

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA -JIJEL

Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Mécanique

Projet de Fin d'Études

*Pour l'Obtention du Diplôme
De Master Académique en Génie Mécanique
Option construction mécanique*

Thème

*Etude de la Technologie et la Fiabilité d'une
Pompe à Haute Pression*

Les membres du jury :

Dr. L. GUERAICHE
Mr. H.FENINECH
Dr. R.BELHADEF

Président
Examineur
Encadreur

Présenté par :

Abdelhamid DJEMAOUNI
Zineddine TOUMI

Promotion 2018

Université de Jijel

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné le maximum de volonté et de santé, et de patience pour accomplir ce travail.

Un grand remerciement à notre encadreur Dr. BELHADEF RACHID qui a supervisé ce travail de recherche. Nous lui exprimons notre profonde gratitude pour l'effort fourni, les conseils, sa disponibilité, son soutien, son efficacité et sa patience et surtout ses encouragements le long de réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier également les membres des jurys, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous exprimons nos remerciements à tous les enseignants du département de génie mécanique, et à tous les enseignants depuis le primaire jusqu'à maintenant.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles pour leur encouragement et leur soutien inconditionnel. Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Merci à vous tous.

DÉDICACES

JE DÉDIE CE TRAVAIL :

À MON PÈRE ET MA BELLE-MÈRE QUI M'ONT
SOUTENU ET ENCOURAGÉ TOUT AU LONG DE MES
ÉTUDES

À MES FRÈRES BILAL ET SA PETITE FAMILLE,
KHALED, YAZID, FATIH, AIMED, BESSEM, RAFIK
ET MOUSSA

À MES SŒURS NESSRIN, NABILA ET SON MARI.

À TOUS MES AMIS SURTOUT MAHIO, MASSAOUD,
HAROUN, RIAD, MOHAMED

À TOUS MES COLLÈGUES DE LA PROMOTION
CONSTRUCTION MÉCANIQUE 2018 SURTOUT
DJAHIZ ET SON BINÔME FARID

ABDELHAMID

Dédicace

Ce travail est dédié :

A mes chers parents qui ont sacrifié leurs modestes vies pour que je puisse étudier.

A mes frères et ses enfants.

A ma sœur et son mari.

A ma grande mère.

A toute ma famille « Toumi », et la famille de mon ami abd elhamid «djemaouni ».

A tous mes amis de génie mécanique.

A tous mes amis que je connais à l'université.

A tous mes amis de mon village Ziama M.

Et à toute personne ayant contribué à établir ce travail.

7. Zin eddine

Liste des Figures

Figure 1.1: Amorçage d'une pompe.....	3
Figure 1.2: Pompe centrifuge 1.....	4
Figure 1.3: Pompe centrifuge 2.....	4
Figure 1.4: pompe à hélice.....	5
Figure 1.5: Pompe hélico-centrifuge.....	6
Figure 1.6: Pompe à membrane ou a diaphragme.....	7
Figure 1.7: Pompe à engrenages.....	8
Figure 1.8: Pompes à palettes.....	9
Figure 1.9: Pompes péristaltique.....	10
Figure 1.10: Pompes péristaltique.....	11
Figure 1.11: Pompe à action directe.....	11
Figure 1.12: Pompe à mécanisme bielle manivelle.....	11
Figure 1.13: Pompes à piston selon le nombre de cylindres.....	12
Figure 2.1: Vue de face en coupe de la pompe à haute pression.....	15
Figure 2.4 : Vilebrequin.....	16
Figure 2.5: Bielles.....	17
Figure 2.6: Crosse.....	18
Figure 2.7: Piston.....	18
Figure 2.8: Présentation des courroies trapézoïdales.....	21
Figure 2.9: Transmission par engrenage.....	22
Figure 2.10: Vilebrequin et Palier à roulement.....	23
Figure 2.11: Palier à roulements.....	24
Figure 2.12: Constitution d'un roulement.....	25
Figure 2.13: Roulement à rotule sur billes.....	25
Figure 2.14: Roulements à rotule sur rouleaux.....	25
Figure 3.1: Concepts de la maintenance.....	30
Figure 3.2: Symbolisme de l arbre défaillances.....	32
Figure 3.3: Schéma descriptif du diagramme CAUSES-EFFETS.....	32
Figure 3.4: Diagramme de PARETO ou courbe ABC.....	34
Figure 3.5: La variation du cout en fonction de la fiabilité.....	43

Figure 3.6: Notion de SDF en fonction du temps	44
Figure 3.7: Tracé de la courbe en baignoire.....	48
Figure 3.8: BDF Générique.....	49
Figure 3.9: Différentes formes de $R(t)$	50
Figure 3.10: Fiabilité d'un système constitue de plusieurs composants montés en série	51
Figure 3.11 : Fiabilité d'un système constitue de plusieurs composants montés en parallèle	51
Figure 4.1: Décomposition de la pompe type APGV	52
Figure 4.2: Histogramme fiabilité	53
Figure 4.3: Décomposition du circuit de lubrification.....	54
Figure 4.4: Histogramme de fiabilité et courbe ABC du circuit de lubrification	56
Figure 4.5: Courbe en baignoire.....	64
Figure 4.6: Graphe de Pareto	67
Figure 4.7: Courbe ABC	68
Figure 4.8: Le graphe sur le papier de Weibull.....	71
Figure 4.9: La variation de $R(t)$	72
Figure 4.10: La variation de $F(t)$	72
Figure 4.11: La variation de $\lambda(t)$	73

Liste des Tableaux

Tableau 2.1: Nomenclature des organes de la pompe à haute pression.....	16
Tableau 3.1: Modes de défaillances.....	35
Tableau 3.2: Causes de défaillances	36
Tableau 4.1: Récapitulatif des défaillances des parties de notre pompe.....	53
Tableau 4.2: Historique des pannes du circuit de lubrification	54
Tableau 4.3: Support de l'étude	57
Tableau 4.4: Support de l'étude de la partie mécanique.....	58
Tableau 4.5: Support de l'étude de la partie électrique	60
Tableau 4.6: Support de l'étude de circuit de lubrification	61
Tableau 4.7: Support de l'étude de circuit de refroidissement	62
Tableau 4.8: Classement des organes de la PHP selon leur criticités.....	67
Tableau 4.9: Etude de la fiabilité de la PHP par la méthode de Weibull.....	70

Liste des symboles

$R(t)$: Fiabilité

$F(t)$: Défaillance

$M(t)$: Maintenabilité

$D(t)$: Disponibilité

$\mu(t)$: Taux de réparation

Liste des abréviations

MTBF (Mean Time between Failures) : Le temps moyen de bon fonctionnement

MTTF (Mean Time to Failure) : Le temps moyen de fonctionnement jusqu'à l'occurrence de la première défaillance

MUT (Mean Up Time) : La moyenne des temps de bon fonctionnement après réparation

MTTR (Mean Time to Repair) : Le temps moyen de réparation

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

1.1 Historique	2
1.2 Définitions et domaines d'application.....	2
1.2.1 Turbopompes	2
1.2.1.1 Principe de fonctionnement	2
1.2.2 Pompes centrifuges	4
1.2.2.1 Utilisation.....	4
1.2.2.2 Fonctionnement avec la canalisation de refoulement bouchée	4
1.2.2.3 Réglage du débit	5
1.2.3 Pompes à hélice	5
1.2.3.1 Domaines d'application.....	5
1.2.4 Pompes hélico-centrifuge	6
1.3 Pompes volumétriques	6
1.3.1 Principe de fonctionnement.....	6
1.3.2 Pompes à diaphragmes	7
1.3.2.1 Exemples d'application.....	7
1.3.3 Pompes à engrenages.....	7
1.3.3. 1 Principe de Fonctionnement	7
1.3.3.2 Caractéristiques et utilisation.....	7
1.3.4 Pompes à palettes.....	8
1.3.4.1 Principe de fonctionnement	8
1.3.4.2 Caractéristiques et utilisation.....	8
1.3.5 Pompes péristaltiques	9
1.3.5.1 Principe de fonctionnement	9
1.3.5.2 Caractéristiques et utilisation.....	9
1.3.6 Pompes à piston.....	10
1.3.6.1 Principe de Fonctionnement.....	10
1.3.6.2 Caractéristiques et utilisation.....	10
1.3.6.3 Classifications des pompes à piston.....	10

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

2.1 Introduction	12
2.2 Parties de la pompe de la série APGV	12
2.2.1 Partie électrique	12
2.2.1.1 Constitution	12
2.2.1.2 Principe de fonctionnement	13
2.2.1.3 Caractéristiques techniques	13
2.2.2 Partie mécanique	15
2.2.2.1 Caractéristiques constructives	16
2.3 Principe de fonctionnement de la pompe a haute pression	19
2.4 Transmission du mouvement	19
2.4.1 Transmission par poulie courroies	19
2.4.1.1 Poulie	19
2.4.1.2 Courroies	20
2.4.2 Engrenage hélicoïdale à dentures cheverons	22
2.4.3 Paliers	22
2.4.3.1 Fonction	22
2.4.3.2 Différents types de paliers	23
2.4.4 Roulements	24
2.4.4.1 Définition	24
2.4.4.2 Constitution	24
2.4.4.3 Différents types de roulements	25
2.4.4.4 Choix du type de roulement	26
2.5 Lubrification	26
2.5.1 But de lubrification	26
2.5.2 Lubrification de la PHP	27
2.6 Système de refroidissement	27

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.1 Définition	28
3.2 Concepts de la maintenance	28
3.2.1 Maintenance préventive	28
3.2.1.1 Définition	28

3.2.1.2 Quelques opérations de la maintenance préventive	29
3.2.2 Maintenance curative.....	29
3.2.2.1 Définition	29
3.2.2.2 Quelques opérations de la maintenance curative	29
3.3 Outils d'analyse de la maintenance [7]	30
3.3.1 Analyse quantitative des défaillances.....	31
3.3.2 Arbre de défaillances	31
3.3.3 Diagramme causes-effets (Ishikawa).....	32
3.3.3.1 Définition	32
3.3.3.2 Intérêt de la méthode.....	32
3.3.4 Q-Q-O-Q-C-P	33
3.3.4.1 Définition	33
3.3.4.2 Intérêt de la méthode.....	33
3.3.5 Diagramme de Pareto (méthode ABC).....	33
3.3.5.1 Définition	33
3.3.5.2 Intérêt de la méthode.....	33
3.3.6 AMDEC.....	34
3.3.6.1 Introduction.....	34
3.3.6.2 Définition	34
3.3.7 Défaillance.....	35
3.3.7.1 Définition	35
3.3.7.2 Modes de défaillance	35
3.3.7.3 Causes de défaillance	36
3.4 Types de l'AMDEC [11].....	37
3.4.1 Avantages de l'AMDEC.....	37
3.4.2 Apports et limites de l'AMDEC [13]	37
3.4.2.1 Apports.....	37
3.4.2.2 Limites de la méthode AMDEC	38
3.4.2.3 Quelques erreurs à éviter.....	38
3.4.3 Méthodologie de l'AMDEC [14]	38
3.4.3.1 Etape 1 : Préparation de l'étude	38
3.4.3.2 Etape 2 : Analyse fonctionnelle	40
3.4.3.3 Etape 3 : Analyse qualitative des modes de défaillance	40
3.4.3.4 Etape 4 : Evaluation de la criticité	40

3.4.3.5 Etape 5 : Définir et suivre un plan d'action préventive	41
3.4.4 Analyse structurelle d'un système	41
3.5 Fiabilité.....	42
3.5.1 Introduction	42
3.5.2 Généralité.....	42
3.5.3 Terminologie de la Sureté de fonctionnement [15]	43
3.5.3.1 Fiabilité	44
3.5.3.2 Maintenabilité	45
3.5.3.3 Disponibilité.....	45
3.5.3.4 Sécurité	45
3.6 Etude de la fiabilité [17].....	45
3.6.1 Défaut	45
3.6.2 Défaillance.....	45
3.6.3 Panne	45
3.6.4 Taux de défaillance λ (t)	46
3.6.5 Taux de réparation $\mu(t)$	46
3.6.6 MTBF (Mean Time between Failures)	46
3.6.7 MTTF (Mean Time to Failure)	46
3.6.8 MUT (Mean Up Time)	46
3.6.9 MTTR (Mean Time to Repair)	47
3.7 Courbe en baignoire	47
3.8 Méthodes d'évaluation de la fiabilité	48
3.8.1 Bloc-diagramme de Fiabilité (BDF)	48
3.9 Différentes lois utilisées dans le calcul de la fiabilité	49
3.9.1 Loi de Poisson	49
3.9.2 Loi binomiale.....	49
3.9.3 Loi de Weibull	49
3.10 Fiabilité d'un système constitue de plusieurs composants montés en série.....	51
3.11 Fiabilité d'un système constitue de plusieurs composants montées en parallèle	51

Chapitre 4 : Etude de fiabilité de la PHP

4.1 Introduction	52
4.2 Analyse Descendante Structurale (ADS) de la pompe de type APGV	52
4.3 Classification des éléments.....	52

4.4 Application	53
4.4.1 Collecte de données	53
4.4.2 Analyse des données.....	54
4.5 Sélection des éléments.....	54
4.5.1 Principe de la méthode « ABC »	55
4.5.2 Description de l'analyse	55
4.5.3 Tracé de la courbe ABC	55
4.5.4 Interprétation des résultats.....	56
4.6 Diagnostic par la méthode AMDEC	56
4.6.1 Mise au point de support de l'étude.....	57
4.6.2 Application AMDEC sur notre pompe	58
4.6.3 Interprétation des résultats.....	63
4.7 Etude de la fiabilité de la pompe	63
4.7.1 Introduction	63
4.7.2 Définition de la fiabilité.....	63
4.7.3 Défaillance et mode de défaillance.....	64
4.7.4 Taux de défaillance.....	64
4.7.5 Maintenabilité MTTR.....	65
4.7.6 Disponibilité D	65
4.8 Loi de Pareto et la courbe ABC	66
4.8.1 Diagramme de Pareto	66
4.8.2 Définition de la méthode ABC	66
4.8.3 But de la méthode ABC.....	66
4.9 Etude de la fiabilité de la pompe à haute pression (PHP)	66
4.9.1 Construction du graphe de Pareto.....	66
4.9.2 Construction de la courbe ABC.....	68
4.9.3 Interprétation des résultats.....	68
4.10 Détermination des paramètres de la fiabilité de la PHP	68
4.10.1 Définition.....	69
4.10.2 Etude de la fiabilité de la PHP.....	69
4.10.3 Paramètres de Weibull.....	70
4.10.3.1 Calcul de la MTBF.....	71
4.10.3.2 Probabilité de bon fonctionnement	71
4.10.3.3 Taux de défaillance	72

4.10.3.4 Maintenabilité	73
4.10.3.5 Disponibilité D.....	73
4.10.4 Interprétation des résultats	73
Conclusion générale	74
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction générale

Introduction générale

Toute machine destinée à remplir une fonction généralement de production où d'exploitation devrait être impérativement entretenue. Cela se traduit par des actions d'intervention humaines pour corriger, vérifier et s'assurer de la continuité de fonctionnement et mettre à jour les caractéristiques initiales.

Pour assurer un rythme et une qualité de production apte à satisfaire les plus hautes exigences, les chefs des entreprises doivent instituer une bonne gestion de maintenance de l'outil de production, souple et performante.

Intimement liée à la nécessité de réduire les coûts de production, elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. C'est dans ce contexte que vient notre présent travail qui consiste à faire une étude technologique et de fiabilité d'une pompe à haute pression (PHP) en utilisant deux méthodes d'analyse à savoir la méthode ABC et AMDEC dont le but est de connaître ses éléments ainsi que ses pannes critiques qui causent plus d'arrêts et de dépenses ; cela n'est que la première partie de notre travail. La deuxième partie consiste alors à la détermination des paramètres de la fiabilité de la pompe (MTBF, Taux de défaillance, Disponibilité et Maintenabilité) et cela en utilisant la loi de Weibull. Le but est de situer l'état et la période dont laquelle fonctionne la PHP et apporter ainsi les corrections et les interventions nécessaires.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre porte sur des généralités sur les pompes. Au deuxième chapitre, nous présentons la pompe HP objet de notre étude, les différents organes constituant la PHP et toutes ses caractéristiques. Le troisième chapitre est consacré à des notions de maintenance et de fiabilité. Enfin, le dernier chapitre est consacré à l'étude de la fiabilité de la PHP ; cette étude nous conduit à repérer les organes les plus critiques de l'équipement (par la méthode ABC et AMDEC), et à la détermination de tous les paramètres de Weibull et savoir en quelle période de vie est notre pompe (jeunesse, maturité, vieillesse).

Chapitre 1

Généralités sur les Pompes

1.1 Historique

Le principe de la pompe est apparu dès que l'homme a su construire un habitat artificiel pour se protéger des éléments naturels. Le besoin en eau nécessaire à sa survie l'obligea à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat, il utilisa simplement l'énergie développée par ses muscles pour transporter l'eau à l'aide de récipient naturel ou artificiel, plus la contenance et la distance étaient grande plus l'énergie dépensée était importante. Jusqu'au début de l'ère industrielle (fin du XVIIIe siècle), des pompes ne servirent que pour le transfert de l'eau [1].

1.2 Définitions et domaines d'application

Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre les tubulures d'entrée et de sortie. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide, de l'énergie potentielle (par accroissement de la pression en aval) soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide. Ainsi, on peut vouloir augmenter le débit (accroissement d'énergie cinétique) ou/et augmenter la pression (accroissement d'énergie potentielle) pour des liquides, visqueux, très visqueux...C'est pourquoi la diversité des pompes est très grande [2].

Les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales:

- **Les turbopompes** : le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.
- **Les pompes volumétriques** : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.

1.2.1 Turbopompes

1.2.1.1 Principe de fonctionnement

Les turbopompes sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue, et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute. Le fluide arrivant par l'ouïe est dirigé vers la roue en rotation qui sous l'effet de la force centrifuge lui communique de l'énergie cinétique. Cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression dans la volute. Un diffuseur à la périphérie de la roue permet d'optimiser le flux sortant est ainsi de limiter les pertes d'énergie.

1.2.1.2 Amorçage

Les turbopompes ne peuvent s'amorcer seules. L'air contenu nécessite d'être préalablement chassé. On peut utiliser un réservoir annexe placé en charge sur la pompe pour réaliser cet amorçage par gravité.

Pour éviter de désamorcer la pompe à chaque redémarrage il peut être intéressant d'utiliser un clapet anti-retour au pied de la canalisation d'aspiration



Figure 1.1: Amorçage d'une pompe.

1.2.1.3 Caractéristiques

Les hauteurs manométriques totales fournies ne peuvent dépasser quelques dizaines de mètres. Pour dépasser ces valeurs on utilise des pompes centrifuges multicellulaires où plusieurs roues sont montées en série sur le même arbre. Le refoulement d'une des pompes communique avec l'aspiration de la pompe suivante. Il est également possible de coupler en série plusieurs de ces pompes. Le rendement est de l'ordre de 60 à 70 %: il est inférieur à celui des pompes volumétriques.

1.2.1.4 Avantages et inconvénients des turbopompes

Avantages

- Des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses
- À caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques.
- Leur rendement est souvent meilleur que celui des volumétriques.
- Elles sont adaptées à une très large gamme de liquides.
- Leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux.
- En cas d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater.

Inconvénients

- Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux.
- Elles ne sont pas auto amorçante.
- À l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir....).
- Ces descriptions sont communes avec les trois classes des turbopompes qui sont les suivants :
- Pompe centrifuge.
- Pompe à hélice.
- Pompe hélico-centrifuge [4].

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

1.2.2 Pompes centrifuges

Dans ce type de pompes le liquide est entraîné dans un mouvement de rotation par un rotor et rejeté perpendiculairement par rapport à l'axe comme l'indique la figure suivante:

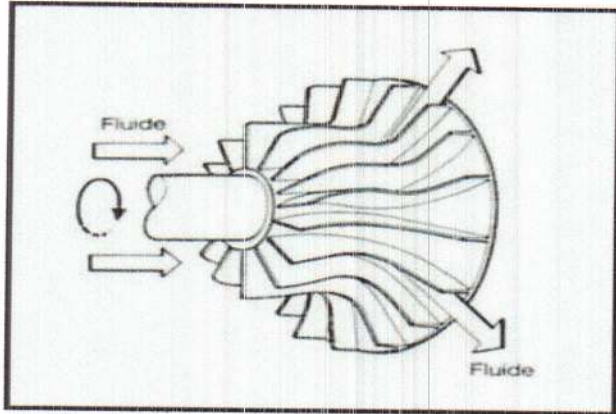


Figure 1.2: Pompe centrifuge 1.

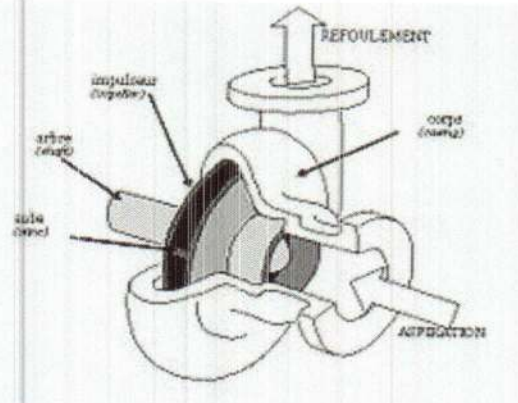


Figure 1.3: Pompe centrifuge 2.

1.2.2.1 Utilisation

Ce sont les pompes 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:

- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).
- Utilisation comme pompe doseuse: la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques.

Par contre contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.

1.2.2.2 Fonctionnement avec la canalisation de refoulement bouchée

Ce type de fonctionnement consécutif à une erreur est sans danger s'il ne se prolonge pas trop. Le risque à la longue est l'échauffement de la pompe, car le liquide n'évacue plus la chaleur. A ce moment la pompe peut se détériorer et ce d'autant plus qu'elle comporte des parties en plastique

Remarque :

Pour une pompe centrifuge fonctionnant avec un moteur électrique, on comprend qu'il est préférable de démarrer la pompe centrifuge avec la vanne de refoulement fermée. En effet pour un débit nul la puissance consommée est alors la plus faible ce qui constitue un avantage pour un moteur électrique car l'intensité électrique le traversant est alors la plus faible. Les contraintes mécaniques sont également les plus faibles dans ce cas. Bien entendu il faut assez rapidement ouvrir cette vanne sous peine d'entraîner un échauffement de la pompe.

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

1.2.2.3 Réglage du débit

Deux moyens sont possibles:

- Variation de la vitesse de rotation de la pompe par un dispositif électronique
- Vanne de réglage située sur la canalisation de refoulement de la pompe

Pour éviter le risque de cavitation: suivant son degré d'ouverture, la perte de charge du réseau va augmenter ou diminuer ce qui va entraîner la variation du point de fonctionnement.

Le réglage du débit est important pour des besoins dus au procédé mais aussi pour se placer dans des plages de fonctionnement où le rendement est meilleur

1.2.3 Pompes à hélice

Ici le liquide est entraîné dans un mouvement de rotation par un mobile et rejeté axialement

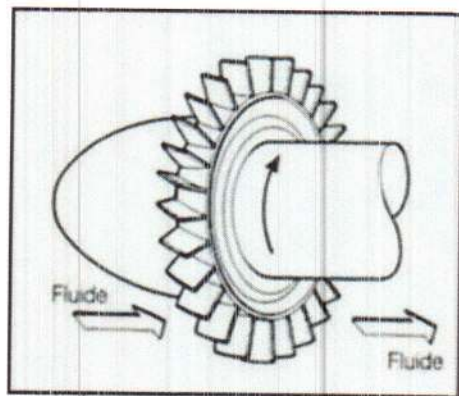


Figure 1.4: Pompe à hélice.

1.2.3.1 Domaines d'application

- Assèchement et irrigation des surfaces agricoles
- Régulation du niveau d'eau (pompes pour stations d'épuisement et polders)
- Circulation de l'eau dans les stations d'épuration
- Enrichissement en oxygène des eaux d'aquaculture
- Vidange ou noyage de docks flottants
- Vidange ou noyage de réservoirs
- Eaux pures ou légèrement polluées avec une teneur en corps solides jusqu'à 50 mg/l
- Eau douce, eau de mer ou eau saumâtre
- Températures du fluide transporté jusqu'à 50 °C

Avantages

- Possibilité de montage vertical ou horizontal
- Utilisable comme pompe en ligne ou immergée
- Refroidissement exceptionnel grâce au moteur rempli d'eau refroidi par la circulation du fluide
- Longues durées de fonctionnement sans maintenance
- Coûts de réparation réduits

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

- Coûts d'installation et d'exploitation réduits
- Respecte l'environnement – entièrement recyclable

1.2.4 Pompes hélico-centrifuge

Ce type intermédiaire entre les deux précédents, la trajectoire d'une particule de liquide est une courbe tracée sur une surface de révolution dont la génératrice est une courbe diagonale.

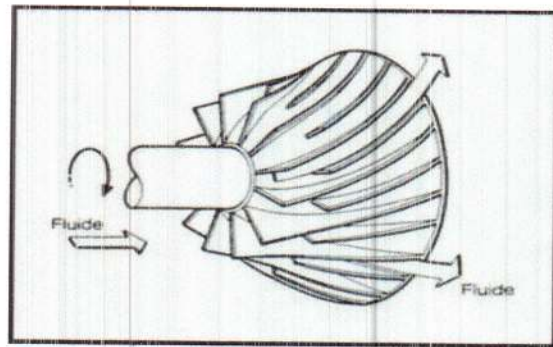


Figure 1.5: Pompe hélico-centrifuge.

1.3 Pompes volumétriques

1.3.1 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 à la fin.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement; Ce qui les rend auto-amorçantes.

Si le volume aspiré ne peut pas s'évacuer dans la canalisation de sortie (vanne fermée, ou canalisation obstruée) l'augmentation de pression aboutirait soit à l'éclatement de la conduite, Soit au blocage du moteur d'entraînement de la pompe. C'est pourquoi une soupape de sûreté doit être impérativement montée à la sortie de la pompe.

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

1.3.2 Pompes à diaphragmes

Dans les pompes à diaphragme, appelées aussi pompes à membrane, le fluide n'entre pas en contact avec les éléments mobiles de la machine. Ces pompes sont donc bien adaptées au pompage des liquides corrosifs.

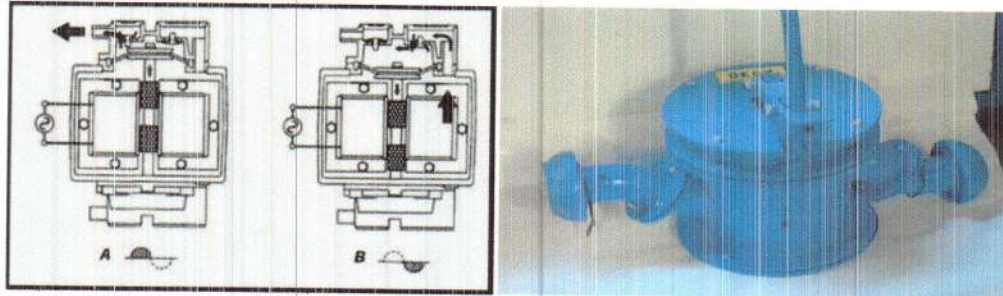


Figure 1.6: Pompe à membrane ou à diaphragme.

1.3.2.1 Exemples d'application

- Industrie chimique, Secteur pharmaceutique, Traitement des eaux usées
- Industrie des peintures et des encres d'imprimerie

1.3.3 Pompes à engrenages

1.3.3.1 Principe de Fonctionnement

Elle est constituée par deux engrenages tournant à l'intérieur du corps de pompe. Le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement.

1.3.3.2 Caractéristiques et utilisation

Ce sont des pompes qui peuvent atteindre des pressions au refoulement de l'ordre de 5 à 30 bars. Les débits peuvent atteindre 300 m³.h⁻¹. La hauteur manométrique maximale est de 50 à 200 m. Elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction. Elles sont utilisées pour les produits autolubrifiants et alimentaires.

Avantage

- Débit régulier.
- Pas de clapets nécessaires.
- Marche de la pompe réversible.

Inconvénients

- Nombreuses pièces d'usure.
- Pas de particules solides dans cette pompe, ni de produits abrasifs.
- La présence de traces de solide ayant pour effet d'accélérer l'usure mécanique des pignons et de diminuer l'étanchéité entre le corps de pompe et les dents.

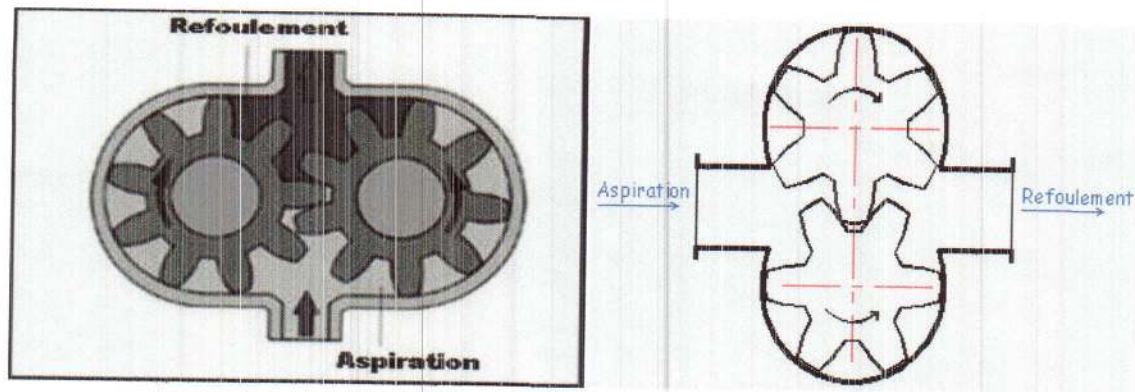


Figure 1.7: Pompe à engrenages.

1.3.4 Pompes à palettes

1.3.4.1 Principe de fonctionnement

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement. A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi interne du stator. Le mouvement du rotor fait varier de façon continue les différentes capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre.

1.3.4.2 Caractéristiques et utilisation

Ce sont des pompes caractérisées par des débits allant jusqu'à $100 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ et des pressions au refoulement de 4 à 8 bars. Elles conviennent aux liquides peu visqueux.

Avantage

- Pas de brassage, ni d'émulsification du liquide pompé.
- Débit régulier.
- Marche réversible de la pompe.

Inconvénients

- Usure du corps par frottement des palettes.
- Difficile pompage des produits visqueux.

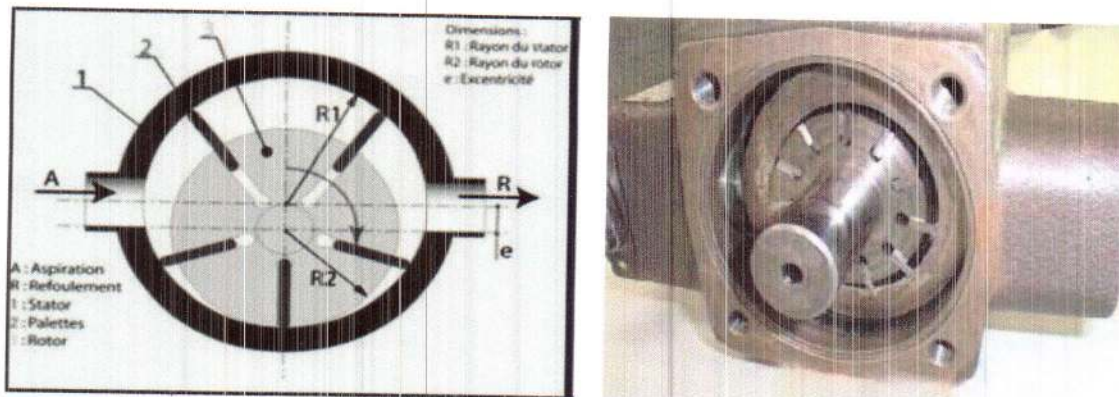


Figure 1.8: Pompes à palettes.

1.3.5 Pompes péristaltiques

1.3.5.1 Principe de fonctionnement

L'effet de pompage est obtenu par la compression d'un tube en élastomère par des galets fixés sur le rotor. Les galets, en se déplaçant, entraînent le liquide jusqu'au refoulement.

1.3.5.2 Caractéristiques et utilisation

Elles permettent de pomper des liquides très abrasifs et chargés à un débit pouvant aller à 50 m³.h⁻¹. La pression au refoulement est de 15 bars. La hauteur manométrique maximale est de 160 m. Elles s'utilisent pour les produits chimiques et alimentaires.

Avantage

- Utilisation comme pompe doseuse possible.

Inconvénients

- Débit limité.
- Refoulement très saccadé.
- Température d'utilisation assez faible.

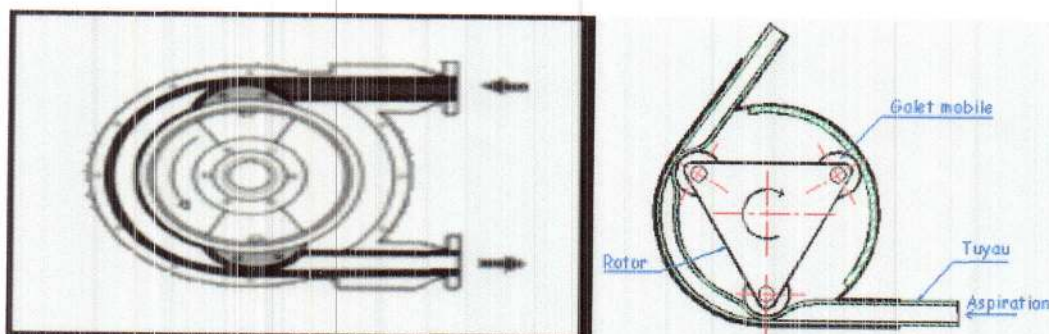


Figure 1.9: Pompes péristaltiques.

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

1.3.6 Pompes à piston

1.3.6.1 Principe de Fonctionnement

Son principe est d'utiliser les variations de volumes occasionnés 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. Une membrane est parfois liée au piston.

1.3.6.2 Caractéristiques et utilisation

Elles ne conviennent que pour des débits moyens de l'ordre de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. L'intérêt des membranes est l'utilisation avec des produits chimiques corrosifs, abrasifs ou acides. La pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.

Avantage

- Fonctionnement à sec sans dommage.
- Bon rendement ($> 90\%$).

Inconvénients

- Débit limité.
- Viscosités assez faibles.
- Pompage impossible de particules solides : La pompe ne fonctionne bien que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.

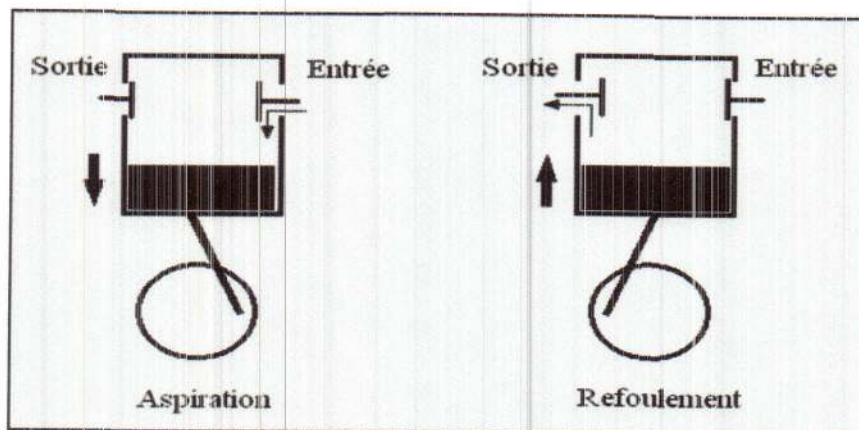


Figure 1.10: Pompes à piston.

1.3.6.3 Classifications des pompes à piston

Les pompes à piston sont classées selon plusieurs critères :

a) Selon le mode d'entraînement :

- Pompe à action directe.
- Pompe à mécanisme bielle manivelle.

Chapitre 1 : Généralités sur les pompes

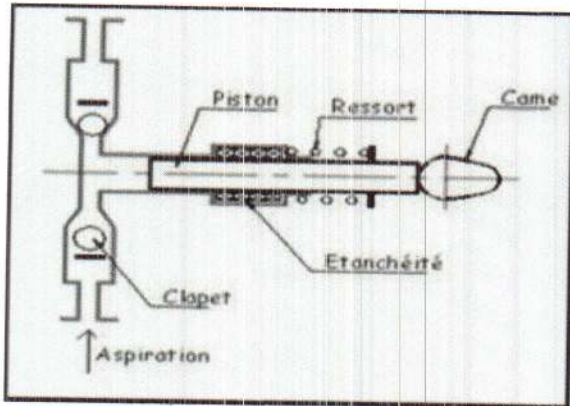


Figure 1.11: Pompe à action directe

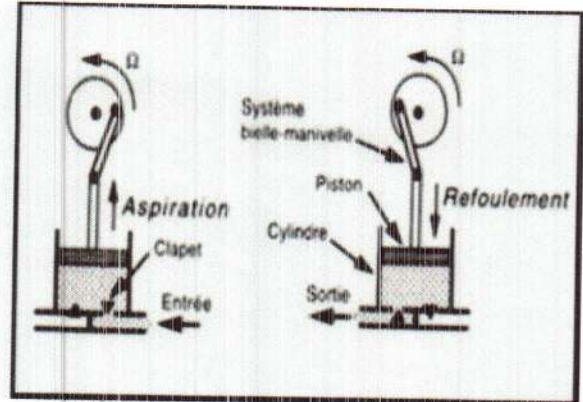


Figure 1.12: Pompe à mécanisme bielle manivelle

b) Selon le nombre de cylindre :

- Pompe simplexe « 1 cylindre ».
- Pompe duplexe « 2 cylindres ».
- Pompe triplex « 3 cylindres ».

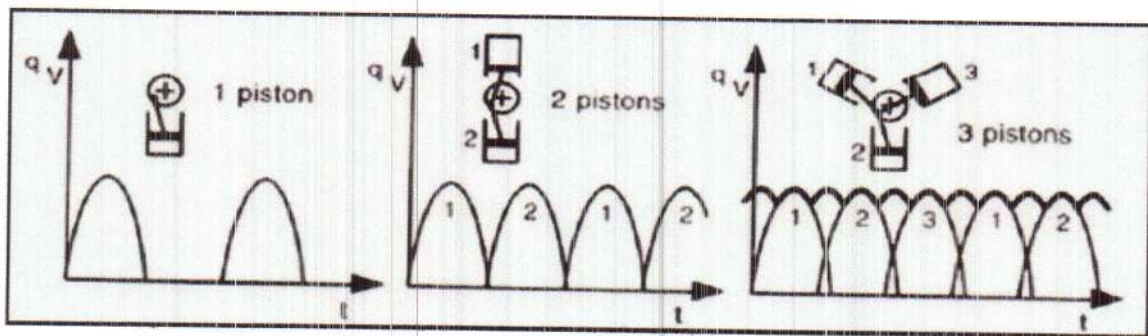


Figure 1.13: Pompes à piston selon le nombre de cylindres

c) Selon la disposition du cylindre :

- Pompe verticale.
- Pompe horizontale.

d) Selon le type de piston :

- Piston plein.
- Piston creux.

e) Selon Le principe de refoulement :

- Pompe à simple effet.
- Pompe à double effet [3].

Remarque

On utilise généralement dans l'industrie pétrolière les pompes triplex à simple effet et les pompes duplex à double effet.

Chapitre 2

Etude de la pompe HP

2.1 Introduction

Les pompes de la série APGV sont de type alternatif avec pistons à simple effet, prévues pour le fonctionnement à haute pression et dont la variation du débit est obtenue par variation de la vitesse de rotation de l'arbre manivelles.

Les pompes de la série APGV sont construites dans la version à trois pistons longitudinaux en ligne et à six pistons opposés. Pour chaque type de pompe ils sont prévus deux ou plus de types de pistons ayant diamètre différent.

Les pompes de cette série sont actionnées, au moyen de courroies, par un moteur électrique à vitesse variable, ce qui permet de changer le débit de la pompe d'un maximum à un minimum.

2.2 Parties de la pompe de la série APGV

Cette pompe est composée de deux parties :

- **Partie électrique**
- **Partie mécanique**

2.2.1 Partie électrique

Dans le domaine de la commande des machines, le choix des moteurs se fait non seulement en fonction des exigences techniques mais en tenant compte avant tous des nécessités économiques.

C'est pourquoi l'on s'efforce d'adapter dans toute la mesure du possible le moteur aux caractéristiques et aux exigences de la machine commandée, afin d'augmenter, tant en qualité qu'en quantité, sa puissance de travail. Pour atteindre ce but, on doit dans beaucoup de cas pouvoir modifier la vitesse de la machine, c'est-à-dire le nombre de tours du moteur de commande, dans des limites plus ou moins larges.

2.2.1.1 Constitution

Le moteur triphasé à collecteur à alimentation rotorique, comporte trois parties.

2.2.1.1.a Stator

C'est la partie fixe du moteur, il comporte un enroulement secondaire raccordé aux balais frottant sur le collecteur, son enroulement est analogue à celui d'un moteur ordinaire.

Des extrémités de chacun de ses phases reliées à deux séries de balais frottant sur le collecteur. Chaque série est solidaire d'une couronne porte balais. Ces deux couronnes sont indépendantes et ne peuvent être déplacées qu'en sens contraire aux moyens de deux systèmes :

- Soit à la main part volant.
- Soit par servo- moteur commande à distance

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

2.2.1.1.b Rotor

C'est la partie mobile du moteur, il comporte un enroulement primaire triphasé normal relié au réseau par des bagues collectrices et des balais.

Dans les encoches du rotor est disposé un deuxième enroulement de réglage semblable à celui d'induit de moteur à courant continu, qui est raccordé au collecteur.

Ce deuxième enroulement est destiné à fournir la tension de réglage.

2.2.1.1.c Ventilateur

Il est constitué de matière légère, et monté sur le coté appasant de l'arbre, son rôle est de refroidir le moteur pendant le fonctionnement.

Il est entraîné par un moteur auxiliaire monté au bout d'arbre à une vitesse 1400 tour/min, le moteur asynchrone à collecteur est fait de trois bobinages, donc il nécessite un refroidissement important surtout pour les faibles vitesses.

C'est pourquoi on adjoint un moteur auxiliaire pour un refroidissement efficace.

2.2.1.2 Principe de fonctionnement

Le moteur triphasé à collecteur à alimentation rotorique, la tension du réseau est amenée au rotor au moyen de bagues collectrices, le bobinage du primaire rotorique parcouru par des courants triphasés alternatifs produit un champ magnétique alternatif.

Des phases des enroulements sont décalées de $2\pi / 3$ l'une par rapport à l'autre. Les courants triphasés et les flux produits sont déphasés des 120° , le flux résultant est alternatif et tournant.

Ce champ produit par l'induction des FEM au niveau du stator ou secondaire et au niveau de l'enroulement de réglage qui se trouve lui dans les encoches rotoriques et au-dessus de l'enroulement du rotor. La FEM produit au niveau du stator y induit un courant, l'interaction de ce courant induit et du flux inducteur rotorique produit des forces de la place $F = BIL$, un couple prend naissance et le moteur démarre.

2.2.1.3 Caractéristiques techniques

2.2.1.3.a Vitesse

Par le déplacement en sens opposé le collecteur, le moteur permet une variation continue de la vitesse dans la gamme de réglage prévue, sans qu'apparaissent des pertes supplémentaires dans les résistances extérieures.

La vitesse une fois réglée ne varie que dans une faible mesure avec les fluctuations de la charge dans la partie supérieure de la gamme de vitesse.

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

2.2.1.3.b Courant au démarrage

Le courant à l'enclenchement est faible (démarrage direct). Lors du démarrage dans la position des vitesses inférieures le moteur peut donc en général être enclenché directement sans organe spécial de démarrage (résistance) au moyen d'un interrupteur tripolaire.

2.2.1.3.c Couple de démarrage

Le moteur peut être chargé sur toute sa gamme de réglage avec un couple constant correspondant au couple normal, il donne ainsi une puissance variable proportionnelle à la vitesse, comme l'exigent la plupart des machines réceptrices. Suivant la gamme de réglage, le couple au démarrage s'élève à 2-3 fois le couple nominal pour environ le même rapport du courant de démarrage au courant nominal, de sorte que même pour les vitesses les plus faibles, on obtient un démarrage plus sûr et ainsi que la résistance de l'enroulement de réglage est grande s'ajoute à celle des contacts des balais, les circuits du rotor étant assez résistants, le couple au décollage est grand.

2.2.1.3.d Facteur de puissance

Le facteur de puissance est toujours supérieur à celui des moteurs asynchrones de même puissance et de même vitesse. Le $\cos \phi$ peut même être à une valeur proche de 1, pour un seul sens de rotation et une charge constante, par un réglage approprié. Des balais à l'usine.

2.2.1.3.e Décalage des balais (variation de la vitesse)

Le décalage des balais peut être commandé au moyen d'un moteur de réglage (servomoteur) à l'aide d'un bouton poussoir ou manuellement à l'aide d'un volant.

2.2.1.3.f Changement de sens de marche

Pour changer le sens de rotation de ce moteur on inverse deux bagues collectrices, au niveau du rotor.

2.2.1.3.g Démarrage et réglage de la vitesse

Les moteurs sont réglés de manière à travailler au moment de l'enclenchement, sur le nombre de tours minimum. Un contact de verrouillage (interrupteur de fin de course) relié au déplacement des balais ne permet l'enclenchement par un contacteur de réseau que pour le nombre de tours minimum (vitesse de démarrage).

Dans les cas spéciaux, on peut également accélérer à partir d'une vitesse nulle. Le réglage de la vitesse par le décalage des balais et la limitation mécanique des fins de courses supérieure et inférieure s'obtiennent par un appareil de réglage des balais montés sur la carcasse du moteur.

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

2.2.2 Partie mécanique

Les pompes de la série APGV sont de type alternatif avec pistons à simple effet, prévues pour le fonctionnement à haute pression et dont la variation du débit est obtenue par variation de la vitesse de rotation de l'arbre manivelles.

Elles sont construites dans la version à trois pistons longitudinaux en ligne et à six pistons opposés. Pour chaque type de pompe ils sont prévus deux ou plus de types de pistons ayant diamètre différent.

Les pompes de cette série sont actionnées, au moyen de courroies, par un moteur électrique à vitesse variable, ce qui permet de changer le débit de la pompe d'un maximum à un minimum.

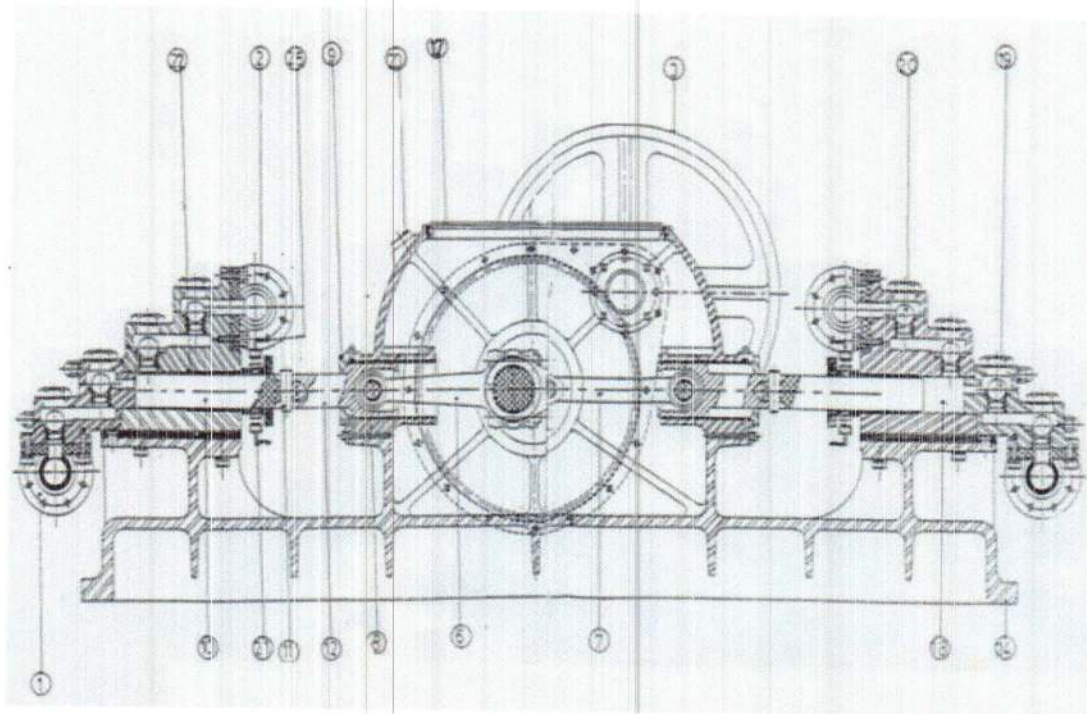


Figure 2.1: Vue de face en coupe de la pompe à haute pression.

Rep	Désignations	Nombre
01	Collecteur d'aspiration	02
02	Collecteur de refoulement	02
03	Poulie de la pompe	01
04	Palier à rouleaux	01
05	Vilebrequin	01
06	Bielle mère	03
07	Bielle fille	03
08	Chemise de la crosse	06
09	Couvercle de la crosse	06
10	Piston	06
11	Clavettes à rainure	06
12	Crosse	06
13	Roue dentée	01
14	Pignon	01

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

15	Support	01
16	Pompe de lubrification	01
17	Couvercle supérieur	01
18	Cylindre	06
19	Clapet d'aspiration	12
20	Clapet de refoulement	12
21	Tube pour décharger l'eau	
22	Joint tenax	01
23	Bouchon-charge et contrôle l'huile	01
24	Sous-bassement	01
25	Collecteur d'eau	06

Tableau 2.1: Nomenclature des organes de la pompe à haute pression.

2.2.2.1 Caractéristiques constructives

2.2.2.1.a Bâti

Il est en fonte à haute résistance, coulé en bloc avec le soubassement, sur lequel ils sont obtenus les plans d'appui des cylindres.

Pour notre pompe à six cylindres, le moteur est placé de côté de la pompe.

2.2.2.1.b Vilebrequin

Il est en acier allié, à très haute résistance qui est à trois manivelles déphasée de 120° et avec deux pivots de base.

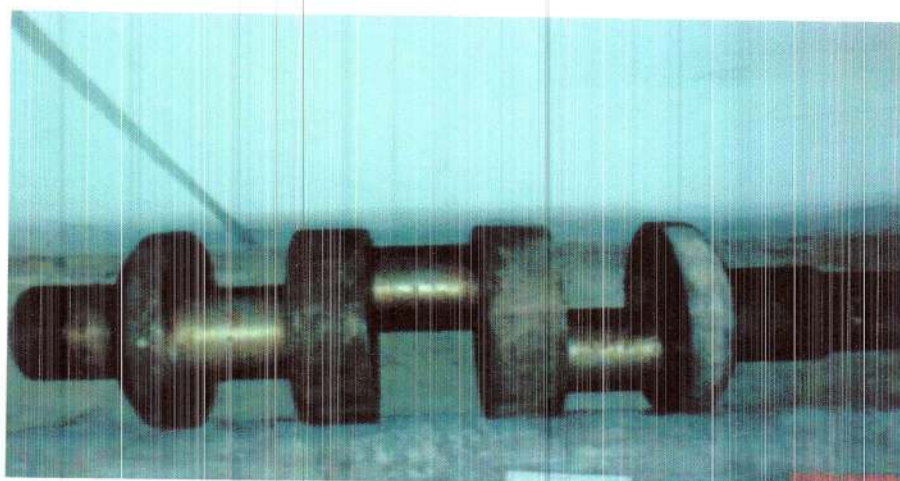


Figure 2.2 : Vilebrequin.

2.2.2.1.c Arbre à manivelles

Il est à trois manivelles, déphasées de 120° et avec deux pivots de banc. Le matériel est en acier allié à très haute résistance. Les pivots de banc et les manivelles ils sont intérieurement

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

Percés pour l'adduction de la graisse aux paliers de bielles. Les deux paliers de banc sont du type à rouleaux oscillants, placés sur des douilles démontables.

Le palier coté engrenage est fixe, tandis que le palier côté opposé a jeu axial.

2.2.2.1.d Engrenages et arbre moteur

L'arbre à manivelles est actionné par un couple pignon-roue dentée. La denture hélicoïdale est en flèche dans la PHP.

L'arbre moteur sur le côté pignon actionne, au moyen de joint d'accouplement, la pompe de lubrification, tandis que sur le côté opposé il porte la poulie-volant.

Les deux paliers de l'arbre moteur sont type à rouleaux oscillants, montés sur des douilles démontables. Dans les pompes ayant engrenages en flèche les deux paliers de l'arbre moteur ont jeu axial.

2.2.2.1.e Bielles

Les bielles, en acier, sont type simple dans les pompes à trois cylindres et type à mère et fille dans les pompes à six cylindres.

Les paliers de la tête de bielle sont type à coquille en acier revêtu de métal antifriction. Les douilles du pied de bielle et de la bielle fille sont en acier revêtu en bronze antifriction.

Les pivots des douilles sont en acier à haute résistance, superficiellement cémentés et rectifiés.



Figure 2.3: Bielles

2.2.2.1.f Crosses

Elles sont en acier, à la surface chromée. Le patin de la crosse glisse dans une chemise en fonte interchangeable. La lubrification du patin est obtenue par un trou exécuté sur la chemise où l'huile arrive de la pompe de lubrification



Figure 2.4: Crosse.

2.2.2.1.g Pistons

Ils sont en acier à la surface chromée. L'assemblage avec le porte-piston de la crosse est obtenu par une clavette conique ayant des surfaces cémentées.

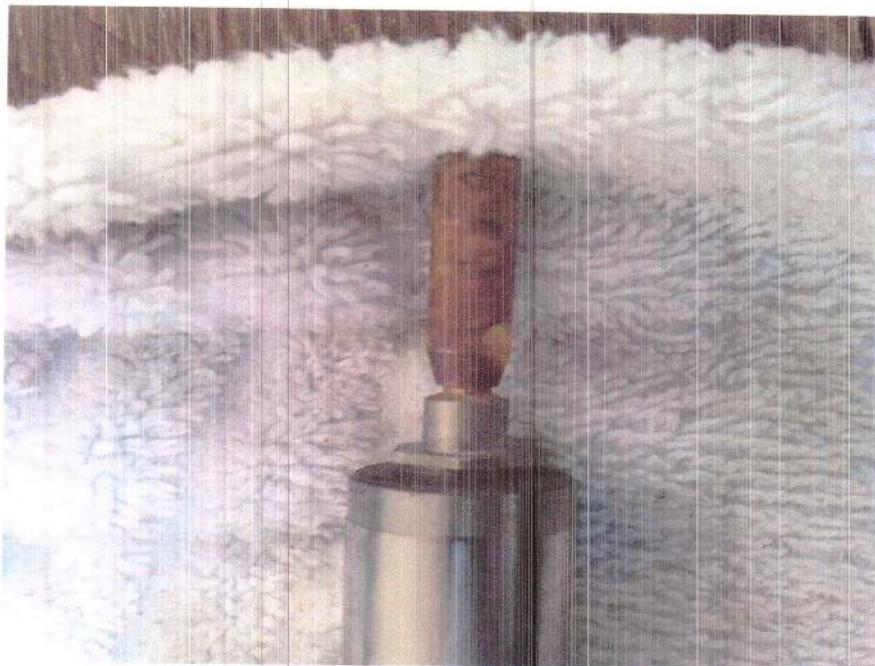


Figure 2.5: Piston

2.2.2.1.i Cylindres et soupapes

Les cylindres sont en fonte sphéroïdale, avec tête démontable. Les cylindres sont pourvus de deux soupapes d'aspiration placées sur la tête et de deux soupapes de refoulement, placées sur le corps du cylindre. Les soupapes type à bille ont le siège en acier avec cône

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

d'étanchéité revêtu en stellite. Sur le cylindre elle est obtenue le siège pour les bagues presse-étoupe et pour la douille de lavage du piston

2.2.2.1.j Collecteurs

Les collecteurs d'aspiration et de refoulement, en acier, sont pourvus de bride d'accouplement sur les deux extrémités.

2.2.2.1.h Poulie-volant

Elle est en fonte, assuré un fonctionnement suffisamment uniforme pour chaque type de pompe.

2.3 Principe de fonctionnement de la pompe a haute pression

Le principe de fonctionnement de la PHP est d'aspirer le slurry (pâte) d'un point donné et de le refouler sous haute pression. La PHP alimentée par une pompe centrifuge de deux (2) bars. Le piston, en reculant vers l'arrière en direction du vilebrequin provoque une baisse de pression dans le cylindre a moins de deux (2) bars, le clapet d'aspiration s'ouvre automatiquement. Au retour de piston à sa place initiale engendre l'augmentation de la pression dans la tuyauterie de refoulement.

Au demeurant, les deux clapets d'aspiration se ferment et les deux clapets de refoulement s'ouvrent suivant l'action du piston, le slurry (pâte) est donc, refoulées vers la conduite sous haute pression

2.4 Transmission du mouvement

Il existe deux types de mouvement rotatif qui sont utilisés dans le mécanisme de notre unité :

- Transmission par poulie courroies.
- Transmission par engrenage.

2.4.1 Transmission par poulie courroies

Le système poulie-courroie permet la transmission d'un mouvement circulaire d'un arbre menant (moteur) à un arbre mené (récepteur) éloignés l'un de l'autre par un entraxe important au niveau d'un lien souple (courroies).

Il y a transmission par adhérence à l'aide d'un lien flexible, un mouvement de rotation continu entre deux arbres parallèles aux perpendiculaires très éloignées. La transmission de la puissance et celle d'un mouvement sont possibles en raison des frottements qui existent entre poulies et courroies

2.4.1.1 Poulie

La poulie est destinée à recevoir une ou plusieurs courroies. Elle porte courroies doit présenter des gorges selon la forme (partie fonctionnelle et le nombre). Cette courroie peut transmettre une force « Tangentielle ». Il existe deux genres de poulie dans une transmission par courroies :

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

- **Poulie motrice** : Montrée sur l'arbre moteur, elle est multi gorges.
- **Poulie réceptrice** : Montrée sur l'arbre récepteur de mouvement, elle est multi gorges.

La poulie comprend les éléments suivants :

- **Le moyeu** : assure la fixation de la poulie sur l'arbre avec liaison par clavetage.
- **La jante** : c'est qui reçoit la courroie.

La poulie à des rebords pour le guidage de la courroie.

Remarque

Il faut éviter un rapport de vitesse trop grand.

- Il faut éviter le glissement des courroies.
- Il est utile de placer le brin mou au-dessus.

Les poulies sont utilisées pour assure :

- La coaxialité de l'arbre poulie.
- Une bonne adhérence entre poulie et courroie.
- Réduire les forces d'inertie.
- Assure leur liaison en rotation.

2.4.1.2 Courroies

Les courroies sont utilisées pour transmettre un mouvement entre deux arbres relativement distincts.

Le choix d'une courroie dépend des paramètres suivants :

- La forme et la matière des poulies.
- La distance entre poulie.
- La résistance à la température d'un milieu ambiant.

Ces dernières présentent certains avantages et inconvénients :

Avantages

- Possibilité de transmettre un mouvement de rotation entre arbres éloignés.
- Fonctionnement silencieux.
- Construction simple.
- Bonne adhérence
- Facile pour démontage et remontage.
- Il tolère un certain désalignement.
- Prix de revient raisonnable.

Inconvénients

- Encombrement important.
- Faible durabilité en cas de fonctionnement en grande vitesses.

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

- Charges radiales généralement élevées sur les arbres et les poulies.
- Rapport de transmission non rigoureux par suite de la déformation de la courroie au passage sur les poulies et du glissement qui en résulte.

Les courroies utilisées dans notre équipement se sont des courroies trapézoïdales. Elles sont réalisées en caoutchouc par des fils de coton de Nylon et d'acier, elle est montée sur des poulies à gorges trapézoïdales. Les courroies trapézoïdales sont les plus utilisées ; à tension égale elles transmettent une puissance plus élevée que les courroies plates (conséquence de la forme V augmentant la pression de contact et par l'effort transmissible).

Si une puissance élevée doit être transmise, on peut utiliser plusieurs courroies en parallèles sur la même poulie.

Le montage nécessite un bon alignement des poulies et réglage de l'entraxe pour le montage et le démontage.

Remarque

Pour obtenir de bons résultats et une bonne transmission, la courroie doit aller suffisamment vite (environ 20 m/s).

Les problèmes apparaissent au-dessus de 25 m/s et en dessous de 5 m/s (schématiquement 4000 tr/min est une bonne vitesse : les problèmes au dessus de 5000 tr/min et au-dessous de 1000 tr/min).

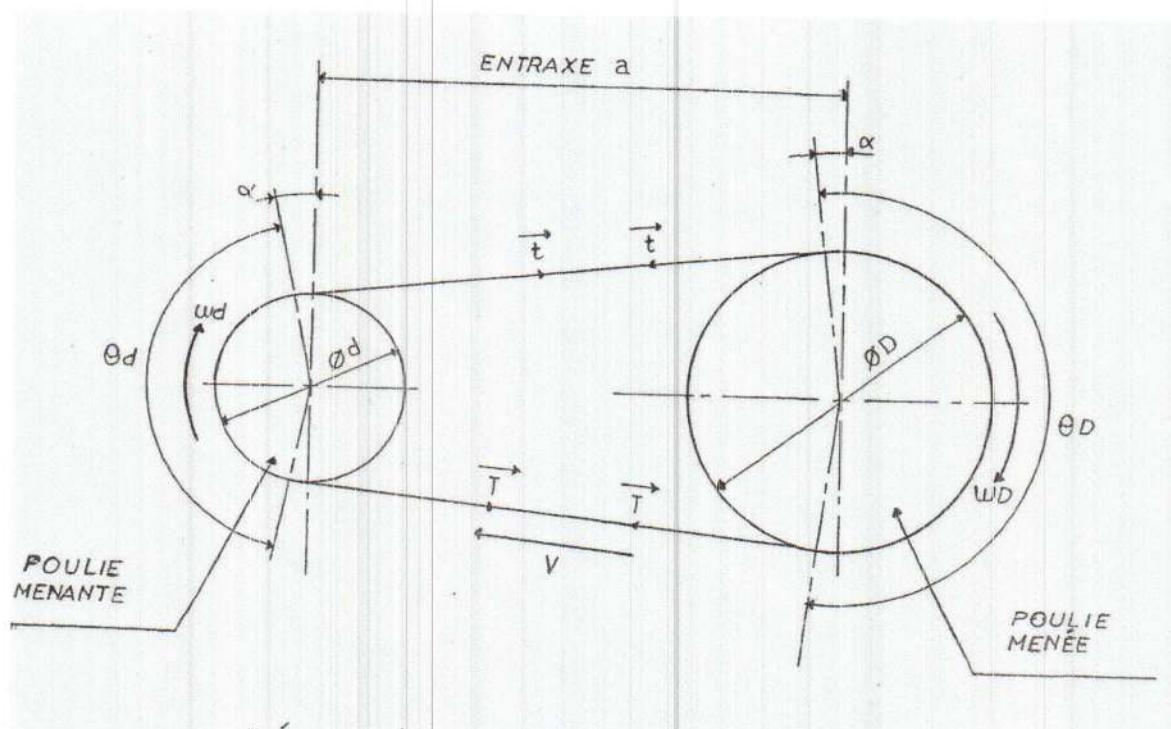


Figure 2.6: Présentation des courroies trapézoïdales.

2.4.2 Engrenage hélicoïdale à dentures cheverons

Pour neutraliser la poussée axiale, on utilise sur chacun des deux arbres deux roues à denture hélicoïdale inversée ou une seule roues à deux dentures symétrique (dites : « à chevrons ») permettent de supprimer les butées.

Ces engrenages sont employés lorsque l'on cherche un fonctionnement silencieux, un très bon rendement ou une transmission sans vibration (pour des vitesses de rotation élevées), pour augmentation du nombre des points de contact avec les roues à chevrons et ils permettent de transmettre des puissances plus grandes que les roues hélicoïdales simples.

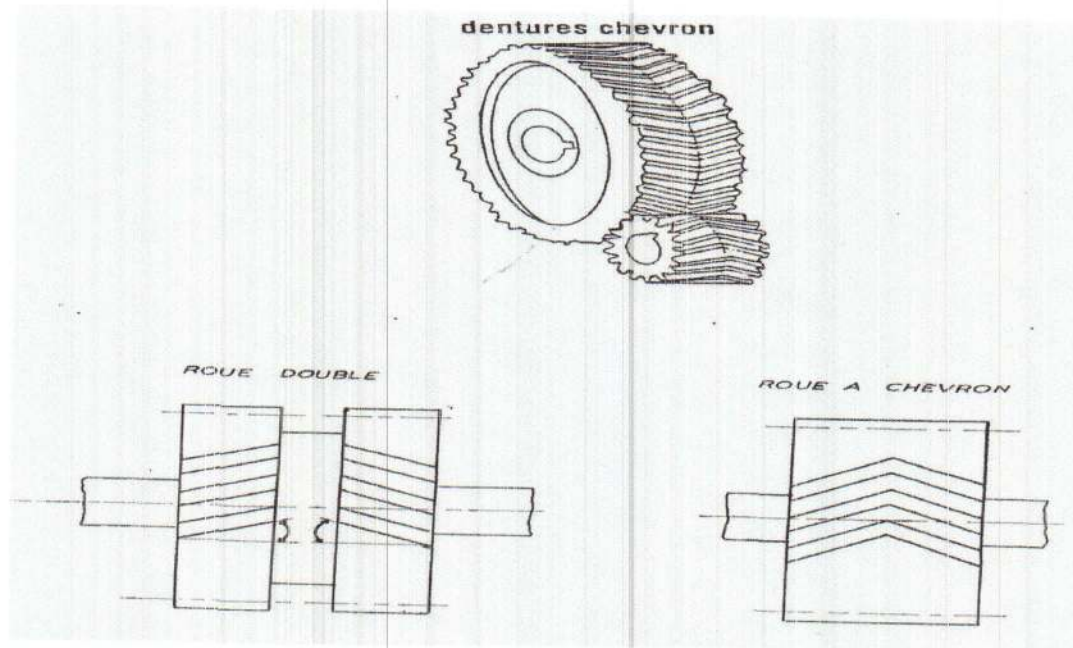


Figure 2.7: Transmission par engrenage.

2.4.3 Paliers

2.4.3.1 Fonction

Le palier est un organe mécanique servant à supporter et à guider un arbre de transmission. Les paliers généralement peuvent supporter les charges axiales et radiales ou bien les charges combinées (axiales et radiales).

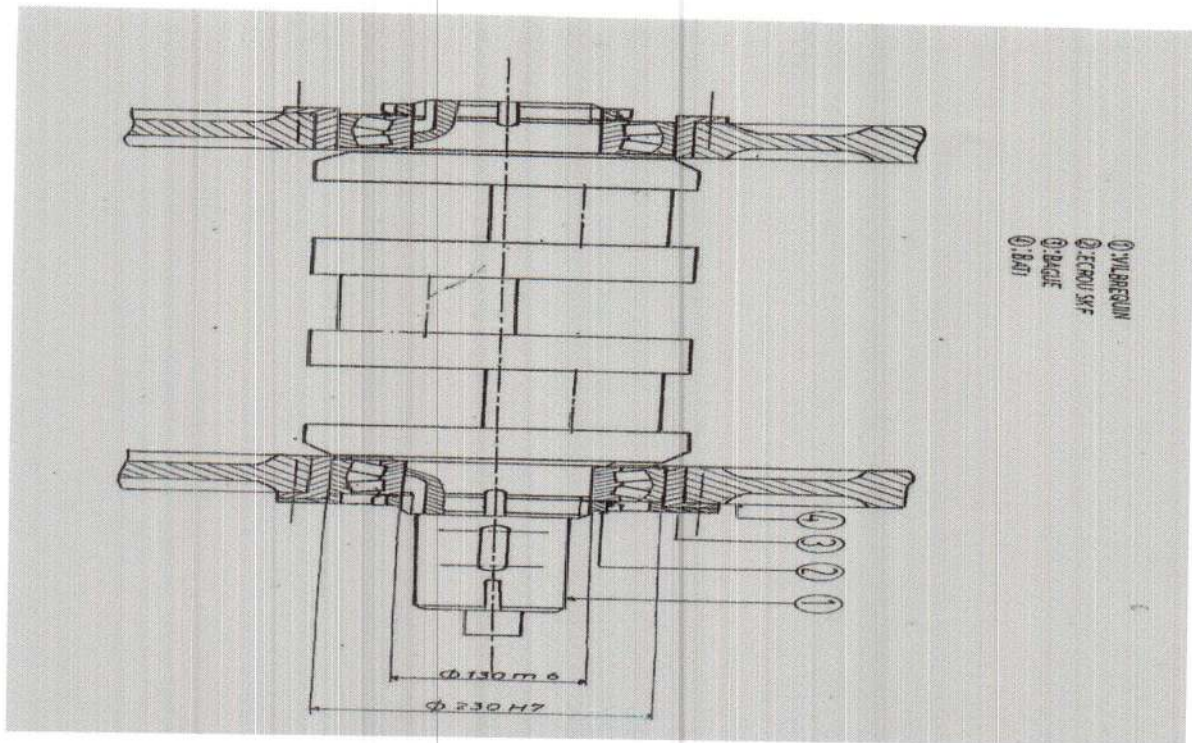


Figure 2.8: Vilebrequin et Palier à roulement.

2.4.3.2 Différents types de paliers

Il existe plusieurs types :

- **Les paliers lisses ordinaires** : Pas ou peut de graissage grâce à l'utilisation des coussinets.
- **Les paliers lisses hydrodynamiques** : Pour lesquels il faut prévoir une arrivée d'huile suffisante, bien placée à la température ambiante.
- **Les paliers hydrostatiques** : qui nécessitent une arrivée d'huile sous pression.
- **Les paliers à gaz** : ou les gaz sert de lubrifiant.
- **Les paliers magnétiques** : qui suppriment en fonctionnement tout contact entre rotor et stator.
- **Les paliers à roulements** : ils remplacent par roulement.

Notre équipement (la pompe à haute pression) contient deux types de paliers :

- **Paliers de glissements** : utiliser pour le guidage en rotation et en translation par des coussinets.
- **Palier à roulements** : utiliser généralement pour le guidage en rotation seul, à l'aide des roulements à billes ou à rouleaux, ou bien des butées quant il y'a un appui axial.



Figure 2.9: Palier à roulements.

2.4.4 Roulements

2.4.4.1 Définition

On appelle roulement un ensemble des pièces insérées entre deux organes mobiles l'un par rapport à l'autre et destinée à remplacer un glissement par roulement, la puissance absorbée par la résistance au glissement.

Un roulement est défini par deux caractéristiques essentielles :

- Type.
- Dimension.

2.4.4.2 Constitution

A l'exception de certaine construction spécial un roulement est constitué par :

- **La bague extérieure** : Qui se positionne dans le logement.
- **La bague intérieure** : Qui s'ajuste sur l'arbre.
- **Les éléments roulants** : Billes ou roulement de formes diverses qui roulent sur les chemins des deux bagues.
- **La cage** : Qui maintient les éléments roulants à intervalles réguliers

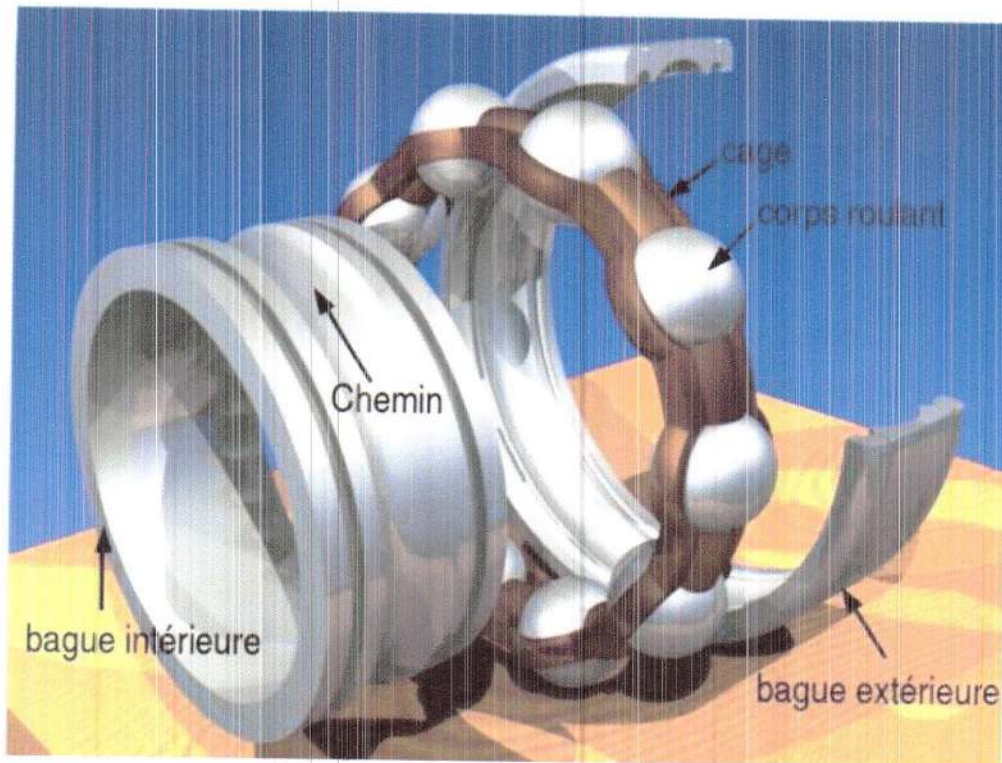


Figure 2.10: Constitution d'un roulement.

2.4.4.3 Différents types de roulements

Il y a plusieurs types des roulements :

- Roulements à billes
- Roulements à rouleaux
- Roulements à rotule sur billes
- Roulements à rotule sur rouleaux



Figure 2.11: Roulement à rotule sur billes



Figure 2.12: Roulements à rotule sur rouleaux

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

Pour les roulements à rotule sur billes Le chemin extérieur est sphérique.

- Ces roulements supportent des charges radiales moyennes et des charges axiales faibles.
- Ils conviennent pour de grandes vitesses de rotation.
- Ils autorisent un léger déversement de la bague intérieur par rapport à la bague extérieur.
- Les roulements dont la désignation comporte le suffixe K ont un alésage conique ceci permet notamment leur montage sur portée conique, sur manchon de serrage sur manchon de démontage. On évite ainsi l'épaule d'appui sur l'arbre

Pour les Roulements à rotule sur rouleaux, ils sont en forme de tonneau (la génératrice est un arc de cercle)

- Ces roulements supportent des charges radiales très importantes et des charges radiales et axiales combinées.
- Le type à bague intérieure avec bague de guide possède des charges de base plus importantes que le type à bague à trois équipements.
- Les vitesses de rotation admissibles sont faibles que celles des roulements à rotule sur deux rangées de billes.
- Ils autorisent un léger déversement de la bague intérieur par rapport à la bague extérieure

2.4.4.4 Choix du type de roulement

Ce choix se fait selon les paramètres suivants :

- L'encombrement.
- La facilité de mise en place et le démontage.
- La précision du guidage.
- La possibilité de jeu axial qu'il assure à l'arbre.
- La charge qu'il peut supporter.
- La possibilité d'alignement de l'arbre.

2.5 Lubrification

La lubrification est une opération qui consiste à protéger toutes les surfaces de travail et favoriser le mouvement et le glissement entre deux surfaces frottantes.

2.5.1 But de lubrification

La lubrification a pour but :

- Diminuer le coefficient de frottement.
- Diminuer l'usure des pièces en contact.

Chapitre 2 : Etude de la pompe HP

- L'évacuation des impuretés (poussières, débris d'usure).
- D'évacuer la chaleur produit du mouvement.
- De protéger les pièces contre la corrosion.
- D'améliorer l'étanchéité dans certaine catégorie de joints.

2.5.2 Lubrification de la PHP

Pour la lubrification des organes mécaniques de la pompe à haute pression, on a utilisé l'huile « FODDA 150 ».

Et en ce concerne les paliers du moteur électrique .on a utilisé le graissage avec le type « TESSELA EP3 ».

2.6 Système de refroidissement

On appelle système de refroidissement l'ensemble des mécanismes et des dispositifs qui maintiennent l'état thermique requis de pièce, l'eau est un liquide de refroidissement le plus répondu, qui évacue bien les calories des pièces chaudes et les transfèrent à l'aire ambiante, cependant sa haute température d'ébullition et sa basse température de congélation, ses propriétés corrosives et la dureté aggravent le fonctionnement d'une pompe refroidie par l'eau.

Chapitre 3

Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.5 Fiabilité

3.5.1 Introduction

La fiabilité est l'une des composantes essentielles de la qualité d'un produit et elle est retenue en tant que critère fondamental pour leur élaboration. Elle est prise en considération dès le stade de la conception.

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

3.5.2 Généralités

La fiabilité est la science des défaillances basée sur l'expérience. Elle est indissociable de la qualité.

Plus une machine est constituée d'un nombre important de composants plus la fiabilité de cette dernière a tendance à diminuer. Lorsque les composants sont trop nombreux ou trop complexes, il arrive fréquemment un moment où la maîtrise de la fiabilité n'est plus possible et l'hypothèse d'une défaillance très probable.

Un ensemble composé de pièces de très haute qualité ne garantit pas nécessairement une grande fiabilité après assemblage (les interactions qui se produisent entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble).

De même, une grande fiabilité sous certaines conditions ne garantit pas forcément une grande fiabilité sous d'autres conditions.

La meilleure connaissance de la fiabilité provient de l'analyse des défaillances lorsque les produits sont en service. C'est le service de maintenance qui est chargé de collecter les données qui permettront d'établir des lois statistiques sur une population importante et sur un temps long.

Remarques : La non-fiabilité d'un produit ou d'un bien augmente les coûts de l'après vente (application des garanties, frais judiciaires, etc...). Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production. Le coût total du produit prendra en compte ces deux tendances.

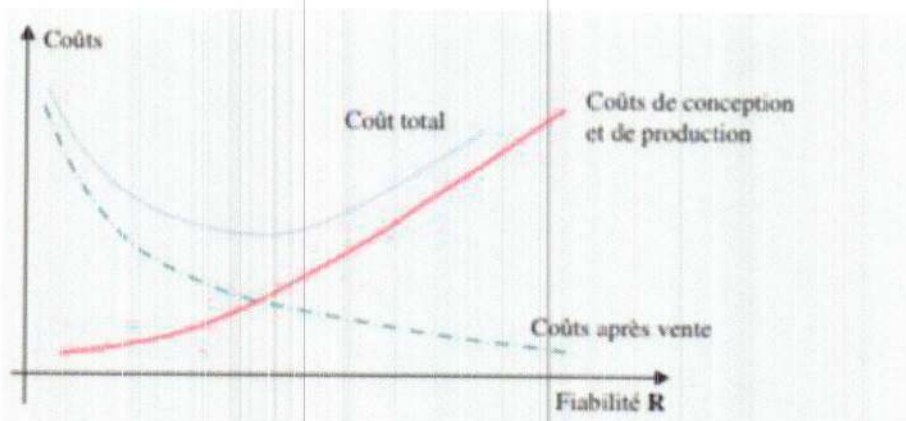


Figure 3.5: Variation du coût en fonction de la fiabilité.

3.5.3 Terminologie de la Sûreté de fonctionnement [13]

La fiabilité est une des composantes de la sûreté de fonctionnement. Elle peut être définie comme "la science des défaillances" [J.V]. La sûreté de fonctionnement « Dependability » est l'ensemble des aptitudes d'un bien qui lui permettent de remplir sa fonction au moment voulu pendant la durée prévue, sans dommage pour lui même et son environnement.

On peut définir quatre grandeurs:

- la **fiabilité** « reliability » qui mesure la continuité de service;
- la **maintenabilité** « maintainability » qui est l'aptitude aux réparations et aux évolutions;
- la **disponibilité** « availability » qui est le fait d'être prêt à l'utilisation ;
- la **sécurité** « safety » qui est l'absence de conséquences catastrophiques pour l'environnement.

La relation entre ces derniers peut être représentée dans la figure au dessous :

Fonctionnement

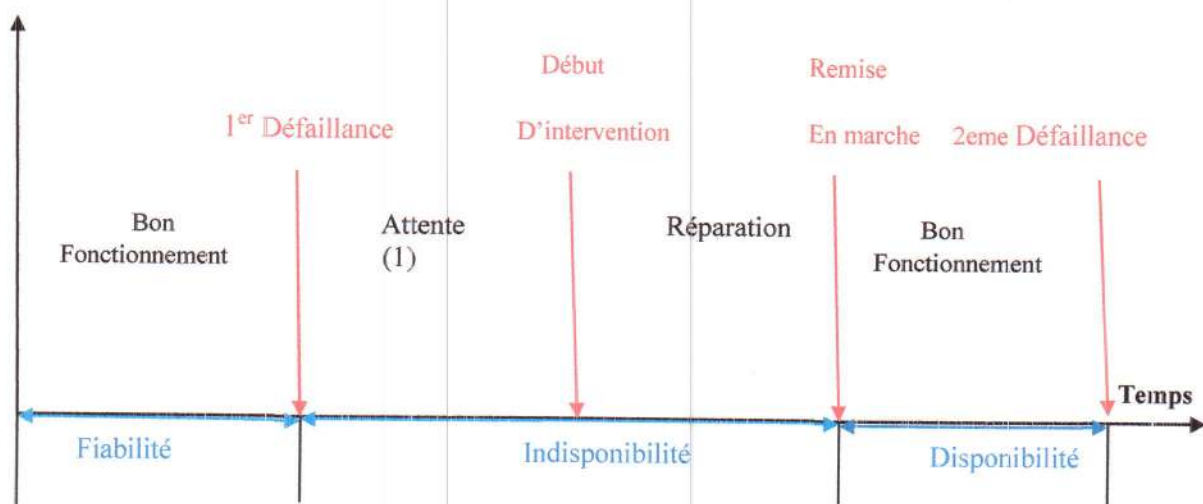


Figure 3.6 : Notions de SDF en fonction du temps.

Avec (1) Temps de détection de la panne, puis temps de réparation de l'intervenant.

Le développement d'un système sûr de fonctionnement repose sur l'utilisation combinée de plusieurs moyens :

- la **prévention des fautes** qui sert à empêcher l'occurrence ou l'introduction de fautes;
- la **tolérance aux fautes** qui sert à fournir un service même en présence de fautes;
- l'**élimination des fautes** qui sert à réduire le nombre et la sévérité des fautes;
- la **prévision des fautes** qui sert à estimer la présence, le taux futur et les conséquences possibles des fautes.

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.5.3.1 Fiabilité

Le terme « Fiabilité », est un néologisme introduit dans les années 60 pour traduire le terme Anglo-Saxon « Reliability » [A.P, M.G]. Selon la Commission Electrotechnique International (C.E.I), la fiabilité est définie comme « l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée ».

L'évaluation ou le calcul de la fiabilité d'un composant ou système peut s'effectuer dans différents stades, allons de la conception (prédire la fiabilité pour répondre à un cahier des charges), passant par la fabrication et terminant par l'exploitation de ce composant ou système.

De manière globale, la fiabilité d'un système est liée à ses caractéristiques intrinsèques, au mode d'utilisation et à son environnement. De cet aspect global, il est possible de définir deux types de fiabilité :

3.5.3.1.a Fiabilité opérationnelle

Elle résulte de l'observation et de l'analyse du comportement d'un certain nombre de dispositifs identiques, en conditions de fonctionnement réelles. En d'autres termes, il s'agit d'un traitement statistique d'un retour d'expérience. La probabilité moyenne issue de ce retour d'expérience n'a de sens qu'en considérant un nombre important de dispositifs. La fiabilité opérationnelle est donc définie par :

$$R(t) = \frac{\text{Nombre moyen d'entités non défaillants à l'instant 't'}}{\text{Nombre total d'entités}}$$

Le système est supposé être sans défaillance à $t = 0$, on parle alors de système "cohérent".

3.5.3.1.b Fiabilité prévisionnelle

Elle estime la fiabilité future d'un système à partir de considérations sur la conception du système et la fiabilité opérationnelle (supposée connue) de ses composants. Cette estimation repose très souvent sur l'évaluation du "taux de défaillance" probable et du "temps moyen de non défaillance".

Mathématiquement la fiabilité nommée $R(t)$ [A.P, M.G] d'un système S est donnée comme suit:

$$R(t) = \text{probabilité (système non de défaillant sur } [0.t])$$

On notera $F(t)$, la fonction définie par $F(t) = 1 - R(t)$; c'est la probabilité complémentaire (ou événement contraire). Donc $F(t)$ est la probabilité de défaillance à l'instant t . Cette fonction est caractérisée par un taux de défaillance $\lambda(t)$ (inverse du temps moyen de bon fonctionnement MTBF) [B.Z].

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.5.3.2 Maintenabilité

La maintenabilité est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donnée $[t_1, t_2]$, [E.C], [W.G] :

$$M(t) = P \{ \text{système est réparé sur l'intervalle } (0, t) \}$$

Cette fonction est caractérisée par un taux de réparation $\mu(t)$, (inverse du temps moyen de réparation MTTR)

3.5.3.3 Disponibilité

La disponibilité est la probabilité pour qu'une entité soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à instant t , en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. On la note $D(t)$ ou $A(t)$. C'est la traduction du nom anglais : Availability [B.Z].

$$D(t) = P \{ \text{système non défaillant à l'instant } t \}$$

Le fonctionnement à l'instant t ne nécessite pas forcément le fonctionnement sur $[0, t]$, pour un système réparable ; c'est là que se situe la différence fondamentale avec la fiabilité.

3.5.3.4 Sécurité

La sécurité est l'aptitude d'une entité à ne pas conduire à des accidents inacceptables. Plus précisément, la sécurité est l'aptitude d'un produit à respecter, pendant toutes les phases de vie, un niveau acceptable de risques d'accident susceptible de causer une agression du personnel ou une dégradation majeure du produit ou de son environnement [14].

3.6 Etude de la fiabilité [15]

Avant d'entamer l'étude et l'évaluation de la fiabilité, il est nécessaire de rappeler quelques définitions, tels que taux de défaillance, MTBF et MTTF...etc.

3.6.1 Défaut

Un défaut est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications requises.

3.6.2 Défaillance

D'après la norme AFNOR 60010X : une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques [AFNOR].

3.6.3 Panne

Une panne est l'incapacité d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

fonction, le dispositif sera déclaré en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance.

Les pannes sont classifiées d'une façon similaire aux défaillances. Cependant il existe une classification particulière aux pannes : panne intermittente et panne fugitive.

3.6.4 Taux de défaillance $\lambda(t)$

Le taux de défaillance d'un composant est une fonction du temps. Il donne une fréquence d'occurrence instantanée de défaillance pour un intervalle de temps très court.

Cette fréquence d'occurrence instantanée augmente généralement avec le temps [Y.B].

La probabilité pour qu'un système défaille à un instant donné t peut être représentée par la loi exponentielle. Le taux de défaillance de chaque composant est représenté par une constante strictement positive $\lambda(t) = \lambda$ pour tout $t > 0$:

$$R(t) = 1 - e^{-\lambda(t)}$$

3.6.5 Taux de réparation $\mu(t)$

Le taux de réparation s'obtient par la relation suivante :

$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR}$$

Le taux de réparation indique l'aptitude d'un bien à être dépanné et/ou réparé. Dans le cas où il est constant la fonction de maintenabilité est :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t)}$$

3.6.6 MTBF (Mean Time between Failures)

Représente le temps moyen de bon fonctionnement, il est calculé en inversant le taux de défaillance λ :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Il est aussi appelé « indicateur de fiabilité », puisque il donne l'image de la qualité du comportement des systèmes

3.6.7 MTTF (Mean Time to Failure)

C'est le temps moyen de fonctionnement jusqu'à l'occurrence de la première défaillance :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

3.6.8 MUT (Mean Up Time)

Il mesure la moyenne des temps de bon fonctionnement après réparation. On note que :

$$MTBF = MTTR + MUT$$

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

D'après cette relation on peut déterminer la disponibilité qu'est égale, à :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\mu + \lambda}{\mu}$$

3.6.9 MTTR (Mean Time to Repair)

Il mesure le temps moyen de réparation. Il est donné par :

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)] dt = \frac{1}{\mu}$$

3.7 Courbe en baignoire

Lorsque l'on dispose d'un nombre important de composants ou d'équipements identiques, on peut faire des relevés de la durée de vie moyenne de ces composants.

Au début de la vie du composant, on constate une mortalité assez élevée, le taux de mortalité décroît assez rapidement lorsque le composant a franchi avec succès les dangers de sa jeune vie.

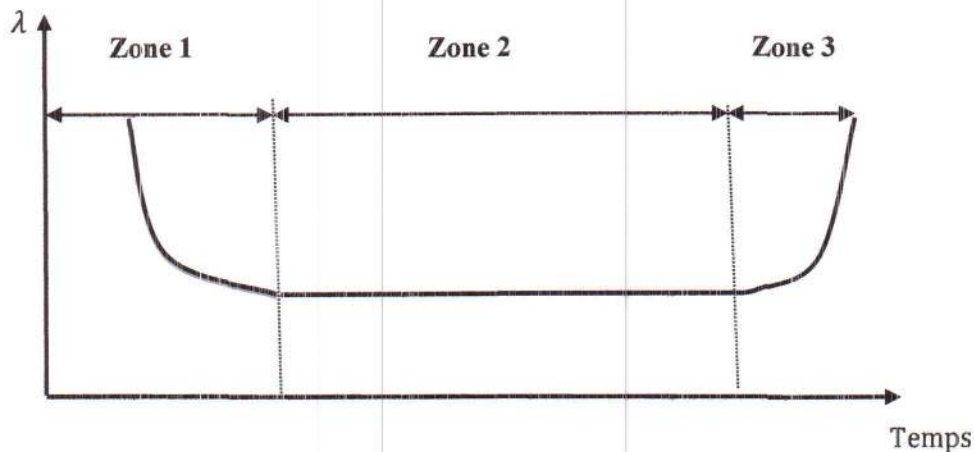


Figure 3.7 : Tracé de la courbe en baignoire.

Dans différents domaines, cette "loi" est assez générale. Si on reporte le taux de mortalité en fonction de l'âge du composant, on obtient une courbe en baignoire. Cette courbe exprime l'évolution du taux de défaillance tout au long de la durée de vie d'un composant ou système, elle est composée de trois zones :

Zone 1 : Période de défaillance précoce

C'est la période au début de la vie d'un dispositif commençant à un instant donné et pendant laquelle le taux de défaillance décroît rapidement en comparaison du taux de défaillance de la période suivante. En pratique, cela correspond au « déverminage » pour les systèmes électroniques, les défaillances qui apparaissent dans cette période sont appelées des défaillances précoces ou de jeunesse.

Zone 2 : Période de défaillance à taux constant

C'est la période éventuelle de la vie d'un dispositif pendant laquelle les défaillances apparaissent avec un taux sensiblement constant. En électronique, elle est appelée durée de vie utile. Les défaillances apparaissent sur cette période de façon aléatoire. Les défaillances qui apparaissent, dans cette période, sont appelées des défaillances à taux constant.

Zone 3 : Période de défaillance d'usure

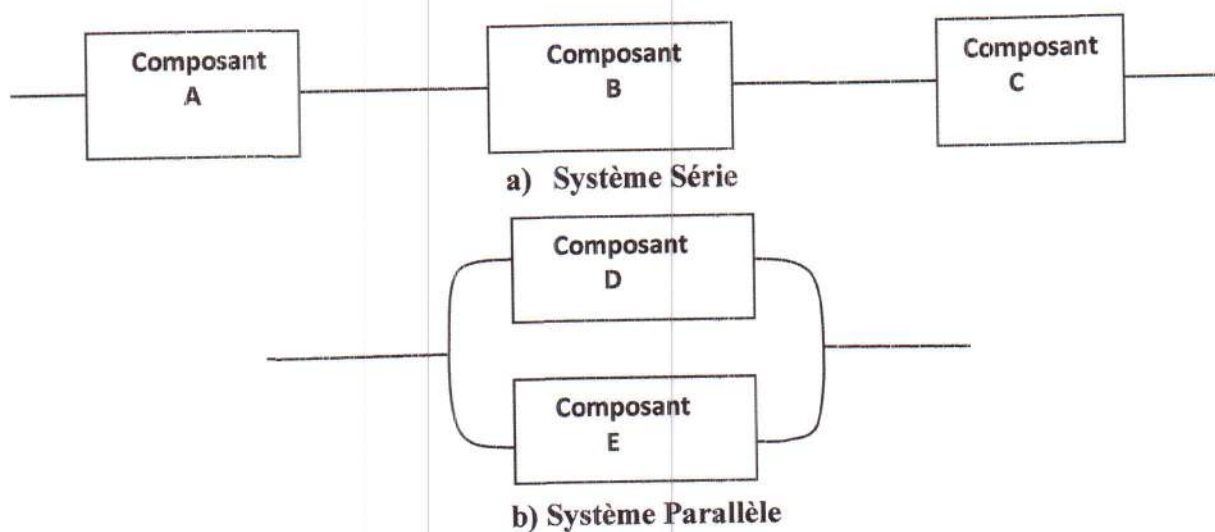
C'est la période éventuelle de la vie d'un dispositif pendant laquelle le taux de défaillance augmente rapidement en comparaison de la période précédente. Les défaillances qui apparaissent dans cette période sont appelées des défaillances par usure et sont liées aux modes de vieillissement des matériaux et de dégradation des dispositifs.

3.8 Méthodes d'évaluation de la fiabilité

Dans la littérature, il existe plusieurs techniques pour évaluer la fiabilité des systèmes, les techniques les plus utilisées sont:

3.8.1 Bloc-diagramme de Fiabilité (BDF)

Un BDF est un graphe orienté (N, E), dont chaque sommet de N est un bloc représentant un composant du système et chaque arc de E est un lien de causalité (dépendance) entre deux blocs. Dans tout BDF, deux blocs particuliers sont identifiés: ceux sont sa source S et sa destination D. Un BDF représente un système et il est utilisé pour calculer la fiabilité : un BDF est opérationnel si et seulement si, il existe au moins un chemin opérationnel de S à D. Un chemin est opérationnel si et seulement si, tous les blocs de ce chemin sont opérationnels. La probabilité qu'un bloc soit opérationnel est sa fiabilité. Par construction, la probabilité qu'un BDF soit opérationnel est donc égale à la fiabilité du système qu'il représente. Quand le BDF est construit, on distingue trois types de système : série, parallèle ou série parallèle (Mixte).



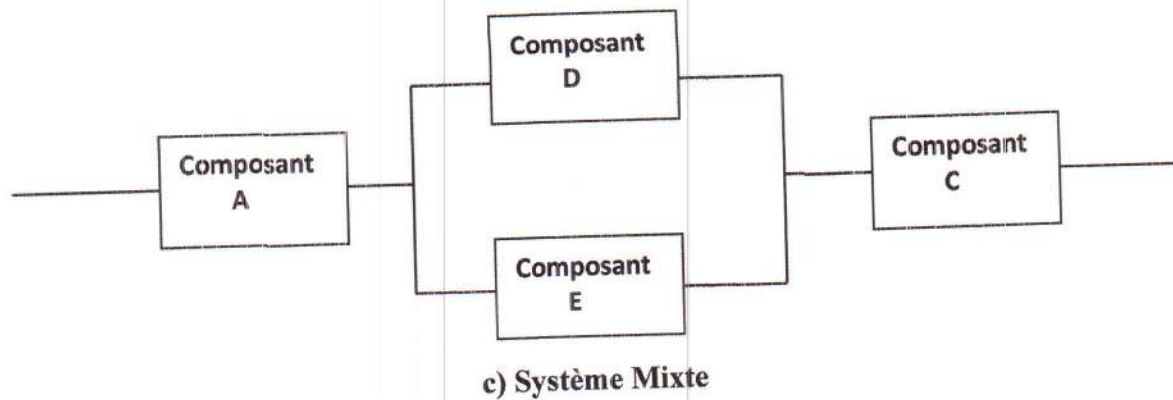


Figure 3.8 : BDF Générique ; a) système série, b) système parallèle et c) système mixte

3.9 Différentes lois utilisées dans le calcul de la fiabilité

Dans cette partie on présente les principales lois de probabilité utilisées pour le calcul de la fiabilité d'un système.

3.9.1 Loi de Poisson

La probabilité qu'une panne survienne n fois dans le temps t est donnée par :

$$P(n, t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}$$

3.9.2 Loi binomiale

Soit une défaillance D avec sa probabilité de survenir P , la probabilité d'apparaître k défaillances en N essais est :

$$P(X = K) = C_n^k p^k (1 - p)^{n-k}$$

3.9.3 Loi de Weibull

C'est un modèle particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances [B.Z], Weibull a donné le taux d'avarie $Z(t)$ une formule générale dépendant des trois paramètres : β, η et γ . La densité de probabilité pour la distribution de Weibull est :

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

Où :

- β : est le paramètre de forme ($\beta > 0$)
- η : est le paramètre d'échelle ($\eta > 0$)
- γ : est le paramètre de position ($\gamma \geq 0$)

La probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t :

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

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

La fonction de fiabilité est :

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

F est la fonction de répartition de la variable aléatoire T.

- En anglais fiabilité est traduit par reliability.

Le taux de défaillance est :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Pour $t > \gamma$ β, γ, η sont des constantes avec $\beta > 0; \eta > 0$;

γ est le paramètre de repérage qui fixe l'instant à partir duquel on étudie la fiabilité.

Si $\gamma = 0$: on étudie la fiabilité dès la première utilisation de la machine.

Si $\gamma > 0$: on étudie la fiabilité un certain temps après la première utilisation de l'appareil.

Et le MTBF :

$$MTBF = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\eta + \gamma$$

MTBF : Soit T la variable aléatoire qui, à chaque matériel, associe son temps de bon fonctionnement.

La **MTBF** (Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement) est l'espérance mathématique de T ;
 $E(t) = MTBF$.

Pour la fonction de R(t) on distingue trois allures de graphe :

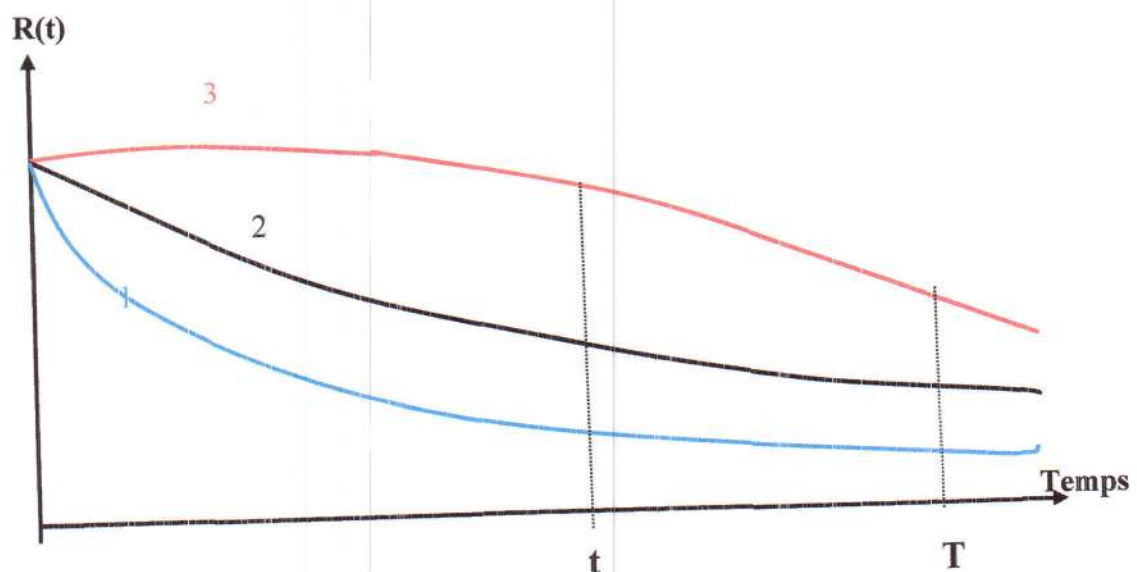


Figure 3.9 : Différentes formes de R(t).

Courbe 1 : Signifie la présence de défauts de jeunesse ($\beta < 1$)

Courbe 2 : l'équipement n'est pas encore sujet de vieillissement ($\beta = 1$)

Courbe 3 : Signifie la présence du phénomène d'usure ($\beta > 1$)

3.10 Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés en série

$R(t)$ représente la fiabilité d'un ensemble de " n " composants montés en série.
La fiabilité $R(s)$ d'un ensemble de " n " composants A, B, C, ..., n montés ou connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives $R_A, R_B, R_C, \dots, R_n$ de chacun des composants.

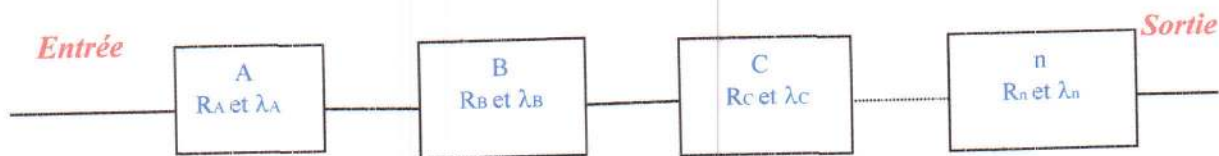


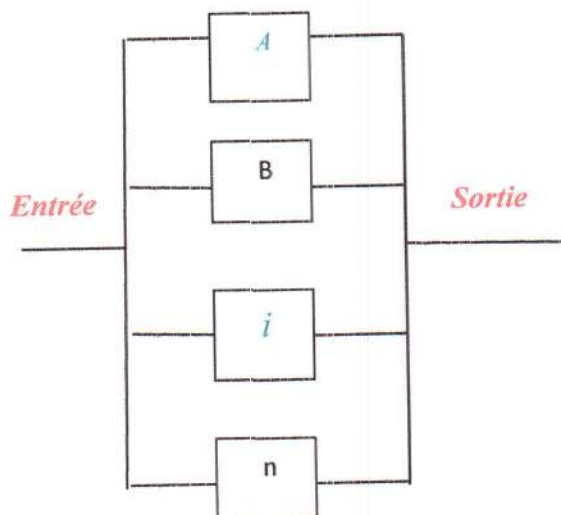
Figure 3.10 : Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés en série.

On a donc : $R(s) = R_A \times R_B \times R_C \dots \times R_n$.

3.11 Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés en parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant des composants (identiques ou non) en parallèle. Un dispositif, constitué de " n " composants en parallèle, ne peut tomber en panne que si les " n " composants tombent tous en panne au même moment.

Soit les " n " composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i , alors :



$$R_i = 1 - F_i$$

F_i : Probabilité de panne associée.

$$\begin{aligned} F(s) &= F_A \times F_B \times F_i \dots \times F_n \\ &= (1 - R_A) \times (1 - R_B) \times (1 - R_i) \\ &\quad \times \dots (1 - R_n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(s) &= 1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B) \\ &\quad \times (1 - R_i) \times \dots (1 - R_n) \end{aligned}$$

Figure 3.11 : Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés en parallèle.

3.1 Définition

Selon la définition de l'AFNOR, la maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé. La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc....

3.2 Concepts de la maintenance

Il existe deux concepts de maintenance à savoir :

- La maintenance préventive.
- La maintenance curative.

3.2.1 Maintenance préventive

3.2.1.1 Définition

La maintenance préventive est celle qui est exécutée à des intervalles de temps prédéfinis ou selon des critères prescrits ; visant à réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un équipement ceci dans le but de maintenir celui-ci dans un état capable de remplir la fonction pour laquelle il a été conçu. [3]

On peut subdiviser la maintenance préventive en trois types :

- **Maintenance systématique**

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

- **Maintenance conditionnelle**

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

- **Maintenance prévisionnelle**

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. NF EN 13306 X 60-319).

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.2.1.2 Quelques opérations de la maintenance préventive

- **Les inspections**

Ce sont les contrôles de conformité réalisés en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un équipement.

- **Les visites**

C'est une opération de surveillance qui s'effectue à des intervalles de temps prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

- **Les contrôles**

Ce sont les vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement

3.2.2 Maintenance corrective

3.2.2.1 Définition

La maintenance curative est celle pratiquée à la suite d'une panne, d'une défaillance constatée sur un équipement ; ceci dans le but de rétablir l'équipement dans un état capable d'accomplir sa fonction requise.

La maintenance curative regroupe deux types de maintenance à savoir :

- **La maintenance curative corrective.**

La maintenance curative corrective permet de rétablir un matériel ou une entité dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

- **La maintenance curative palliative**

La maintenance curative palliative désigne un dépannage qui permet au bien de refonctionner en attendant une intervention curative [4].

3.2.2.2 Quelques opérations de la maintenance curative

On distingue deux types d'intervention :

- **La réparation**

C'est une remise en état parfaite et même garantie de l'équipement ; elle peut être effectuée à la suite d'un dépannage ou immédiatement après constat d'une panne ou d'une défaillance (maintenance curative corrective).

- **Le dépannage**

C'est l'action physique exécutée pour permettre à un équipement ou une machine en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit faite (maintenance curative palliative). Elle s'applique aux équipements fonctionnant en continu donc les impératives de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

Exemple

Remplacer un pneu crevé par une roue de secours ressortit de la maintenance palliative ; mettre un nouveau pneu sur la jante d'origine relève de la maintenance curative.

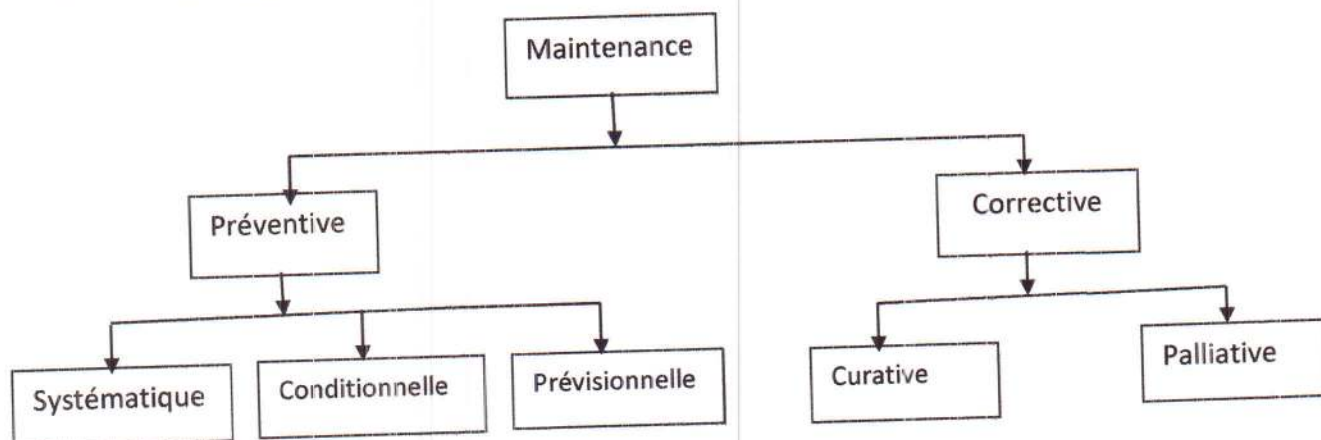


Figure 3.1: Concepts de la maintenance.

3.3 Outils d'analyse de la maintenance [5]

L'analyse des défaillances peut s'effectuer :

- Soit de manière quantitative puis qualitative en exploitant l'historique de l'équipement et les données qualitatives du diagnostic et de l'expertise des défaillances
- Soit de manière prévisionnelle en phase de conception ou a posteriori, après retour d'expérience.

Tout le problème pour l'homme de maintenance est de savoir quelles défaillances traiter en priorité, certaines n'ayant que peu d'importance en termes d'effets et de coûts. L'exploitation de l'historique va permettre d'effectuer ce choix. Or, certains diront qu'ils n'ont pas le temps d'exploiter l'historique des machines, qu'ils ont autres choses à faire (du correctif certainement !..). Le refus d'exploiter les historiques montre une totale méconnaissance des méthodes de gestion de la maintenance, et donc une totale désorganisation du service Maintenance.

Il est clair que le choix des types de défaillance est important : une défaillance intrinsèque (propre au matériel) n'a rien à voir avec une défaillance extrinsèque (liée à l'environnement), et en tout état de cause, ne peut s'analyser de la même manière, même si on apporte par la suite un correctif. L'analyse quantitative d'un historique sera traitée dans le paragraphe 1 ; on dispose pour cela d'un outil très important : l'analyse de Pareto. Nous allons en expliquer le principe et voir son application. L'analyse qualitative des défaillances sera vue ensuite. Elle débouchera naturellement sur une aide au diagnostic. Si diagnostiquer une défaillance fait partie du travail quotidien de l'homme de maintenance, la prévoir, afin qu'elle n'arrive pas, est encore mieux. C'est le but de l'analyse prévisionnelle des défaillances.

3.3.1 Analyse quantitative des défaillances

L'analyse quantitative d'un historique va permettre de dégager des actions d'amélioration, donc d'identifier les défaillances à approfondir afin de les corriger et les prévenir. Analyser quantitativement les résultats des diagnostics constitue ainsi un axe de progrès. Les données chiffrées à saisir doivent être les suivantes :

- Dates des interventions correctives (jours, heures) et nombre N de défaillances ; ces éléments permettront de calculer les périodes de bon fonctionnement ($UT = \text{Up Time}$), les intervalles de temps entre deux défaillances consécutives ($TBF = \text{Time Between Failures}$) et leur moyenne ($MTBF$) ; ces données permettront de caractériser la fiabilité des équipements ;
- Temps d'arrêt de production ($DT = \text{Down Time}$) consécutifs à des défaillances, y compris ceux des « micro-défaillances » ; tous les événements sont systématiquement consignés, même les plus anodins ; il est toujours plus simple de se rappeler d'une grosse panne que d'une micro-défaillance répétitive qui engendrera à terme une défaillance grave ; l'expérience montre que son oubli fausse complètement une étude de fiabilité ultérieure. Il est prouvé aussi que les micro-défaillances, qui appartiennent à la routine, donc qu'on oublie facilement, sont génératrices de perte de disponibilité, donc de productivité moindre et bien sûr de non qualité ; ces données permettront donc de caractériser la disponibilité des équipements ;
- Durées d'intervention maintenance ($TTR = \text{Time To Repair}$) et leur moyenne ($MTTR$) ; ces données permettront de caractériser la maintenabilité des équipements.

3.3.2 Arbre de défaillances

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne

• Symbolisme

Cet outil utilise un symbolisme qu'on utilise également sur les circuits logiques. On parle aussi de logigramme de dépannage. Ce symbolisme est donné à la figure

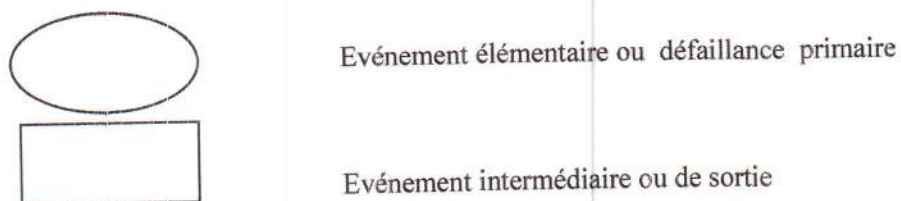


Figure 3.2: Symbolisme de l'arbre de défaillances.

3.3.3 Diagramme causes-effets (Ishikawa)

3.3.3.1 Définition

Il s'agit d'une représentation arborescente des liaisons significatives entre un résultat, l'effet, et les multiples causes susceptibles d'en être à l'origine.

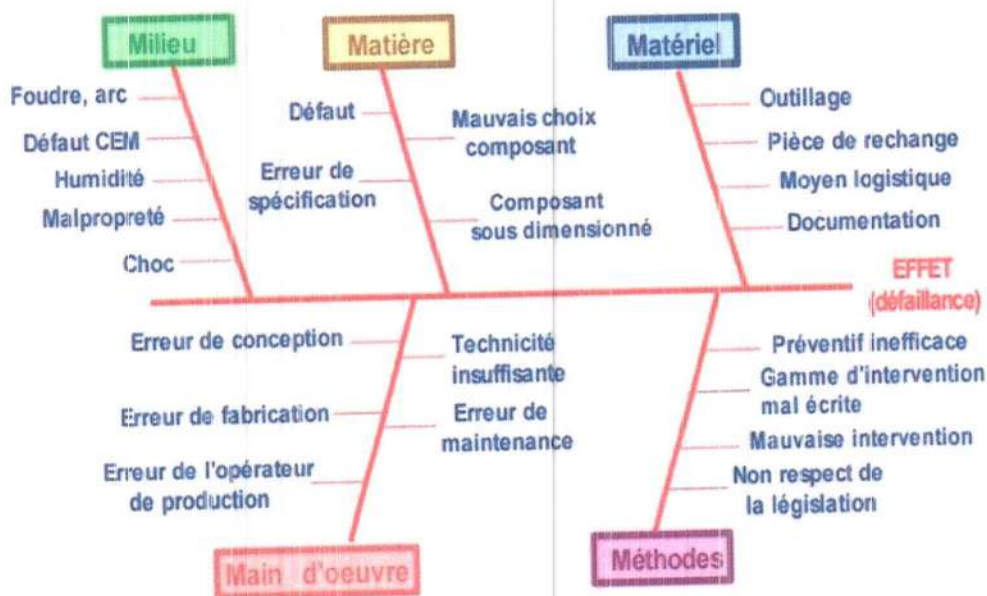


Figure 3.3: Schéma descriptif du diagramme CAUSES-EFFETS.

Le diagramme Causes-Effet est donc l'image des causes identifiées d'un dysfonctionnement potentiel pouvant survenir sur un système. Il se veut le plus exhaustif possible en représentant toutes les causes qui peuvent avoir une influence sur la sûreté de fonctionnement. Les 5 grandes familles ou 5 facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires ; Les différents facteurs doivent être hiérarchisés.

3.3.3.2 Intérêt de la méthode

L'intérêt de ce diagramme est son caractère exhaustif. Il peut aussi bien s'appliquer à des systèmes existants (évaluation) qu'à des systèmes en cours d'élaboration (validation). On pourra adjoindre au diagramme précédent des facteurs secondaires et tertiaires qui compléteront les facteurs primaires : On peut adapter cet outil à l'aide au diagnostic de la manière suivante :

- Définition de l'effet étudié en regroupant le maximum de données.
- Recensement de toutes les causes possibles ; le brainstorming¹ est un outil efficace pour cette phase de recherche.
- Classement typologique des causes.
- Hiérarchisation des causes dans chaque famille par ordre d'importance.

3.3.4 Q-Q-O-Q-C-P

3.3.4.1 Définition

Quoi ? Qui ? Où ? Quand ? Comment ? et à chaque fois Pourquoi ?

Qu'il s'agisse d'analyser une défaillance, d'organiser un poste de travail, la logistique des flux, la conduite d'une réunion, une procédure administrative, ... l'emploi rigoureux de cette démarche contribue incontestablement à mettre en œuvre les conditions optimales de performance. Simplicité et rigueur sont des conditions essentielles à la réussite.

- Quoi ? Pourquoi ?
- Qui ? Pourquoi ?
- Où ? Pourquoi ?
- Quand ? Pourquoi ?
- Comment ? Pourquoi ?

3.3.4.2 Intérêt de la méthode

Les "5 pourquoi" postulent que la répétition de la question permet l'analyse exhaustive d'une situation jusqu'à conduire aux meilleurs choix de solutions. La question est posée jusqu'à ce que la réponse ne permette plus de relancer la recherche des causes.

3.3.5 Diagramme de Pareto (méthode ABC)

3.3.5.1 Définition

La méthode ABC permet de dégager l'important d'une masse d'informations, de faire apparaître objectivement ce qui est confusément perçu. Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet donc de distinguer de façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins et ceci sous la forme d'une représentation graphique. Cette règle de répartition a été définie par Wilfred PARETO (socio-économiste italien, 1848-1923) on l'appelle aussi la règle des 80-20.

3.3.5.2 Intérêt de la méthode

Elle permet de ne pas se laisser influencer par des travaux certes utiles, mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

Les 2 règles d'or de Pareto :

- "Ne pas utiliser un éléphant pour écraser une mouche."
- "Ne pas utiliser une petite cuillère là où une louche est nécessaire."

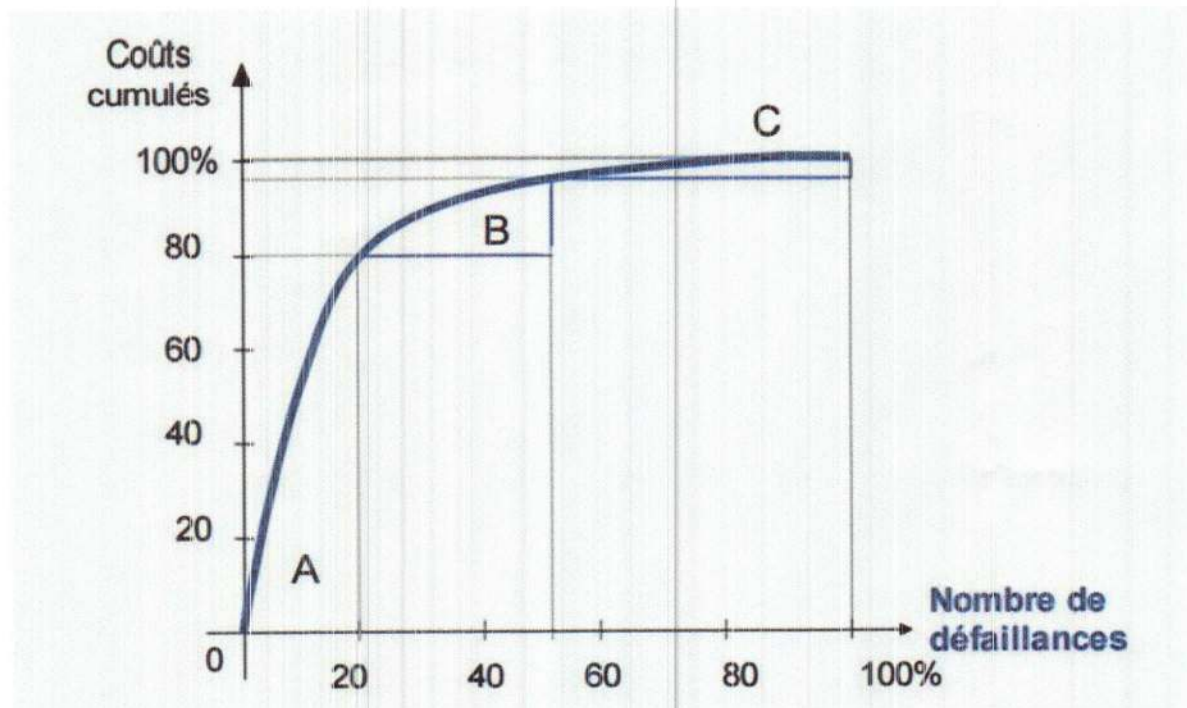


Figure 3.4: Diagramme de PARETO ou courbe ABC.

3.3.6 AMDEC

3.3.6.1 Introduction

Que l'on soit créateur ou exploitant d'une machine, l'on s'interroge sur sa fiabilité. Quelles sont les problèmes auxquels on doit s'attendre de la part de cette machine ? La réponse à cette question passe par la mise en œuvre de méthodes de maintenance. L'une de ces méthodes – l'AMDEC – est parfaitement justifiée lorsqu'aucun historique concernant l'installation n'est disponible (en particulier pour les machines neuves ou de conception récente). Il faut alors pouvoir prédire les pannes susceptibles d'affecter le fonctionnement de la machine.

3.3.6.2 Définition

L'AMDEC est une méthode Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. Cette méthode consiste à identifier les risques de mauvais fonctionnement d'une machine puis à en chercher les effets et les conséquences. Elle fait ressortir les points faibles d'un équipement et permet de poser des actions correctives justifiées. On peut aussi voir quels sont les équipements critiques de notre parc sur lesquelles on doit s'attarder de faire une bonne maintenance. [6]

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.3.7 Défaillance

3.3.7.1 Définition

C'est une cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état. [7]

3.3.7.2 Modes de défaillance

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner.

Il est relatif à la fonction de chaque élément.

Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

- Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser,
- Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,
- Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances,
- Fonction intempestive : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	-composant défectueux - circuit coupé ou bouché	- rupture - blocage, grippage
Pas de fonction	- composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	-dérive des caractéristiques	-mauvaise étanchéité - usure	-désolidarisation - jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

Tableau 3.1: Modes de défaillances

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

3.3.7.3 Causes de défaillance

Il existe 4 types de causes amenant le mode de défaillance :

- Causes internes au matériel,
- Causes externes au matériel : matériel en amont,
- Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation,
- Causes externes dues à la main d'œuvre [8].

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	-vieillessement - composant HS (mort subite)	- vieillissement - composant HS (mort subite) - colmatage - fuites	-contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
Causes externes milieu exploitation	- pollution (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites -perturbations électromagnétiques,	-température ambiante -pollution (poussières, huile, eau) - vibrations -échauffement local -chocs, coups de bélier	-température ambiante -pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs
Causes externes Main d'œuvre	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation -manque d'énergie	- conception - fabrication (pour les composants fabriqués) -montage -utilisation. - réglages - contrôle - mise en œuvre

Tableau 3.2: Causes de défaillances.

3.4 Types de l'AMDEC [9]

Il existe plusieurs types d'AMDEC dont les trois suivantes :

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

- **L'AMDEC PRODUIT** : Analyse de la conception d'un produit pour améliorer la qualité et la fiabilité prévisionnelle.

Les solutions technologiques doivent correspondre au cahier des charges. Cet A.M.D.E.C. est rédigé sous la responsabilité du bureau d'études. Les conséquences des défaillances sont visibles par le client.

- **L'AMDEC PROCESSUS** : Analyse des opérations de production pour améliorer la qualité de production, par voie de conséquence la qualité du produit ou du service rendu.

Cet A.M.D.E.C. est rédigé sous la responsabilité du bureau des méthodes de fabrication. Les conséquences des défaillances peuvent être visibles par le client.

- **L'AMDEC MOYEN** : Analyse de fonctionnement du moyen pour améliorer la disponibilité (fiabilité et maintenabilité) et la sécurité. A ce stade est pris en compte la fiabilité opérationnelle (issue des historiques).

Cet A.M.D.E.C. est rédigé sous la responsabilité du service de maintenance. Les conséquences des défaillances ne sont visibles que par la production.

3.4.1 Avantages de l'AMDEC

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.
- Elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- En phase de conception, elle est associée à l'Analyse Fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.
- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets ; elle contribue donc à la construction et à l'amélioration de la qualité [10].

3.4.2 Apports et limites de l'AMDEC [11]

3.4.2.1 Apports

3.4.2.10.a Les apports indirects

- Augmentation du rendement.
- Centralisation de la documentation technique.
- Mise en place de fiches de suivi des visites de l'exploitant.

3.4.2.1.b Impact sur la maintenance

- Optimisation des couples Causes/Conséquences.

- Amélioration de la surveillance et des tests.
- Optimisation de la maintenance

3.4.2.1.c Impact sur la qualité

- Meilleure adéquation matérielle/fonctionnelle.
- Meilleure efficacité en développement/fabrication.
- Meilleure efficacité en utilisation.

3.4.2.2 Limites de la méthode AMDEC

Bien que d'un usage généralisé, il serait inexact de prétendre que l'AMDEC est un outil universel. En fait l'AMDEC présente quelques limitations :

- Elle est tributaire d'une bonne analyse fonctionnelle ;
- Elle impose des travaux et une méthodologie demandant une préparation, une rigueur et parfois des moyens importants pour l'entreprise.
- Même si sa vocation est le traitement préventif des défaillances, elle doit s'appuyer sur un savoir-faire existant dans l'entreprise et à partir duquel le groupe de travail peut extrapoler ses recherches.

3.4.2.3 Quelques erreurs à éviter

- Animateur du groupe de travail non compétent.
- Groupe de travail trop important.
- Se focaliser sur une défaillance externe à l'étude (sujet mal défini).
- Confondre AMDEC Moyen de production avec AMDEC Procédé.
- Oublier le client.

3.4.3 Méthodologie de l'AMDEC [12]

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe : Chacun y met en commun son expérience et sa compétence. Mais, pour la réussir, il faut bien connaître le fonctionnement du système qui est analysé où avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent. Elle comporte cinq étapes :

- Etape 1 : préparer l'étude.
- Etape 2 : réaliser l'analyse fonctionnelle.
- Etape 3 : réaliser l'analyse qualitative des défaillances.
- Etape 4 : évaluer la criticité.
- Etape 5 : définir et suivre un plan d'actions correctives et préventives.

3.4.3.1 Etape 1 : Préparation de l'étude

Lors de la première étape de préparation, il faudra d'abord valider l'objectif de l'étude : pourquoi effectue-t-on cette étude ? L'objectif va dépendre du contexte de l'étude :

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

- Amélioration de la fiabilité du produit,
- Amélioration de la disponibilité du moyen de production,
- Amélioration de la disponibilité du service.

On commence tout d'abord par constituer le groupe de travail. L'AMDEC fait appel à l'expérience, pour rassembler toutes les informations que détiennent les uns et les autres, mais aussi pour faire évoluer les conclusions que chacun en tire et éviter que tous restent sur leur a priori. Les méthodes de travail en groupe doivent être connues et pratiquées afin d'assurer une efficacité optimale en groupe. C'est un critère de réussite essentiel.

3.4.3.1.a Acteurs de la méthode

- Le demandeur (ou pilote) : c'est la personne ou le service qui prend l'initiative de déclencher l'étude. Il est responsable de celle-ci jusqu'à son aboutissement. Il en définit le sujet, les critères et les objectifs. Il ne doit pas être le concepteur pour garantir l'indépendance des jugements.
- Le décideur : c'est la personne responsable dans l'entreprise du sujet étudié, et qui, en dernier recours et à défaut de consensus, exerce le choix définitif. Il est responsable et décideur des coûts, de la qualité et des délais.
- L'animateur : c'est le garant de la méthode, l'organisateur de la vie du groupe. Il précise l'ordre du jour des réunions, conduit les réunions, assure le secrétariat, assure le suivi de l'étude. Très souvent, c'est un intervenant extérieur, ou du moins extérieur au service de façon à pouvoir jouer les candides.
- Le groupe de travail : 2 à 5 personnes en général, responsables et compétentes, ayant la connaissance du système à étudier et pouvant apporter les informations nécessaires à l'analyse (on ne peut bien parler que de ce que l'on connaît bien). Selon l'étude (produit, procédé ou moyen de production), ce seront des représentants du design, du marketing, du bureau d'études, du service qualité, du service achat, de la production, de la maintenance ou des experts du domaine étudié.

3.4.3.1.b Planification des réunions

Comme il est difficile de réunir 5 à 8 personnes d'un certain niveau (elles sont souvent peu disponibles), on planifie les cinq phases, de la « préparation » jusqu'aux « actions menées » en respectant une fréquence d'une demi-journée tous les 15 jours en général.

3.4.3.1.c Limitations de l'étude

Il est nécessaire de limiter le champ et la durée de l'étude. Un champ d'étude trop important conduira à un exercice harassant pour un résultat médiocre. Une durée d'étude de 2 à 3 mois est tout à fait raisonnable.

3.4.3.1.d Constitution du dossier AMDEC

Dans cette phase, on effectue la collecte des données nécessaires à l'étude :

- Cahier des charges ou spécifications du produit,
- Plans, nomenclature, gammes de fabrication, spécifications,

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

- Calculs et leur vérification (chaîne de cotes),
- Contraintes de fabrication,
- Défaillances observées (retours clients, rebut de production),
- Essais de fiabilité, résultats de test,
- Relevés statistiques d'exploitation, historiques des pannes,
- Probabilités de défaillances liées à la technologie,
- Objectifs qualité.

3.4.3.2 Etape 2 : Analyse fonctionnelle

L'objectif final de l'étape 2 est la réalisation d'un dossier sur le système étudié. Ce dossier comprend :

- La feuille de synthèse de l'état actuel de l'étude AMDEC,
- Ce que l'on connaît sur les fonctions à étudier,
- Ce que l'on connaît sur l'environnement du système,
- Les objectifs de qualité et de fiabilité (conception), le TRS (en production), etc....
- L'analyse fonctionnelle,
- Les historiques (lien GMAO-AMDEC),
- Le plan de maintenance préventive,
- Le conditionnement du produit (marketing).

3.4.3.3 Etape 3 : Analyse qualitative des modes de défaillance

A partir de l'analyse fonctionnelle, la démarche consiste en :

- Une recherche des modes de défaillance (par exemple perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive),
- Une recherche des causes (choix pouvant être guidé par la gravité des conséquences),
- Une étude des effets.

3.4.3.4 Etape 4 : Evaluation de la criticité

• Notion de criticité

La criticité permet de quantifier la notion de risque. Dans une étude AMDEC, elle est évaluée à partir de la fréquence de la défaillance, de sa gravité et de sa probabilité de non-détection.

Elle détermine le choix des actions correctives et préventives à entreprendre et fixe la priorité entre ces actions. C'est un critère pour le suivi de la fiabilité prévisionnelle de l'équipement.

La cotation de la criticité permet une hiérarchisation des différentes défaillances et donc de planifier les recherches d'amélioration en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée. On prend alors les décisions qui s'imposent et on met en œuvre ces améliorations.

Chapitre 3 : Notions sur la maintenance et la fiabilité

Un programme de suivi est ensuite nécessaire si l'on veut pouvoir évaluer l'efficacité des améliorations : nouvelle mesure de la criticité et comparaison avec la valeur antérieure.

- **Cotation de criticité**

La cotation s'effectue sur la base de trois critères : la fréquence F d'apparition de la cause de défaillance, la gravité G de ses effets et sa non-détection N .

- **Fréquence F d'apparition de la cause de défaillance** : La cause de défaillance peut apparaître à l'utilisation, à la fabrication ou à la conception d'un produit. C'est la probabilité P pour que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance concerné. On écrit que $P = P1 \times P2$ avec $P1$ = probabilité que la cause de défaillance survienne et $P2$ = probabilité que la défaillance survienne lorsque la cause est présente.

- **Gravité G des effets de la défaillance** : La gravité est une évaluation de l'importance des effets de la défaillance potentielle sur le client. La cause n'a pas d'incidence sur la gravité de la défaillance.

- **Non-détection N de la défaillance** : Ce critère rend compte de la probabilité qu'à la défaillance de ne pas être détectée par l'utilisateur lors de contrôles (lors de la conception d'un produit, de sa fabrication ou de son exploitation) alors que la cause et le mode sont apparus.

Expression de la criticité

On obtient la criticité C par la formule :

$$C = F \times G \times N$$

3.4.3.5 Etape 5 : Définir et suivre un plan d'action préventive

Dans ce plan d'action vont figurer les actions préventives à mener pour diminuer le coefficient de criticité. Une diminution de la criticité pourra être obtenue en jouant sur un (où plusieurs) terme(s) du produit ($F \times G \times N$).

Les actions seront d'ordre préventif ou correctif selon le cas. Elles visent à supprimer les causes de défaillance. L'essentiel de l'action doit porter sur la prévention d'une part et la diminution de la fréquence d'autre part. Pour suivre la mise en place des actions, on utilise un tableau AMDEC appelé aussi fiche de synthèse de l'AMDEC. Après la mise en place des actions, on évaluera la nouvelle criticité des défaillances. Si la criticité n'est toujours pas satisfaisante, on définira d'autres actions préventives.

3.4.4 Analyse structurelle d'un système

Un système ou procès est un ensemble d'éléments en interaction dynamique pouvant être décomposé en sous-systèmes et en éléments maintenables d'où l'importance d'une analyse structurelle qui a pour but de définir les éléments maintenables.

Chapitre 04

Etude de fiabilité de la PHP

4.1 Introduction

Pour élaborer un plan de maintenance de notre pompe, il est important pour nous d'effectuer une analyse des modes de défaillance du système. Pour y parvenir nous devons passer par une analyse structurelle descendante de notre système.

Notre approche alors est de savoir le sous-ensemble de la pompe le plus touché par les pannes et aller plus loin dans son analyse structurelle pour pouvoir statuer sur les éléments qui causent plus de pannes ainsi les natures de pannes affectant notre pompe.

Pour y arriver à réaliser notre but trois étapes importantes sont à suivre :

1. Etude de l'historique de notre pompe pour déterminer le sous-ensemble le plus touché et cela on se basant sur la méthode des ABC.
2. Une analyse par la méthode AMDEC est ensuite utilisée pour se statuer sur les éléments et les pannes les plus critiques.
3. Finalement une étude de la fiabilité de la pompe est effectuée pour déterminer ses paramètres et établir un plan de maintenance adéquat de notre pompe.

4.2 Analyse Descendante Structurelle (ADS) de la pompe de type APGV

La première étape de notre travail consiste à faire une analyse structurelle de la pompe pour le décortiquer en ensembles et sous-ensembles. Cette dernière est subdivisée en quatre sous- systèmes. Chaque sous système est divisé lui-même en éléments et pièces. Figure 4.1.

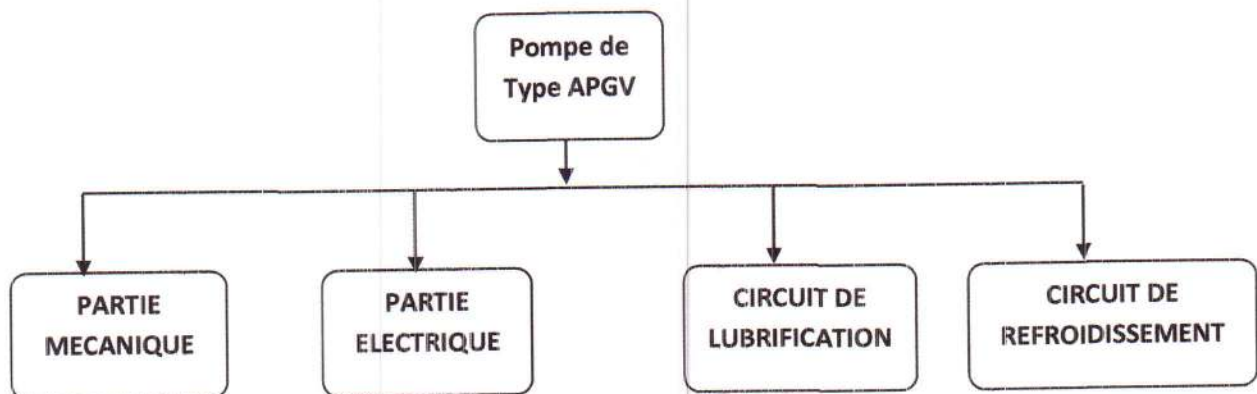


Figure 4.1: Décomposition de la pompe type APGV.

4.3 Classification des éléments

La classification est principalement utilisée comme une base d'établissement d'un programme de maintenance préventive ou pour mesurer les effets de cette maintenance. Elle consiste en pratique à ne pas traiter le matériel sur un même pied d'égalité.

4.4 Application

Dans cette partie nous allons utiliser les résultats d'exploitation de la pompe. Les données pour cette application sont relevées à partir des dossiers historiques de chaque élément. Afin de bien mener ce diagnostic, on a procédé de la façon suivante :

4.4.1 Collecte de données

Pour faire une bonne étude de fiabilité, on a intérêt à relever le nombre de défaillances de chaque partie de la pompe à partir du dossier historique, le tableau 4.1 résume le nombre de panne relevé sur l'ensemble de la pompe pour une période d'une année.

Pompe de Type APGV	Nombre des pannes					Σ
CIRCUIT DE LUBRIFICATION	1	3	1	2	2	9
PARTIE MECANIQUE	1	0	1	2	1	5
PARTIE ELECTRIQUE	1	0	1	0	0	3
CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT	0	1	0	1	0	2

Tableau 4.1: Récapitulatif des défaillances des parties de notre pompe.

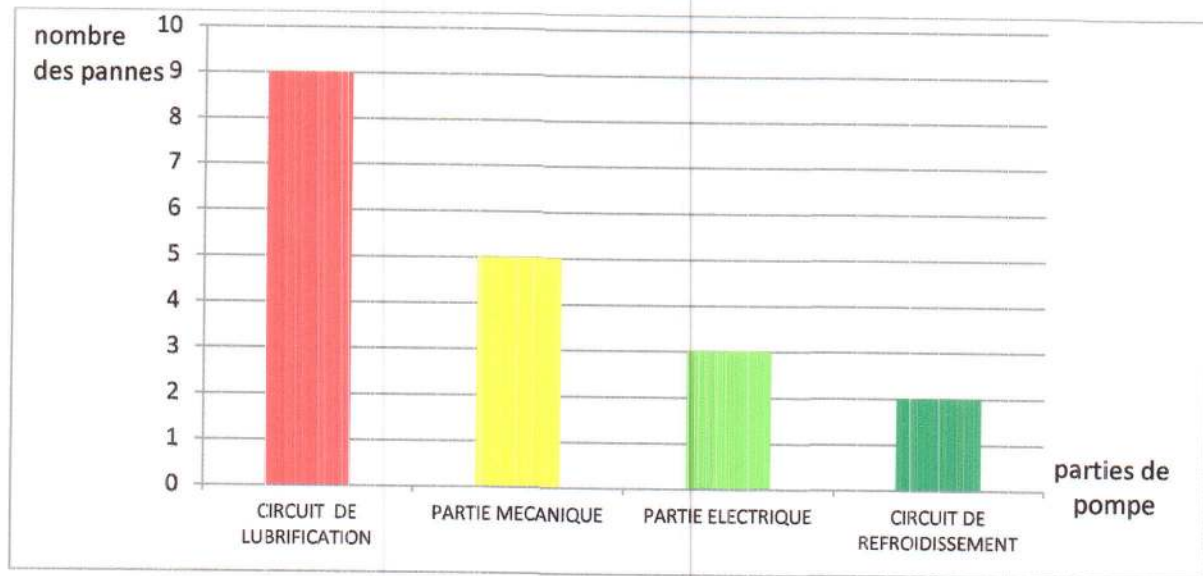


Figure 4.2: Histogramme de distribution de pannes de la PHP.

Les résultats obtenus montrent bien que les éléments constituant le circuit de lubrification et la partie mécanique représentent la majorité des pannes touchants notre pompe alors, ils nécessitent une attention particulière et avec un degré moins les éléments de la partie électrique ainsi le circuit de refroidissement qui n'influent pas sur la pompe.

Dans la prochaine étape nous nous intéressons du circuit de lubrification par une étude plus approfondie afin d'essayer de déterminer ses éléments critiques ou qui causent plus de pannes.

Chapitre 04 : Etude de fiabilité de la PHP

Une analyse structurale est fait pour cette raison, la figure ci-dessous représente le résultat de cette analyse.

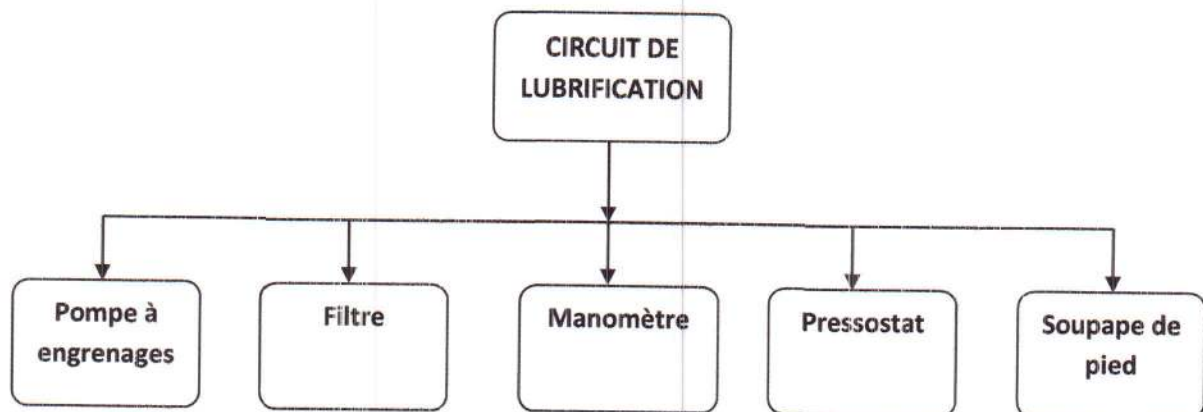


Figure 4.3: Décomposition du circuit de lubrification

4.4.2 Analyse des données

Le tableau ci-dessous représente l'historique des pannes du circuit de lubrification. Ces données sont relevées à partir de dossier historique des éléments de circuit de lubrification selon le classement durant une année.

Désignation	N° d'ordre	Nombre de panne	% du Cumul
Pompe à engrenage	1	10	41
Filtre à l'huile	2	6	66
Manomètre	3	4	82
Pressostat	4	3	95
Soupape de pied	5	1	100

Tableau 4.2: Historique des pannes du circuit de lubrification

L'analyse des données relève :

- Pompe à engrenage : 10 défaillances
- Filtre à l'huile : 6 défaillances
- Manomètre : 4 défaillances
- Pressostat : 3 défaillances
- Soupape de pied : 1 défaillance

4.5 Sélection des éléments

En utilisant la courbe « ABC » ou « Pareto » on peut sélectionner l'élément ou l'organe à prendre en considération dans notre étude. Dans notre cas le nombre des éléments est égal à 5, tableau 4.2.

4.5.1 Principe de la méthode « ABC »

Cette méthode consiste à classer les pannes par ordre d'importance en trois catégories afin de traiter chacune d'elles d'une manière différente. Elle permet donc au service maintenance d'identifier les cibles d'actions prioritaires.

4.5.2 Description de l'analyse

- Recensement des pannes à partir de la date de mise en place du dossier historique.
- Classement des nombres de pannes par ordre décroissant.
- Calcul du cumul de ces valeurs à partir du plus haut.
- Calcul pour chaque valeur cumulée la valeur en %.
- Le rang relatif % des différentes pannes.
- Tracer la courbe correspondante aux couples de points ci-dessous sur un graphique à deux dimensions, abscisses et ordonnées en pourcentage (%) à la même échelle.
- Déterminer les zones ABC : il s'agit de délimiter sur la courbe des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures ce qui permet de définir trois zones.

On obtient le classement en trois catégories.

A : les plus défaillants

B : les moyennement défaillants

C : les moins défaillants

Ce classement s'applique lorsqu'on veut faire apparaître les éléments les plus défaillants

4.5.3 Tracé de la courbe ABC

La courbe ABC permet de classer les éléments par ordre de priorité. La figure 4.4 représente les résultats obtenus.

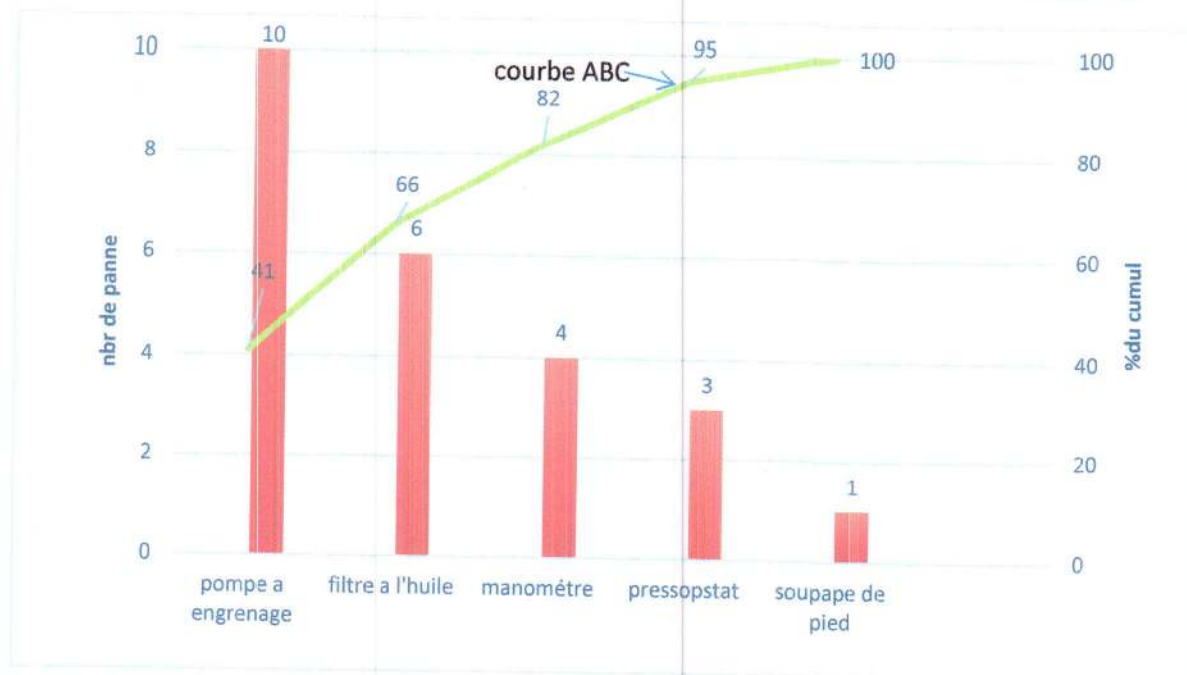


Figure 4.4: Histogramme de la fiabilité et courbe ABC du circuit de lubrification.

4.5.4 Interprétation des résultats

La courbe « ABC » obtenue ; nous a permis de classer les éléments en trois catégories (A, B et C). Tout d'abord on doit opter pour un suivi particulier des sous-ensembles de la classe « A » et qui sont les éléments constituant la pompe a engrenage et les filtres (ces éléments seront déterminés et étudiés dans la dernière partie de notre travail c'est la partie fiabilité de notre pompe) et un suivi spécifique pour les sous-ensembles des classes «B» et «C». L'analyse de la fiabilité, seule, nous permet de bien fixer le type de la maintenance à appliquer pour ces équipements.

4.6 Diagnostic par la méthode AMDEC

Avant d'entamer la partie d'études de la fiabilité de la PHP, une analyse par la méthode AMDEC est plus que nécessaire afin de déterminer les éléments ainsi les pannes critiques de notre système.

L'AMDEC est l'acronyme de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités. C'est une méthode de prévention pour une meilleure gestion de la maintenance. Grâce à cette méthode d'amélioration continue le responsable va pouvoir identifier les problèmes qui pouvant survenir et mieux les traiter pour les résoudre. L'AMDEC permet d'identifier, de rationaliser les problèmes potentiels pour ensuite les résoudre. Attention, en aucun cas il est possible d'identifier tous les problèmes potentiels. L'AMDEC est donc d'autant plus importante qu'il faut sans cesse renouveler l'expérience pour arriver à une détection convenable mais qui ne sera jamais complète.

Chapitre 04 : Etude de fiabilité de la PHP

4.6.1 Mise au point de support de l'étude

Les supports de l'étude sont fixés par le groupe de travail. Selon l'objectif de l'analyse et le type d'analyse AMDEC, notre support contient six paramètres (fonction, mode de défaillance, causes, effets, détection et criticité), et les actions correctives sont repérés comme suivant :

	Tableau AMDEC pour une pompe de type APGV					Date :				Page :
	Système : Sous-système :									
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	causes	effets	moyenne De détection	F	G	D	C	Action corrective

Tableau 4.3: Support de l'étude.

4.6.2 Application AMDEC sur notre pompe

Analyse de mode de défaillance de leurs effets et de leur criticité										
Système : pompe de type APGV Sous système :: partie mécanique										
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Cause de Défaillance	Effet de Défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	
Engrenage	Transmission de mouvement	Pas de transmission de mouvement	Usure des dents	Pas de rotation	Visuelle	1	3	3	9	Remplacer
Arbre	Transmission de la rotation	Vibration et cassure de l'arbre	Mauvais alignement	Pas de rotation	Visuelle Sonore Bruit	1	2	2	4	Réaligner Changer les roulements
Courroies	Transmission de mouvement de rotation vers le vilebrequin	Pas de transmission de mouvement	Mauvais alignement du volant, Non parallélisme entre les arbres	Le vilebrequin ne tourne pas	Visuelle	1	5	2	10	Remplacer la courroie
Roulement	Assurer l'alignement de l'arbre	Ne reste pas en position	Usure, vieillisse	Frottement excessif	Visuelle, sonore	1	2	2	4	Remplacer
Vilebrequin	Transmettre la puissance mécanique aux pistons	Usure au niveau des paliers lisses	Frottements Manque de lubrifiant	Mauvais fonctionnement de la pompe	Bruit, Manomètre d'huile	1	2	3	6	Vérifier la lubrification

Tableau 1.4 : Support d'étude de la partie mécanique.

Glissière de crosse	Guidage de crosse	Usure	Frottement	Vibration	Bruit	2	4	4	32	Echange
Garniture d'étanchéité	Assure l'étanchéité	Usure	Frottement	Perte	Visuel	2	4	4	32	Echange

Analyse de mode de défaillance de leurs effets et de leur criticité									
Système : pompe de type APGV Sous système : partie électrique									
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Cause de Défaillance	Effet de Défaillance	Détection	Criticité			Action Corrective
						F	G	N	C
Stator	Générer la force électromotrice	Blocage	Coupure des enroulements,	Pas de force électromotri	Mesure	1	3	3	9
Rotor	Créer une induction importante	Fonctionnement irrégulier	Usure des enroulements, enroulement mal	Pas de rotation	Mesure	3	3	1	9
Ventilateur	Accélérer la vitesse de passage de l'air	Ne démarre pas	Hélice endommagée, moteur grillé	Pas d'air, chauffage	Visuelle	1	2	2	4
									Remplacer moteur,

Tableau 4.5: Support d'étude de la partie électrique.

Analyse de mode de défaillance de leurs effets et de leur criticité										
Système : pompe de type APGV Sous système : circuit lubrification										
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Cause de Défaillance	Effet de Défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	
Filtre à l'huile	Filtre l'huile des impuretés	Colmatage Mauvais filtrage	Dépôt des impuretés	Mauvaise circulation de l'huile Risque d'encrassements des canalisations d'huile		1	1	2	2	Echange
Pompe à engrenage	Lubrification de la partie mécanique	Ne pompe pas Débit d'huile réduit	Pompe bouchée par des impuretés Filtre d'aspiration défectueux	Échauffement excessif de la partie mécanique	Capteur de pression d'huile	2	3	3	18	Nettoyer la pompe et vérifier le filtre
Manomètre	Indication de la pression D'huile	Déréglage	Fatigue	Pas d'information sur l'état d'huile	visuel	1	2	2	4	Changer de capteur
Pressostat	pression d'huile	Déréglage	Fatigue du ressort	Arrêt de la pompe	visuel	1	2	4	8	Changer de capteur

Tableau 4.6: Support d'étude du circuit de lubrification.

Analyse de mode de défaillance de leurs effets et de leur criticité										
Système : pompe de type APGV Sous système 4: circuit de refroidissement										
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Cause de Défaillance	Effet de Défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Réservoir	Stocker l'eau de refroidissement	Fuites	Rouille, choc	Défaut de refroidissement	Visuelle	2	1	1	2	Vérifier l'état de l'eau, remplacer
Pompe à eau	Aspirer et refouler l'eau sous pression	Fonctionnement irrégulier	Courroie détendue, cassée	Débit insuffisant, le moteur chauffe	Visuelle	2	1	1	2	Retendre, remplacer
Vanne	Passage de l'eau vers le moteur	Ne s'ouvre pas	Usure ou cassure du clapet ou du capteur	Le moteur chauffe	Visuelle	1	3	1	3	Changer
Conduite	Conduire l'eau de refroidissement à travers le moteur	Fuites internes, Colmatage	Raccords Desserrés par vibration, présence d'impuretés	Perte d'eau de refroidissement	Visuelle	1	1	2	2	Nettoyer, remplacer, serrer les raccords

Tableau 4.7: Support d'étude du circuit de refroidissement.

4.6.3 Interprétation des résultats

L'analyse des résultats nous conduit à classer les pannes selon leur criticité en trois groupes à savoir :

1. Des défauts qui ont un degré criticité élevé sur le système et qui peuvent à conduire à son arrêt. Une attention doit être donnée à ses défauts pour les éliminer et même l'éviter à l'avenir on prendra des mesures correctives. De ces défauts, nous citons ceux qui causent des fuites et vibration tels que les défauts de la pompe et le système d'étanchéité
2. Des défauts moins critiques mais qui peuvent affecter le système s'ils continueront à apparaître ou se manifeste. Une attention particulière doit être allouée aussi à ces défauts pour l'éviter. Parmi ces défauts nous pouvons citer ceux qui touchent les systèmes de transmission de mouvements
3. La troisième catégorie des défauts ne présente pas un grand danger sur notre système puisqu'ils présentent soit moins d'apparition soit moins de gravité. Cela ça ne veut pas dire les ignorer mais un suivi de leur évolution est nécessaire afin d'éviter un éventuel développement au seul de critique fixé (danger) .

4.7 Etude de la fiabilité de la pompe

4.7.1 Introduction

Toute action dans une entreprise doit généralement être rentable. Pour satisfaire à cette exigence, il faut déceler les problèmes qui valent la peine d'être abordés. Faire des choix valables sans se laisser accaparer par les détails.

La fiabilité est un vaste domaine contribuant à la compréhension, à la modélisation et à la prédiction des mécanismes de dégradation et de vieillissement susceptibles de conduire le composant à la défaillance et le système à la panne. La connaissance des relations entre les limites physiques, les défauts intrinsèques, les imperfections technologiques et les contraintes environnementales et internes constitue la substance même de cette activité vaste et complexe. Cette connaissance exhaustive restera sans doute une utopie, mais nous devons nous en rapprocher. En attendant, la fiabilité peut toujours apporter des palliatifs : adapter les contraintes aux limites physiques, protéger le composant à l'égard d'agressions internes ou externes, ou inversement faire évoluer les composants pour les rendre plus robustes et plus tolérants à l'égard des contraintes réelles.

4.7.2 Définition de la fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions et pour une durée donnée. Cette définition peut être formulée différemment : la fiabilité d'une entité est la probabilité moyenne de non défaillance de cette entité sur un intervalle de temps donné. Les paramètres importants de la fiabilité sont donc les conditions d'utilisation du système, le temps ou le nombre de cycles. La fiabilité d'un dispositif dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif].

- **La fonction de fiabilité**

Nous appelons $R(t)$ la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t) , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t) [9].

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t) , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ».

4.7.3 Défaillance et mode de défaillance

Par défaillance ou panne, on entend la cessation de l'aptitude d'une entité ou d'un système à accomplir une fonction requise. Une défaillance résulte d'une ou plusieurs fautes (écart anormal avec la caractéristique désirée), ou encore anomalie de fonctionnement. Une défaillance peut être complète, partielle, fugitive, intermittente ou permanente. La défaillance peut conduire à la panne du système. Le mode de défaillance est le cheminement d'un défaut initial vers une défaillance visible du système.

4.7.4 Taux de défaillance

Le taux de défaillance est très souvent la mesure de la fiabilité, c'est un des concepts les plus importants de la sûreté de fonctionnement. Le taux de défaillance est défini mathématiquement (statistiquement) comme la probabilité moyenne de défaillance ramenée sur un intervalle de temps :

$$\lambda[t_1, t_2] = \frac{\text{probabilité moyenne de défaillance sur } [t_1, t_2]}{t_2 - t_1} \quad (4.1)$$

Pour que ce taux de défaillance soit défini, il faut que l'entité soit non défaillante à l'instant t_1 . Par passage à la limite, ce taux est usuellement défini par [30]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\text{probabilité moyenne de défaillance sur } [t, t + \Delta t]}{\Delta t} \quad (4.2)$$

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

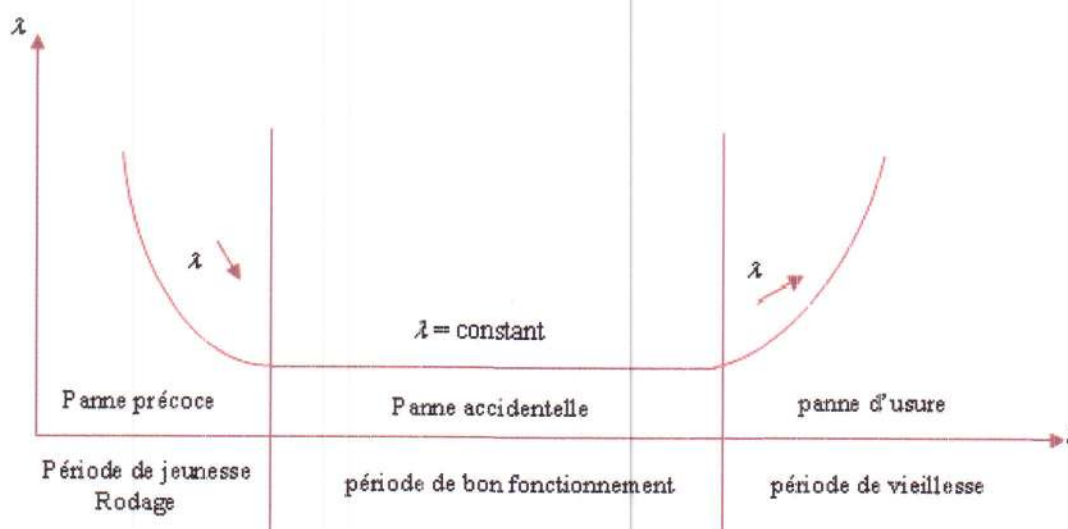


Figure 4.5: Courbe en baignoire

Cette courbe représente trois périodes :

- **La période de jeunesse ou de rodage** : correspond à l'apparition de défaillances, dues à des mauvaises façons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le

fabriquent procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.

- **La période de bon fonctionnement** : dans cette période, le taux d'avaries est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel ; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.
- **La période de vieillissement** : le taux d'avaries est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive.

4.7.5 Maintenabilité MTTR

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (4.3)$$

Remarque

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- le développement des documents d'aide à l'intervention,
- l'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).

4.7.6 Disponibilité D

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ».

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

- avoir le moins possible d'arrêts de production,
- être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

L'amélioration de la disponibilité passe par :

- l'allongement de la *MTBF* (action sur la fiabilité),
- la réduction de la *MTTR* (action sur la maintenabilité).

La disponibilité intrinsèque est caractérisée par :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4.4)$$

4.8 Loi de Pareto et la courbe ABC

4.8.1 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition. Un diagramme de Pareto est mis en évidence lorsque 20 % des catégories produisent 80 % du nombre total d'effets. Cette méthode permet donc de déterminer rapidement quelles sont les priorités d'actions. Si on considère que 20 % des causes représentent 80 % des occurrences, agir sur ces 20 % aide à solutionner un problème avec un maximum d'efficacité.

4.8.2 Définition de la méthode ABC

La méthode ABC est un moyen objectif d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé.

4.8.3 But de la méthode ABC

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les couts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

4.9 Etude de la fiabilité de la pompe à haute pression (PHP)

Afin de faire l'étude sur la pompe PHP, on a pu faire la classification (selon le nombre de pannes) ci-dessous à partir de l'historique de la pompe sur une période d'une année 01/01/2009 à 26/12/2009.

4.9.1 Construction du graphe de Pareto

N° de la pièce	% Pièces	Pieces	Nombre de panne	% de pannes	% de pannes cumulées	Nombre de pièces
1	8,333	Garnitures	39	33,3333	33,3333	6
2	16,666	Joint tenace	24	20,5128	53,8461	6
3	25	Bague en bronze	22	18,8034	72,6495	6
4	33,333	Pistons	13	11,1111	83,7606	6
5	41,666	Coussinet	5	4,2735	88,0341	1
6	50	Crosse	3	2,5641	90,5982	6

Chapitre 04 : Etude de fiabilité de la PHP

7	58,333	Filtre d'huile	3	2,5641	93,1623	1
8	66,666	Bielle mère	2	1,7094	94,8717	3
9	75	Axe de bielle	2	1,7094	96,5811	1
10	83,333	Joint spi	2	1,7094	98,2905	1
11	91,666	Arbre à manivelle	1	0,8547	99,1452	1
12	100	Vilebrequin	1	0,8547	99,9999	1
Total			117			39

Tableau 4.8: Classement des organes de la PHP selon leurs criticités.

A partir du tableau ci-dessus, nous traçons l'histogramme et le graphe suivants :

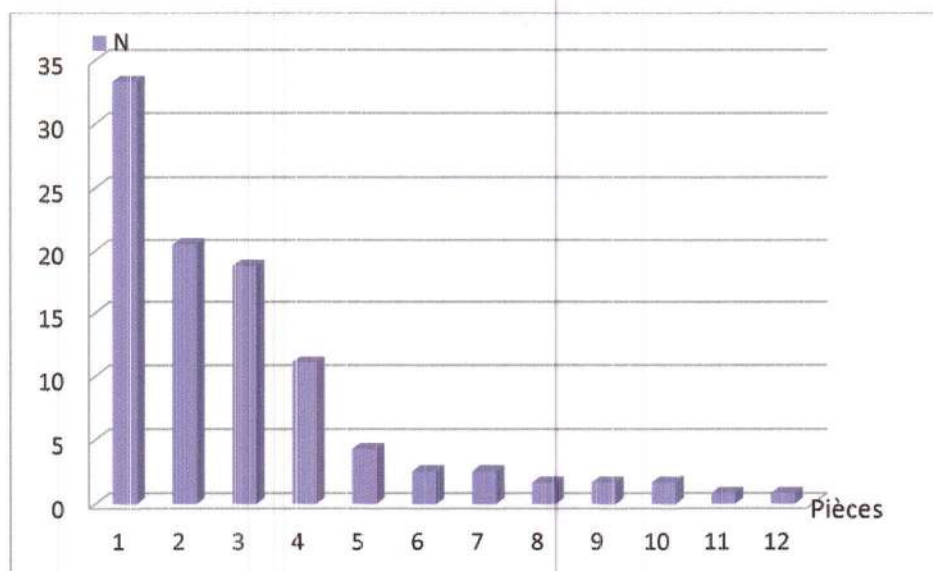


Figure 4.6: Histogramme de Pareto de distribution des pannes.

4.9.2 Construction de la courbe ABC

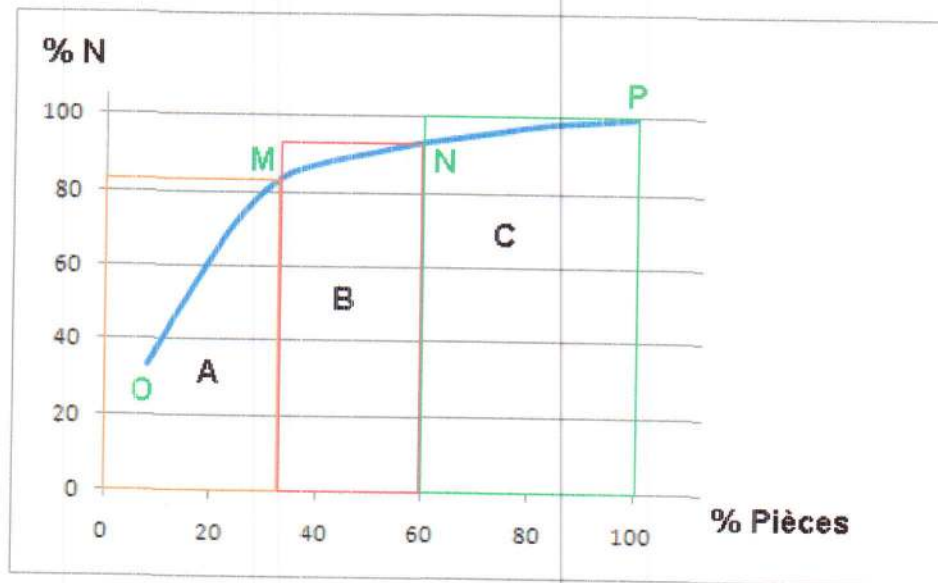


Figure 4.7: Courbe ABC des distributions des pannes.

La courbe qu'on a obtenue nous permet de définir trois zones :

- La partie droite de la courbe OM détermine la zone A.
- La partie courbe MN détermine la zone B.
- La partie assimilée à une droite NP détermine la zone C.

4.9.3 Interprétation des résultats

D'après la courbe ABC obtenue, et d'après la loi de Pareto, on remarque que les garnitures, les joints tenaces, la bague en bronze ainsi que les pistons représentent 83,77 % des pannes subies par notre système, ils affectent considérablement son fonctionnement. Pour réduire le nombre de pannes, ces pièces doivent faire l'objet d'une analyse prioritaire car ils représentent la zone A de la courbe ABC.

On remarque aussi que les éléments suivants : coussinets, crosse, filtre d'huile et la bielle mère représentent la zone B de la courbe ABC. Ils ont une faible influence sur le système, donc on ne va pas se baser sur ces éléments.

D'après la courbe obtenue, on constate aussi que la zone C est représentée par les éléments suivants : l'axe de bielle, le joint spi, l'arbre à manivelle et le vilebrequin. Ces éléments peuvent être négligés car ils n'ont aucune influence sur le fonctionnement de notre équipement.

4.10 Détermination des paramètres de la fiabilité de la PHP

Le sujet relatif à la fiabilité des équipements industriels, s'avère d'une grande importance. La disponibilité d'un équipement est fonction d'une combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et du soutien en maintenance de la PHP. Pour cela on va détailler dans ce qui suit, l'étude de la fiabilité de notre équipement (PHP) en utilisant la loi de Weibull en se basant sur l'historique des interventions. Pour étudier la fiabilité, on a relevé le temps de bon fonctionnement (TBF) de la PHP et on a obtenu les résultats ci-dessous.

Chapitre 04 : Etude de fiabilité de la PHP

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination des paramètres de fiabilité d'un équipement ; nous avons opter pour la méthode de la loi de Weibull. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

4.10.1 Définition

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres, utilisée en fiabilité, plus particulièrement en mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

Les paramètres utilisés sont :

β : Paramètre de forme, avec $\beta > 0$

η : Paramètre d'échelle, avec $\eta > 0$

γ : Paramètre de position, avec $-\infty < \gamma < +\infty$ ou de correction d'origine des temps.

4.10.2 Etude de la fiabilité de la PHP

Dans le cadre de l'application à ce travail, nous proposons de donner la méthode de calcul des paramètres de la Loi de Weibull, pour notre équipement, sur la base de l'historique des interventions portées sur le tableau 4.1.

Rang	TBF(h)	TTR(h)	T(h)	ni	Σni	Fi*100	$\lambda(t)$	R(t)
1	6	18	288	1	1	2,04	0,004566	0,97
2	21,5	2,5	7152	1	2	4,08	0,005233	0,95
3	22,17	1,83	3024	1	3	6,12	0,005250	0,93
4	22,5	1,5	1824	1	4	8,16	0,005259	0,91
5	23,5	0,5	792	1	5	10,2	0,005283	0,89
6	23,5	0,5	1848	1	6	12,24	0,005283	0,87
7	23,5	0,5	4104	1	7	14,28	0,005283	0,85
8	23,5	0,5	4368	1	8	16,32	0,005283	0,83
9	46	2	2880	1	9	18,36	0,005677	0,81
10	47	1	1416	1	10	20,4	0,005690	0,79
11	47	1	1872	1	11	22,44	0,005690	0,77
12	47,67	0,33	3432	1	12	24,48	0,005698	0,75
13	56	16	4920	1	13	26,53	0,005797	0,73
14	64	6	5832	1	14	28,57	0,005881	0,71
15	71	1	1176	1	15	30,61	0,005946	0,69
16	71	1	3600	1	16	32,65	0,005946	0,67
17	71,5	0,5	2088	1	17	34,69	0,005951	0,65
18	71,59	0,41	1344	1	18	36,73	0,005951	0,63
19	94	2	312	1	19	38,77	0,006127	0,61
20	94,5	1,5	1248	1	20	40,81	0,006131	0,59
21	95	1	3672	1	21	42,85	0,006134	0,57

Chapitre 04 : Etude de fiabilité de la PHP

22	95,5	0,5	408	1	22	44,89	0,006138	0,55
23	95,5	0,5	2928	1	23	46,93	0,006138	0,53
24	96	2	5902	1	24	48,97	0,006141	0,51
25	119,5	0,5	3480	1	25	51,02	0,006286	0,48
26	140,5	3,5	4776	1	26	53,06	0,006396	0,46
27	143	1	504	1	27	55,1	0,006408	0,44
28	143,5	0,5	648	1	28	57,14	0,006411	0,42
29	143,5	0,5	3960	1	29	59,18	0,006411	0,4
30	161,59	6,41	1920	1	30	61,22	0,006493	0,38
31	166,45	1,55	120	1	31	63,26	0,006513	0,36
32	167,5	0,5	6000	1	32	65,3	0,006518	0,34
33	167,59	0,41	2160	1	33	67,34	0,006518	0,32
34	190,5	1,5	4992	1	34	69,38	0,006608	0,3
35	191	1	3768	1	35	71,42	0,006610	0,28
36	237,5	2,5	4128	1	36	73,46	0,006765	0,26
37	263	1	7776	1	37	75,51	0,006840	0,24
38	263,25	0,75	2328	1	38	77,55	0,006840	0,22
39	287	1	2592	1	39	79,59	0,006904	0,2
40	287,5	0,5	7176	1	40	81,63	0,006905	0,18
41	311	1	5184	1	41	83,67	0,006963	0,16
42	311,5	0,5	7464	1	42	85,71	0,006964	0,14
43	326	10	5496	1	43	87,75	0,006998	0,12
44	359	1	816	1	44	89,79	0,007071	0,1
45	359	1	1464	1	45	91,83	0,007071	0,08
46	382,5	1,5	4392	1	46	93,87	0,007119	0,06
47	383,34	0,66	3048	1	47	95,91	0,007121	0,04
48	982	2	6168	1	48	97,95	0,007874	0,02

Tableau 4.9: Etude de la fiabilité de la PHP par la méthode de WEIBULL.

4.10.3 Paramètres de Weibull

Après le tracé du nuage des points sur le papier de Weibull, on fait un lissage par une droite. Cela est aussi fait en utilisant le logiciel STATISTICA pour déterminer les paramètres de Weibull.

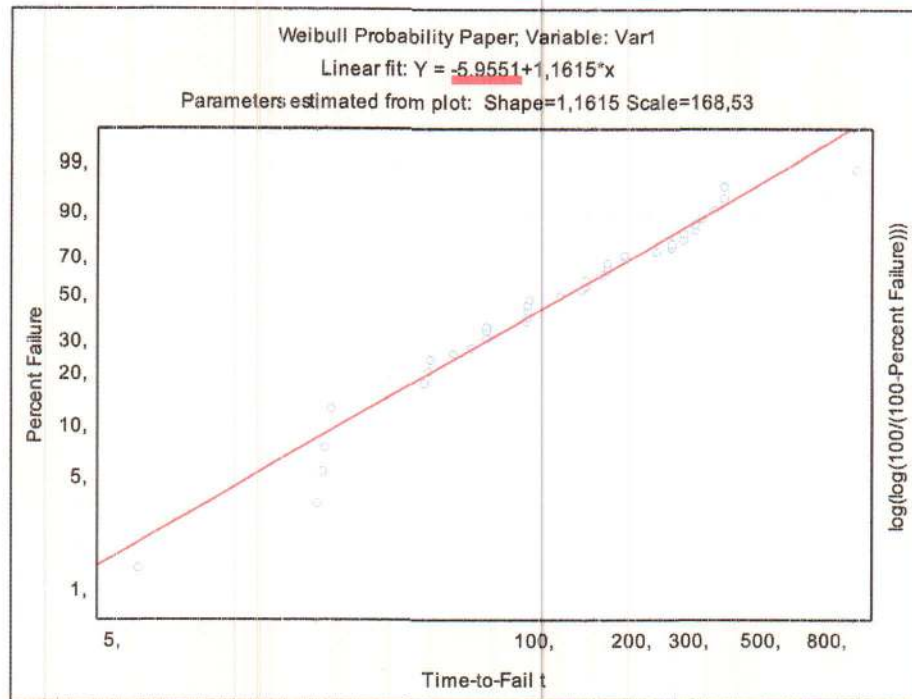


Figure 4.8: Graphe sur le papier de Weibull.

On utilise les tables numériques pour la détermination de A et B (Voir annexe 1) :
 $\beta=1,1069 \Rightarrow A=0,9649$.

$$B=0,878.$$

4.10.3.1 Calcul de la MTBF

$$MTBF = A\eta + \gamma \quad (4.5)$$

$$MTBF = 0,9649 \cdot 169,6077 = 163,654 \text{ h.}$$

$$MTBF = 163,654 \text{ h.}$$

4.10.3.2 Probabilité de bon fonctionnement

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.6)$$

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

$$R(MTBF) = e^{-\left(\frac{163,654-0}{169,6077}\right)^{1,1069}} = 0,3824\%$$

$$R(MTBF) = 38,24\%$$

$$F(MTBF) = 1 - R(MTBF) \quad (4.7)$$

$$F(MTBF) = 1 - 0,3824 = 0,6175$$

$$F(MTBF) = 61,75 \%$$

Les figures 4.10 et 4.11 représentent la variation de $R(t)$ et $F(t)$ de la PHP.

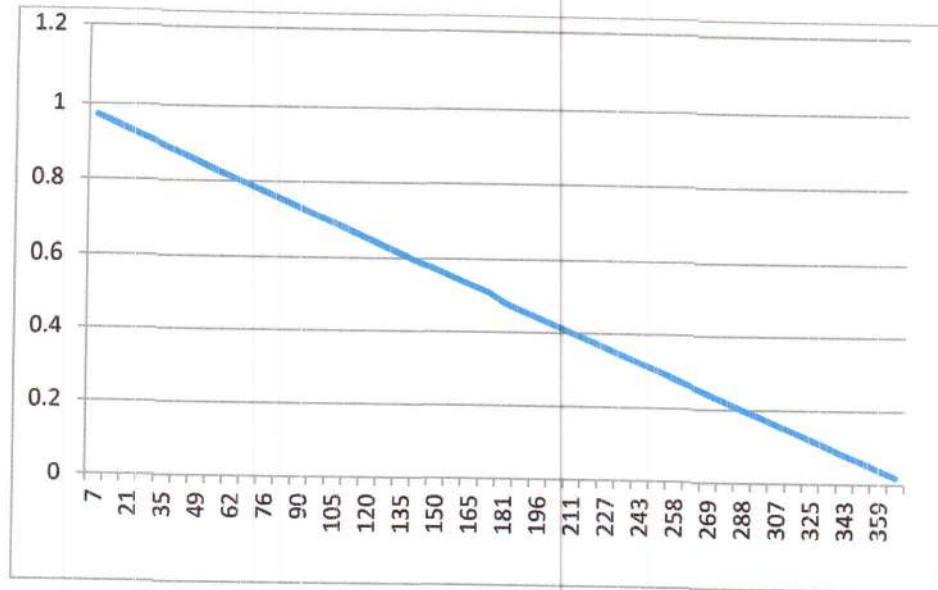


Figure 4.9: Variation de R(t).

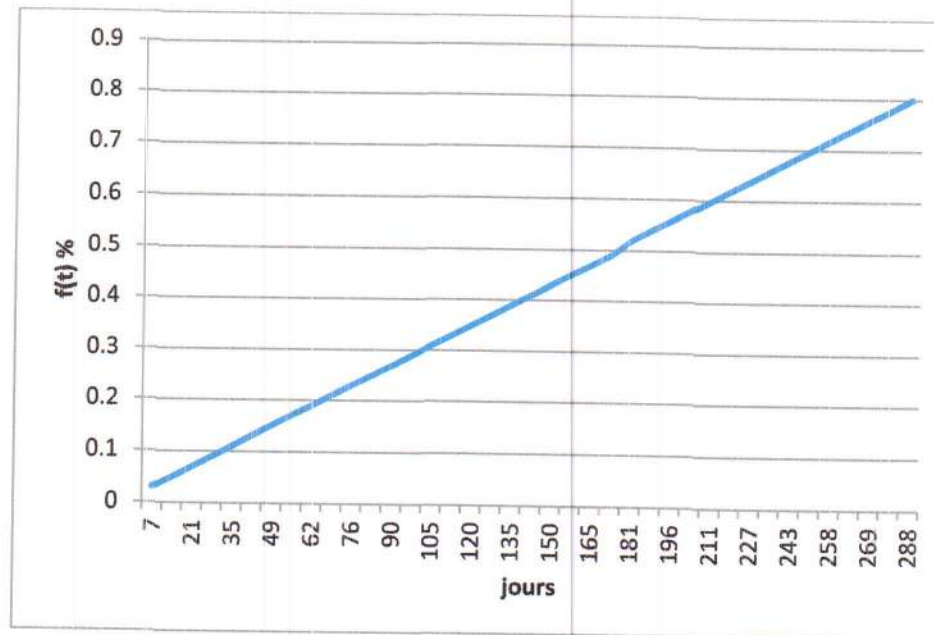


Figure 4.10: Variation de F(t).

4.10.3.3 Taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4.8)$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

$$= \frac{1,1069}{169,6077} \left(\frac{163,654-0}{169,6077} \right)^{1,1069-1} = 65 \cdot 10^{-4} \text{ Pannes/h.}$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = 65 \cdot 10^{-4} \text{ Pannes/h.}$$

La Figure 4.11 représente la variation de $\lambda(t)$

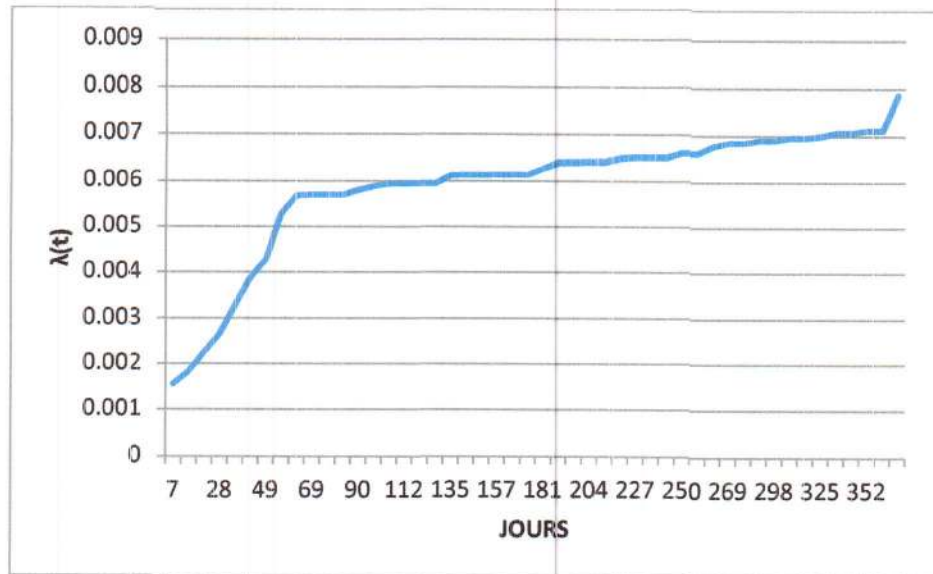


Figure 4.11: Variation de $\lambda(t)$.

4.10.3.4 Maintenabilité

$$MTTR = \sum \frac{TTR}{N} \quad (4.9)$$

MTTR = 2,16 h.

4.10.3.5 Disponibilité D

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4.10)$$

$$D = \frac{163,654}{163,654 + 2,16} = 0,9869\%$$

D = 98,69 %.

4.10.4 Interprétation des résultats

On remarque à partir des résultats précédents que : $\beta = 1,1069 > 1$ et que le taux de défaillances $\lambda(t)$ est croissant en fonction du temps, on déduit alors que la PHP est en période d'obsolescence.

R (MTBF) = 38,24 %, cela veut dire qu'il ya 38,24 chances sur 100 que la PHP survive au-delà de 163,645 h.

On constate aussi que pour une durée qui est égale au MTBF, la disponibilité du PHP est égale à **98,69%**, ce qui est très favorable pour le fonctionnement de la pompe. On peut expliquer ça par les temps d'arrêts qui sont courts.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre thème est intitulé : « Etude de la Technologie et la Fiabilité d'une Pompe Haute de Pression »

Dans un premier temps, nous avons présenté des généralités sur les pompes, leurs différents types et leur principe de fonctionnement. Dans un deuxième temps, nous avons passé à l'étude de l'équipement objet de ce travail à savoir la pompe haute pression PHP en présentant ces différentes parties et constituants et son principe de fonctionnement. Ensuite, nous avons présenté des généralités sur la notion de maintenance et les outils d'analyse des processus. Après une description structurelle de notre système, nous avons passé à l'élaboration d'un plan de maintenance préventive. Nous remarquons que pour qu'un équipement en général et une pompe en particulier soit utilisée d'une manière optimale, elle doit être suivie avec reconception régulière des opérations de maintenance préventive afin de la maintenir dans un état stable de fonctionnement. L'étude de la fiabilité de notre pompe a été réalisée dans le but de connaître son état de fonctionnement et établir par la suite un plan de sa maintenance préventive et curative.

Les résultats obtenus à la fin de ce travail nous ont permis de se *statuer* sur l'état de fonctionnement de la pompe. Ils sont bénéfiques du moment du fait que nous avons réussi à déterminer et à classer les pannes affectants cette pompe avec leurs criticités ; une chose qui permet d'agir à l'avenir à temps et surtout efficacement.

En analysant les résultats par l'application des méthodes ABC et AMDEC, nous constatons qu'il existe trois niveaux de degré de criticité des défaillances sur la pompe :

1. Des défauts qui ont un degré de criticité élevé sur le système et qui peuvent conduire à son arrêt. Une attention particulière doit être donnée à ces défauts pour les éliminer et même les éviter à l'avenir en prenant des mesures correctives. De ces défauts, nous citons ceux qui causent des fuites et vibrations tels que les défauts au niveau de la pompe et le système d'étanchéité
2. Des défauts moins critiques mais qui peuvent affecter le système s'ils continueront à apparaître ou se manifester. Une attention particulière doit être allouée aussi à ces défauts pour les éviter. Parmi ces défauts, nous pouvons citer ceux qui touchent les systèmes de transmission de mouvement.
3. La troisième catégorie des défauts ne présente pas un grand danger sur notre système puisque leur apparition est rare donc ils présentent moins de gravité. Cela ne veut pas dire les ignorer mais un suivi de leur évolution est nécessaire afin d'éviter leur éventuel développement au seuil critique fixé (danger) .

A la fin et en plus de l'étude ABC, l'AMDEC est une recherche longue mais fructueuse lorsqu'elle est complète. L'étude AMDEC facilite le diagnostic. L'implantation de tels procédures de maintenance n'est pas une simple tâche car une étude AMDEC demande beaucoup de temps et de ressources, ce qui implique parfois des gros moyens.

Références bibliographiques

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pompe>, En ligne : 20 Mars 2018.
- [2] <https://www.dunod.com/livres,pascal,bogot>
- [3] J. Heng, pratique de la maintenance préventive, Dunod, 09/2002.
- [4] D.C.Y.G.F. Castellazzi, Mémotech maintenance industrielle , Cateilla,08/1998.
- [5] F. Monchy, Maintenance, méthode et organisation, Dunod,08 /2003
- [6] J . Dumas , Etude AMDEC sur un ventilateur, Polycopié de cours de technique de maintenance industrielle (MEC_763), , Université de Québec, Ecole de technologie supérieure.
- [7] Jean Heng, Pratique de la maintenance préventive , Dunod , 09/2002.
- [8] P.P. Ludovic Pigeyre, Objectif Bac Pro Fiches Bac Pro Mei, Hachette éducation,2015.
- [9] H. Garin, AMDEC , AMD ,AEEL : l'essentiel de la méthode, AFNOR,1994 .
- [10] G. LANDY, AMDEC Guide pratique,2ème édition éd ,AFNOR ,2007 .
- [11] *Introduction à la maintenance , chapitre 5 : Analyse des défaillances et aide au diagnostic, ISET Nabeul, 2013/2014.*
- [12] G.B. Mario Capraro, L'entreprise étendue et le développement des fournisseurs, Presses Universitaire-Lyon, 2002.
- [13] [AFN1988] AFNOR, "Recueil de normes françaises : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité". Afnor-Ute, 1988.
- [14] [FAR2008] Faraheddine B. ; Fiabilité et sécurité des systèmes, polycopies de cours, Centre universitaire Larbi Ben M'Hidi, Algérie, 2008.
- [15] [PAG1980] Pagès A., et Gondran M. , Fiabilité des systèmes, Eyrolles, Paris. 1980.

Annexe 1

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9037	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9549	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

Annexe 1 : Valeurs des paramètres β , A et B