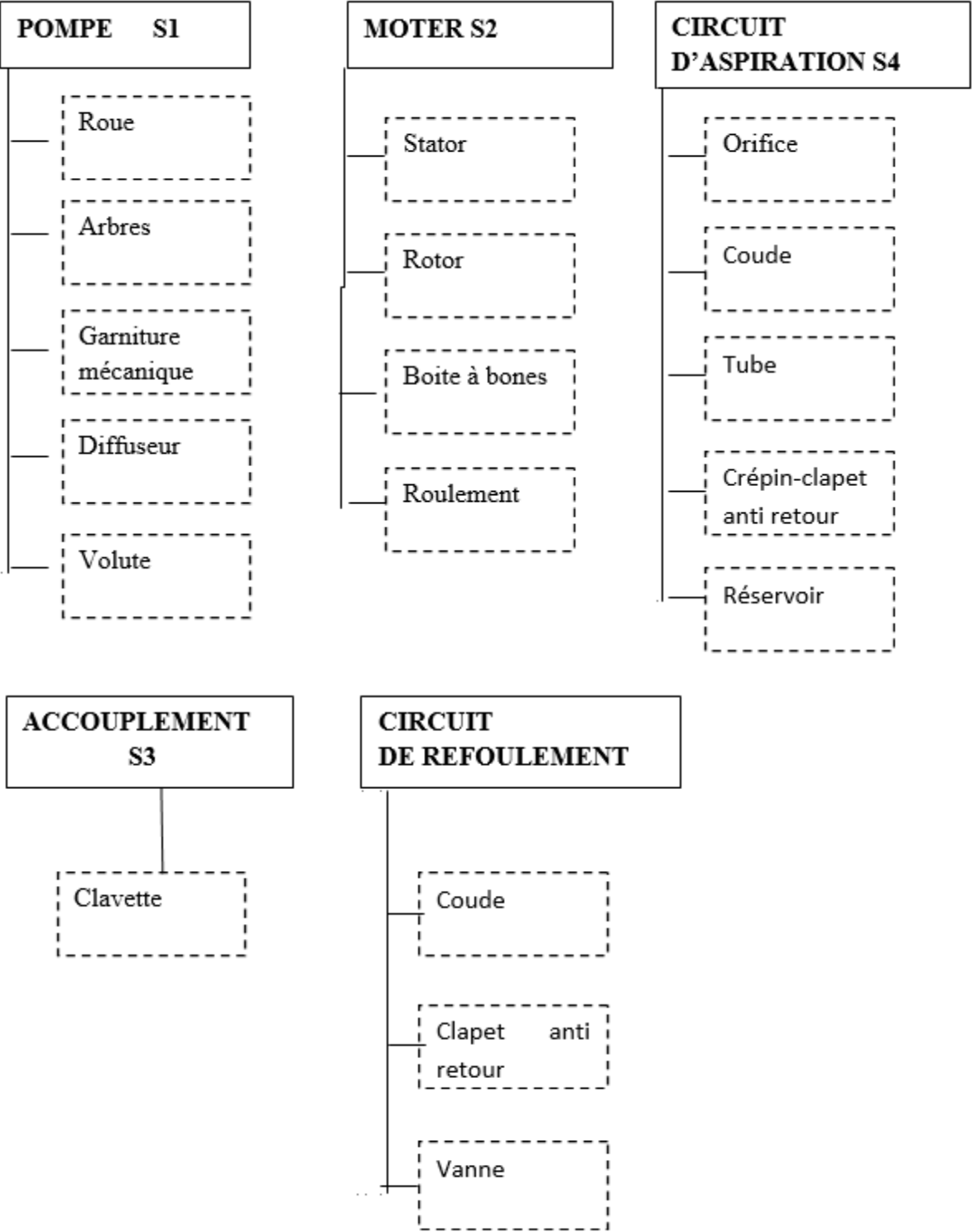


Figure 44 : Les composants de sous-systèmes (Décomposition structurelle).

4.6. Les feuille AMDEC de la pompe centrifuge

4.6.1. Traitement des sous-systèmes

Après avoir terminé la décomposition fonctionnelle et structurelle de la pompe P105 étudié, nous allons maintenant appliquer l'analyse AMDEC pour chaque élément de cette pompe. Les différentes informations (modes de défaillance, causes et effets possibles...) introduites dans les tableaux AMDEC suivants, collectées à travers des recherches sur Internet vu que les composants de même type ont une grande probabilité d'avoir les mêmes types de défaillance.

– **Sous-systeme1 : Section Pompe**

Ensemble:Centrifuge (P105)		sous-système 1: Pompe (S1)		
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance		
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Roue	Donner une vitesse au liquide	-Usure -Rupture	- Efforts très élevés - Cavitation - Ouies de la roue usée	- Diminution du débit - Arrêt de la pompe
Arbre	Transmettre une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation	-Vibration -Usure	-mauvaise lubrification -surcharge -déformation	Arrêt de la pompe
Garniture mécanique	Assure l'étanchéité de la pompe, éviter les fuites du liquide à l'extérieur	-Usure des faces -Usure des joints	-Cavitation -Mauvaise qualité d'eau	-Débit insuffisant - Arrêt de la pompe
Diffuseur	Guide le mouvement de produit	Usure	- Cavitation -Eau chargée	Fonction dégradé

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

Volume	Prolonger l'effet hydraulique de la roue	Fissures	- Cavitation -Eau chargée	Fonction dégradé
--------	--	----------	------------------------------	------------------

– Sous-système2 : Moteur

Ensemble: Centrifuge (P105)		sous-système2: Moteur (S2)		
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance		
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Roulement	Guider et supporter le rotor	-Usure -Cassure	Fatigue -Vibration	Echauffement -Blocage de rotor
Stator	Créer un champ tournant	- Grillage d'enroulement -D' défaillance de phase - D' défaillance d'isolement	-Surcharge -Fatigue	Arrêt de la pompe
Rotor	Assurer le mouvement de rotation	D' défaillance de la cage	-Surcharge -Fatigue	Arrêt de la pompe
Boite à borne	Assure l'alimentation du moteur	Etanchéité (Courant-circuit	-Défaut d'isolement	Arrêt de la pompe

– Sous-système 3 : Accouplement

Ensemble: Centrifuge (P105)		sous-système3: Accouplement (S3)		
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance		
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Clavette	Permet l'entraînement en rotation un élément récepteur à partir d'un élément moteur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vices d'assemblage -Surcharge -Fatigue	-Mauvaise transmission -Dégradation de fonctionnement de la pompe

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

			-Désalignement -Déformation	
--	--	--	--------------------------------	--

– Sous-système 4 : Circuit d'aspiration

Ensemble: Centrifuge (P105)		Sous-système 4 : Circuit d'aspiration (S4)		
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance		
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Orifice	Diriger le liquide vers l'entrée de la roue	-Echauffement de l'orifice -Bruit	-Evaporation du liquide -Variation de pression	-Implosion de l'orifice -Erosion
Coude	Réduit les pertes de charge	Endommagement de la pompe	Défaut au niveau du montage du coude	Désamorçage de la pompe
Tube	Conduire l'aspiration d'eau vers l'orifice d'aspiration	-Bruit -Vibration	Formation de vapeur a l'intérieur de la pompe -Poche d'air dans les tubes	Cavitation
Crépine-clapet-anti retour	Eviter le passage d'élément solide	-Détérioration -Crépine bouchée	Présence d'élément solide dans le fluide	-Mauvaise filtration du liquide - Diminution de pression
Reservoir	Alimenter le circuit en eau	Perçage	Présence de givre	Interruption d'alimentation

– Sous-système 5 : Circuit de refoulement

Ensemble: Centrifuge (P105)		Sous-système 5 : Circuit de refoulement(S5)		
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance		
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
clapet-anti retour	Il permet le passage de l'eau dans un seul sens	La pompe tourne mais aucune eau n'est évacuée	-Clapet monté en inverse -Clapet coincé	Diminution de pression

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

Vanne	Distribuer ou interrompre le passage du fluide	Blocage	Pas de commande	Arrêt d'alimentation d'eau
Coude	Réduit les pertes de charge	Endommagement de la pompe	Défaut ai niveau du montage du coude	Désamorçage de la pompe

4.6.2. Analyse des sous-systèmes

– Analyse de sous-système 1 (La Pompe) :

Ensemble: Centrifuge (P105)			sous-système 1: Pompe			
Composant	Detection	Fonction				Actions correctives
		F	G	D	C	
Roue	-Bruit -Vibration	4	1	5	20	-Nettoyage mensuel de la pompe -Contrôle d'état de la roue -Contrôle vibratoire -Remplacer la roue usée avec une autre
Arbre	Vibration	4	1	2	8	-Vérifier les éléments en contact avec l'arbre -Changement de l'arbre
Garniture mécanique	Fuite d'eau	4	1	5	20	Changement de garniture
Diffuseur	-Bruit - Cavitation	3	1	1	3	Maintenance corrective
Volute	-Bruit - Cavitation	3	1	1	3	Maintenance corrective

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

– Analyse de sous-système 2 (Moteur)

Ensemble: Centrifuge (P105)			sous-système2: Moteur			
Composant	Detection	Fonction				Actions correctives
		F	G	D	C	
Roulement	Bruit -Echauffement	3	2	2	12	Changement des roulements
Stator	Visuel	2	4	1	8	Bobinage de l'enroulement
Rotor	Visuel	4	2	1	8	Changement de la cage
Boite à borne	Visuel	4	2	1	8	Vérifier l'isolement

– Analyse de sous-système3 (Accouplement)

Ensemble: Centrifuge (P105)			sous-système3: Accouplement			
Composant	Detection	Fonction				Actions correctives
		F	G	D	C	
Clavette	Visuel	2	1	3	6	-Réalignement -Serrage du système de fixation -Changement d'accouplement

– Analyse de sous-système 4 (Circuit d'aspiration)

Ensemble: Centrifuge (P105)			sous-système4: Circuit aspiration			
Composant	Detection	Fonction				Actions correctives
		F	G	D	C	
Orifice	Visuel	2	1	1	2	Vérifier la pression

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

Coude	Manomètre	3	2	1	6	Démonter puis remonter le coude
Tube	Manomètre	4	2	1	8	Vérifier la pression
Crépine clapet-anti retour	Manomètre	4	2	2	16	Changement de Crépine
Réservoir	Visuel	1	1	1	1	Changement de réservoir

– Analyse de sous-système 5 (Circuit de roulement)

Ensemble: Centrifuge (P105)			Sous-système5 : Circuit de refoulement			
Composant	Detection	Fonction				Actions correctives
		F	G	D	C	
Clapet anti retour	Faible débit	4	2	2	16	Changement de claper
Vanne	Visuel	1	1	1	1	Débloquer la vanne
Coude	Manomètre	3	2	1	6	Démontage et remontage du coude

4.7. Etude Pareto sur la criticité

Après avoir appliqué la méthode AMDEC sur tous les sous-systèmes de la pompe P 105, nous allons par la suite étudier la criticité des sous-systèmes par l'application de la méthode Pareto donnée dans le tableau 10.

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

Tableau 10. *Étude Pareto sur la criticité.*

	Composant	Criticité	%	% Cumulés	Classification
1	Roue	20	13.15	13,15	13,15
2	Garniture mécanique	20	13.15	26,2	26,2
3	Crépine clapette anti retour	16	10.52	36,84	36,84
4	Clapette anti retour	16	10.52	47,36	47,36
5	Roulement	12	7.89	55,26	55,26
6	Arbre	8	5.26	60,52	60,52
7	Stator	8	5.26	65,78	65,78
8	Rotor	8	5.26	71,05	71,05
9	Boite à borne	8	5.26	76,31	76,31
10	Tube	8	5.26	81,57	81,57
11	Clavette	6	3.94	85,52	85,52
12	Coude	6	3.94	89,47	89,47
13	Coude	6	3.94	93,42	93,42
14	Diffuseur	3	1.97	95,39	95,39
15	Volute	3	1.97	97,36	97,36
16	Orfice	2	1.31	98,68	98,68
17	Réservoir	1	0.65	99,34	99,34
18	Vanne	1	0.65	100	100
	TOTAL	152	100		

4.8. Diagramme de Pareto

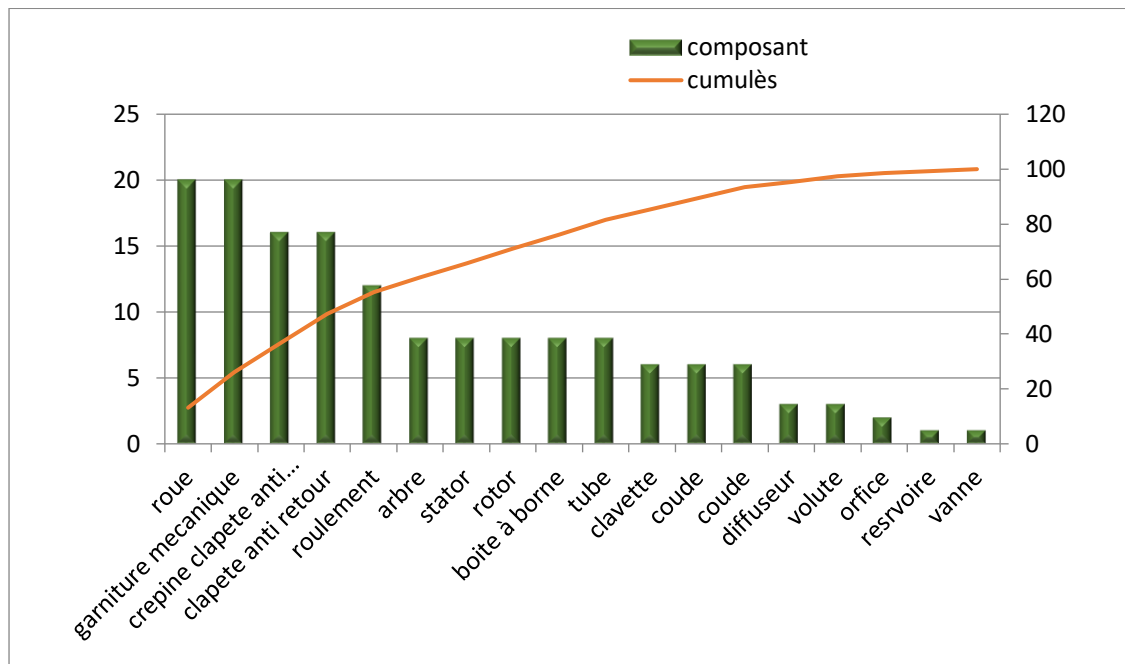


Figure 44. Diagramme de Pareto.

4.9. Interprétation des résultats

La courbe de Pareto permet de répartir les éléments du système étudié en trois classes :

- La classe A représentant les éléments les plus critiques ($C \geq 16$), cette classe représente presque 47.37 % du cumul de criticité. Les organes constituant cette classe sont :
 - Roue
 - Garnitures Mécaniques
 - Crépine-clapet-anti retour
 - Clapet -anti Retour
- La classe B des éléments à criticité moyenne ($6 \leq C < 16$), cette classe représente presque 38.16 % du cumul de criticité. Les organes constituant cette classe sont :
 - Roulement
 - Arbres
 - Stator
 - Rotor
 - Boite à bornes
 - Tube
 - Clavette
 - Coude

Chapitre 4 : Analyse AMDEC et les actions corrective

- La classe C des éléments les moins critiques ($C < 6$), cette classe représente presque 4.61 % du cumulé de criticité. Les organes constituant cette classe sont :
 - Diffuseur
 - Volute
 - Orifice
 - Réservoir
 - Vanne

4.10. Comparaison entre les résultats Pareto

L'application de la méthode Pareto sur l'historique des pannes et la criticité AMDEC, nous a permis de trouver les mêmes systèmes les plus défaillants. D'après ces résultats, nous confirmons que la méthode AMDEC est efficace pour les analyses prévisionnelles et la détection des défaillances potentielles qui pourraient affecter le fonctionnement d'une entreprise.

4.11. Conclusion

L'AMDEC, par l'analyse des pannes, la fréquence d'apparition et les temps d'arrêt favorise :

- La mise en place des plans de maintenance préventive ;
- L'organisation et la réalisation des actions de maintenance ;
- Améliorer les conditions d'intervention.

Conclusion Générale

Les pompes centrifuges étant l'un des types de pompes les plus utilisées au monde. Elles sont des composants vitaux de la plupart des circuits (hydraulique, de raffinage, de distribution, de lubrification...). Donc, elles sont sujettes à de nombreuses pannes. Un arrêt de quelques minutes a comme conséquence une perte importante de production. Ce qui constitue un des soucis majeurs des industriels.

La pompe centrifuge demande une maintenance judicieuse. L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente.

Notre étude s'est basée sur des tests expérimentaux sur une pompe centrifuge. Le long d'une durée de huit mois, on a fait fonctionner la pompe. Puis à l'aide d'un logiciel, on a collecté ses performances hydrauliques. En comparant ces valeurs à celles données par le guide (paramètres types où l'efficacité est maximale), on a constaté les anomalies suivantes :

- Débit trop faible
- Bruit anormal
- Efficacité faible

Toutes ces pannes sont enregistrées par des dates et rassemblées dans un tableau qui constitue un document essentiel pour l'application de la méthode Pareto, qui nous permis de détecter 5 sous systèmes les plus défaillants. Ensuite le calcul des critères de maintenance par l'analyse AMDEC (mode de défaillance et leur criticité) effectuée sur les 5 sous-systèmes.

Par cette étude, on peut entreprendre une maintenance fiable avec une bonne disponibilité, avoir le moins possible d'arrêts de production et l'équipement soit remis en bon état. Enfin, la pompe centrifuge est très sensible et son bon fonctionnement exige une cohérence entre ses éléments constituants.

Références Bibliographiques

[1] **KHALDI et LATRECHE (2014)** : « Etude d'une pompe centrifuge a un étage». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie mécanique, Centre Universitaire Ain Temouchent.

[2] **SAADI et MADOUNI (2014)** : « Les stations de pompage dans les réseaux d'assainissement ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Licence en Hydraulique, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCEN.

[3] **Formation TOTAL**: « MAINTENANCE MECANIQUE LES POMPES Manuel de formation EXP-MN-SE090-FR Dernière révision: 26/11/2008 »

[4] <https://www.metauxmoteurs.com/45-pompes-a-lobes>

[5] **BERNARD**, « Techniques d'ingénieur (B4320) Pompe Volumétriques pour Liquides », Paris.

[6] **Henri, F. (2011)**. « Livre mécanique des fluides et des solides appliqués à la chimie ». Rue Lavoisier, Paris.

[7] **PASCAL BIGOT**, « Cours : les pompes ».

[8] **MOUMENE Salah Eddine (2019)** : « Etude et Maintenance des pompes centrifuges industrielles ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Electromécanique, Université Badji Mokhtar Annaba.

[9] **BECHIRI Mohammed (2019)** : « Etude et mise en service du banc d'essai. Tutor de pompe et des turbines au sein de l'université de Tlemcen ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie mécanique, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen.

[10] **BOUHABILAH Hamoudi**, « Cours : Concepts et stratégies de maintenance ». Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.

[11] <http://iutgmp.univlille1.fr/fichiers/LPMICVI/15%20Strategie%20de%20Maintenance%20Industrielle.pdf>

[12] **AFNOR guide de l'utilisateur** : contrats de maintenance 2e Edition 1988, AFNOR

[14] **ISET Nabeul**, Introduction à la maintenance, 2014

[15] **Jérémy Llaurens (2014)** : « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique ». Thèse de Doctorat en pharmacie, Université Joseph Fourier.

[16] **Retour D, bouche M et Plauchu V**, ou va la maintenance industrielle, problèmes économiques, No.2.156, pp. 7-13,24 janvier1990

[17] Fiabilité ; Wikipédia.

[18] **ZITOUNI Guesmi**, « Cours : Technique de Maintenance ». ISET du KEF.

[19] **BADEREDDINE Hocine et DJEGHBALA Amor (2016)** : « Optimisation de la maintenance préventive d'une pompe centrifuge GA -1102 ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Forage et Mécanique des chantiers pétrolier, Université Kasdi Merbah Ouargla.

[20] **KELADA. J, 1994**, « l'AMDEC », École des Études Commerciales : Centre d'étude en qualité totale

[21] **Daphné Mothes**. « Pareto et GMAO : Vers une évolution de l'analyse maintenance ».

[22] <https://www.mobility-work.com/fr/blog/gmao-vers-uneevolution-de-lanalyse-pareto>

[23] **KELADA. J, 1994**, l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude en qualité totale.

[24] **Mémoire : AMDEC – Etude de cas** : Extracteur de fumée de l'Entreprise Nationale de la Pétrochimie ENIP/ AYAD Mohammed, KEBBAB Toufik. 2008/2009

[25] **ABDI Adil (2012)** : «Optimisation de la fonction maintenance par la méthode AMDEC cas de la pompe 2000D à membrane de l'entreprise CERTAF». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie mécanique, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen

[26] **BOUKHERISSI, M.**, « AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) appliquée à la STEP d'Ain El Houtz ».

[27] **SAID, H.**, OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE DU PARC D'EXPLOITATION AU NIVEAU INDUSTRIEL (INTER ENTREPRISE «GROUPE KHERBOUCHE»).

[28] **Gérard Landy**, AMDEC-Guide pratique.

[29] **NOUREDDINE R.**, cours, IMSI univ-oran2.

[30] **Dossier n°3 La méthodologie AMDEC.** Jean-Pierre GRAFF. CRTA Avignon 2004.
Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode défaillance du composant.

Résumé

La maintenance préventive est la moyenne la plus importante pour les entreprises souhaitant obtenir un pouvoir de monopole dans l'économie internationale ou locale, notamment en période de concurrence économique (quantité et qualité).

Ce projet de fin d'étude est basé sur l'analyse de l'historique des pannes des pompes centrifuges en utilisant deux méthodes PARETO et AMDEC. Au final, nous avons trouvé le type de maintenance approprié pour augmenter la fiabilité et l'efficacité.

Mots clé : Maintenance préventive, Equipements, , Maintenance, La fiabilité, PARETO, AMDEC, pompe centrifuge