

Université Kasdi Merbah - Ouargla  
Faculté de sciences appliquées  
Département de Mécanique



**Mémoire**  
**MASTER PROFESSIONNEL**

**Domaine :** Sciences techniques

**Filière :** Génie mécanique

**Spécialité :** Maintenance industriel

Présenté par : KADI Mohammed / GANA Djamel Eddine

# Thème

ETUDE ET AMELIORATION FMD D'UNE  
MOTOPOMPE CENTRIFUGE

Soutenu publiquement

Le : 08 /06/2014

Devant le jury :

M: A.MEBARKI

Président

UKM Ouargla

M: KAREK RABIA

Encadreur

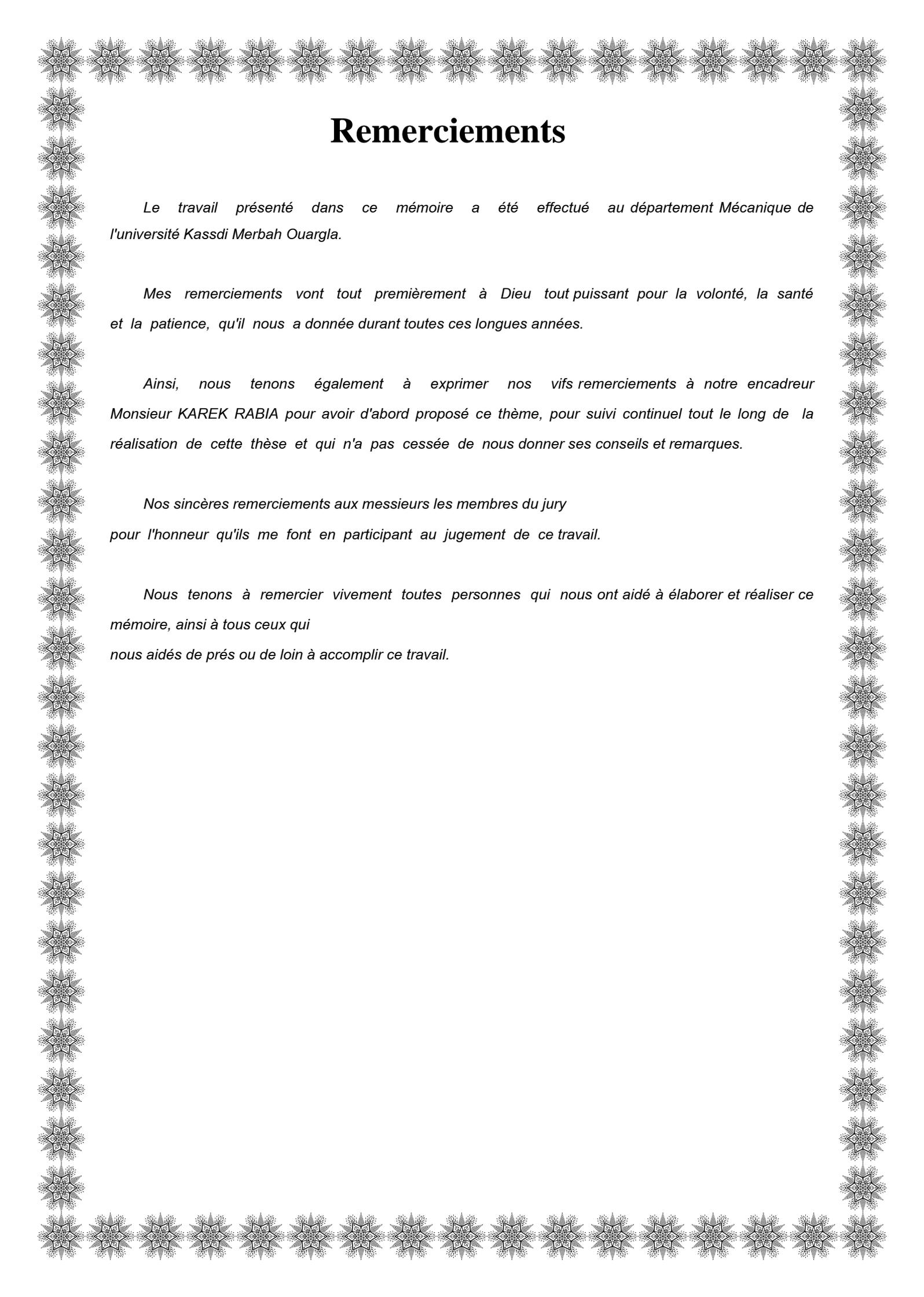
UKM Ouargla

M: M. BOUKHATEM

Examineur

UKM Ouargla

*Année Universitaire 2013/2014*



# Remerciements

*Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département Mécanique de l'université Kassdi Merbah Ouargla.*

*Mes remerciements vont tout d'abord à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.*

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Monsieur KAREK RABIA pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de cette thèse et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils et remarques.*

*Nos sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.*

# Dédicaces

*J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à parentes en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti des efforts rien que pour me voir réussir, et voila, l'occasion est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.*

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

*A ma très chère mère " SADIA " et mon cher père " AMAR " ;*

*A mes frères "A.ELMOUMEN-FOUAD-MOUHIEDDINE-A.ALIM" et mes sœurs "SAMIHA-N.ELHOUDA-SOUMIA-HADJER-MAROUA KHAOULA DJHAD" ;*

*A mes nièces et mes neveux*

*A toute ma famille " GANA - BACACI " ;*

*A mon binôme " MOHAMMED " ;*

*A mes amis "ZAID-SAIH-AYOUB-YACINE- SALIM-SMAIL-LAID-ELHADJ....." ;*

*A tous mes amis d'université OUARGLA et surtout groupe MI.*

**gana djamal eddine**

# Dédicaces

*J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à parentes en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti des efforts rien que pour me voir réussir, et voila, l'occasion est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.*

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

*A ma très chère mère " FATIMA ZOHRA " et mon cher père "SLIMAN";*

*A mes frères "RIAD A.ELKADER HACHANI BAHAA ELDINE" et mes sœurs "ZEBAYDA . RABIA "*

*A mes nièces et mes neveux*

*A toute ma famille "KADI - BAN DANIA";*

*A mon binôme "DJAMEL EDDINE" ;*

*A mes amis "ZAID-KRIMO-KHLIFA-MABROK-KASAM-YENAS-N";*

*A tous mes amis d'université OUARGLA et surtout groupe MI.*

**kadi mohammed**

## Liste des figures

---

### Liste des figures

Figure (I.1) : domaine d'utilisation des pompes .....	3
Figure (I.2) : Pompe à membranes.....	04
Figure (I.3) : Pompes à piston.....	04
Figure ( I.4) : Pompe à Vis.....	05
Figure (I.5) : Pompes à engrenages extérieurs.....	05
Figure (I.6) : Pompes à engrenages intérieurs.....	06
Figure (I.7) : Pompes à lobes.....	06
Figure (I.8) : Pompes à palettes libres.....	06
Figure (I.9) : Pompes à palettes flexibles.....	07
Figure (I.10) : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux .....	08
Figure (I.11) : Courbe caractéristique hauteur d'élévation fonction du débit volume .....	09
Figure ( I.11) : Les éléments de constitution d'une machine asynchrone .....	10
Figure ( I.12) : stator d'une machine asynchrone.....	11
Figure ( I. 13) :Type de rotor.....	12
Figure ( I.14) : schémas d'un accouplement.....	13
Figure ( I.15) : Exemple de motopompe centrifuge .....	14
Figure (II.1): Diagramme des types de la maintenance .....	19
Figure (II.2): Courbe en baignoire.....	22
Figure (II.3): Principales propriétés de la distribution de Weibull.....	24
Figure (II.4): Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull.....	25
Figure (II.5): redressement de la courbe par translation .....	26
Figure (II.6): probabilité de réparation au cours de temps.....	27
Figure (II.7): La relation entre MUT, MTBF, et MTTR.....	29
Figure (III.1) : La Courbe d'ABC .....	29
Figure (III.2): papier de WeiBull. en logiciel statistica.....	33
Figure (III.3): La Courbe Densité De Probabilité .....	36
Figure (III.4): La courbe De Fonction Répartition.....	37
Figure (III.5): La Courbe La Courbe de Fonction Fiabilité .....	38
Figure (III.6): La courbe taux de défaillance .....	38
Figure (III.7): La Courbe de Maintenabilité .....	39
Figure (III.8): La Courbe de disponibilité instantané.....	40

**Liste des tableaux**

Tableau III-1 Dossier historique de la pompe ..... 31

Tableau III-2 L'analyse ABC (Pareto) .....32

Tableau III-3 :Fonction de répartition réelle .....33

Tableau III-4:test de kolmogrov-smirnov .....36

Tableau III-5:Calcul la fonction de la densité de probabilité.....36

Tableau III-6:Fonction de répartition .....37

Tableau III-7:Calcul de la fiabilité .....37

Tableau III-8:Calcul le taux de défaillance .....38

Tableau III-9:La maintenabilité de la pompe .....39

Tableau III-10 Tableau de disponibilité instantané .....40



## Notations utilisées

---

- $p_a$**  : pression d'aspiration [Pa]  
 **$p_r$**  : pression de refoulement [Pa]  
 **$\rho$**  : la masse volumique de fluide [Kg/m<sup>3</sup>].  
 **$g$**  : la gravité [m/s<sup>2</sup> ou N/Kg]  
 **$P_u$** : Puissance utile  
 **$P_a$**  : Puissance absorbée  
 **$Q_v$**  : débit volumique [m<sup>3</sup>/s]  
 **$C$**  : couple moteur [N.m]  
 **$\omega$**  : vitesse de rotation [rad/s]  
 **$n$**  : vitesse de rotation [tr/min]  
 **$Q_v$**  : débit volumique [m<sup>3</sup>/s]  
 **$H$**  : hauteur manométrique [m]  
**TTR**: temps de réparation  
**TBF** : temps de bon fonctionnement  
**UT** : temps entre défaillances  
 **$R(t)$**  : fonction de fiabilité  
 **$F(t)$**  : fonction de défaillance  
 **$f(t)$**  : densité de probabilité  
 **$\lambda(t)$**  : T a u x de défaillance  
**MUT** : moyenne temps entre défaillances  
**MTTR** : Moyenne de temps de réparation  
 **$\mu$**  : Taux de réparation  
**MTBF** : moyenne de temps de bon fonctionnement  
 **$D$**  : disponibilité  
 **$\gamma$**  : Paramètre de position  
 **$\eta$**  : Paramètre d'échelle  
 **$\beta$**  : Paramètre de forme
-

## Introduction général

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme un centre de coûts, nous sommes de plus en plus conscients qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise.

La complexité des mécanismes de dégradation des équipements a fait en sorte que la durée de vie de ces derniers a toujours été traitée comme une variable aléatoire. Cet état de fait a incité plusieurs entreprises à adopter des approches plutôt réactives, n'étant pas en mesure de justifier économiquement les avantages que peut procurer la mise en place d'une maintenance préventive.

L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente. Les responsables des services de maintenance dans les entreprises ne sont pas toujours en mesure de défendre rigoureusement leur budget d'opération et encore moins leur contribution à l'efficacité de l'entreprise. En plus de ces lacunes, les petites et moyennes entreprises manquent souvent de ressources pour mettre en place des systèmes efficaces de gestion de la maintenance.

L'application des méthodes prévisionnelles de maintenance à des matériels à haute production est moins coûteuse que la perte de production due un arrêt du matériel. L'arrêt d'une seule machine peut entraîner l'arrêt de toute la ligne.

Le but de ce travail est de présenter les différentes techniques de maintenance et de présenter sa théorie pour l'application sur une motopompe centrifuge.

Le mémoire présentant ce travail comporte quatre chapitres, présentation sur le lieu de complexe SUD, introduction et conclusion générale.

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur les pompes et aussi nous allons faire l'étude théorique des pompes et des moteurs asynchrones sous nom "Généralité et description du mot pompe centrifuge".
- Le deuxième chapitre présente l'état de la maintenance en Générale sous nom "Généralité Sur La Fiabilité, Maintenabilité et La Disponibilité", lui même décrivent les principaux concepts qui éclairent notre mémoire: la définition et l'organisation de la maintenance des équipements de production, les concepts de maintenance, et la présentation détaillée de notre technique (la définition, le but, la structure, les axes, et tous ce qu'il concerne cette technique).
- Le troisième chapitre expose l'application pratique de cette technique sur l'équipement de production étudiée sous "analyse FMD de la pompe GA 1102".
- Enfin, le quatrième chapitre la sécurité sous nom "La Sécurité Industrielle".

# CHAPITRE I

## Généralité Et Description D'une Motopompe Centrifuge

## I.1. Introduction

Peut être, la pompe est la deuxième type de machines la plus utilisée, après le moteur électrique. Les pompes et les ventilateurs consomment environ le quart de l'énergie électrique générée sur la terre.

Peut être la première pompe que l'homme avait connue est la pompe spirale entraîné par animal, type de pompe utilisé pour lever l'eau pour irriguer la terre. Inventée par les égyptiens depuis l'aube de l'histoire et elle est toujours en service dans certains endroits en Egypte aujourd'hui.

Les pharaoniques ont aussi inventé les turbines à vent, et les ont utilisés pour entraîner les norias et les moulins. Les perses anciens ont inventé les turbines hydrauliques qui utilisaient l'énergie de l'eau pour entraîner les norias.

Les musulmans ont fait une autre contribution majeure, la pompe à pistons. Ils ont complété leur invention par le vilebrequin, qui est un mécanisme de conversion de mouvement alternatif en rotatif et vice versa. C'est la pompe à pistons qui a ouvert la voie vers les technologies de circuits hydrauliques que les musulmans ont connus et étendait même aux circuits logiques, automatisation, contrôle de séquence voir robotiques.

Les musulmans ont inventé l'horloge à eau, une invention attribuée mille ans après à un français. Une horloge à eau existe aujourd'hui à la rue de champs Elysées portant le nom de son « innovateur » français.

Les historiens européens attribuent l'invention de la pompe à vis à Archimède, le grecque. Pourtant, l'auteur croit dans le fait que toutes les contributions technologiques et théoriques nommées après des « savants » grecs, ne sont que des accomplissements pharaoniques, que les grecs ont trouvés en Egypte après la conquête d'Alexandre, et se sont attribués. La même chose était faite par beaucoup de « savants » européens comme Newton, Kepler, Copernic, Einstein, etc. qui se sont attribués des accomplissements arabes et musulmans, en piraterie organisée et systématique, se profitant de l'hégémonie de médias et de l'endormi des arabes et musulmans.

## I.2. Généralités sur les pompes

**I.2.1. Définition:** Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre les tubulures d'entrée et de sortie.

Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique. [1]

### I.2.2. Les différents types de pompes

Il existe différentes pompes qui peuvent se classer en deux grandes familles :

- Pompes volumétriques
- Pompes centrifuges

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

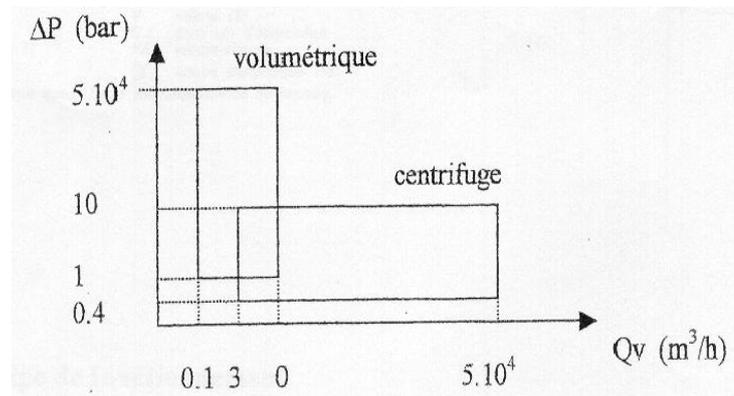


Figure (I.1) : domaine d'utilisation des pompes

**I.2.2.1. Pompes volumétriques :** Les pompes volumétriques sont constituées d'un volume hermétiquement clos (corps de pompe) à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile engendrant soit une dépression à l'aspiration, soit l'impulsion nécessaire au refoulement afin de vaincre la contre pression régnant à l'aval de la pompe, soit enfin l'une et l'autre de ces fonctions et permettant ainsi le transfert d'un volume de liquide, de viscosité plus ou moins importante, depuis l'aspiration vers le refoulement. Le fluide véhiculé étant incompressible, ces pompes sont toujours équipées d'un dispositif de sécurité d'excès de pression associé. Les pompes volumétriques caractérisées par une grande diversité d'emploi et une grande variété de réalisations technologiques. On se limitera ici, à la présentation de quelques types de ces deux grandes familles de machines tournantes : [2]

- les pompes volumétriques alternatives.
- les pompes volumétriques rotatives.

**a. Pompes volumétriques à mouvement alternatif:** Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de pompes sont les suivants : à membrane ou à piston.

**a.1. Pompes à membranes, ou à soufflets:** Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, Viton, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative (figure I-2). [3]

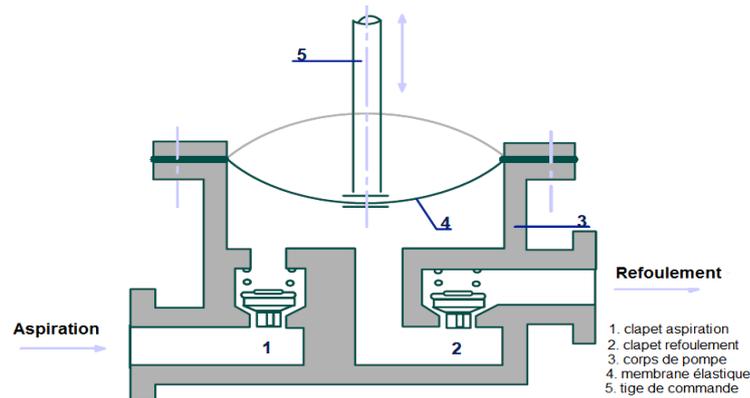


Figure (I.2) : Pompe à membranes

**a.2. Pompes à piston:** Son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé: il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe (figure I-3). [2]

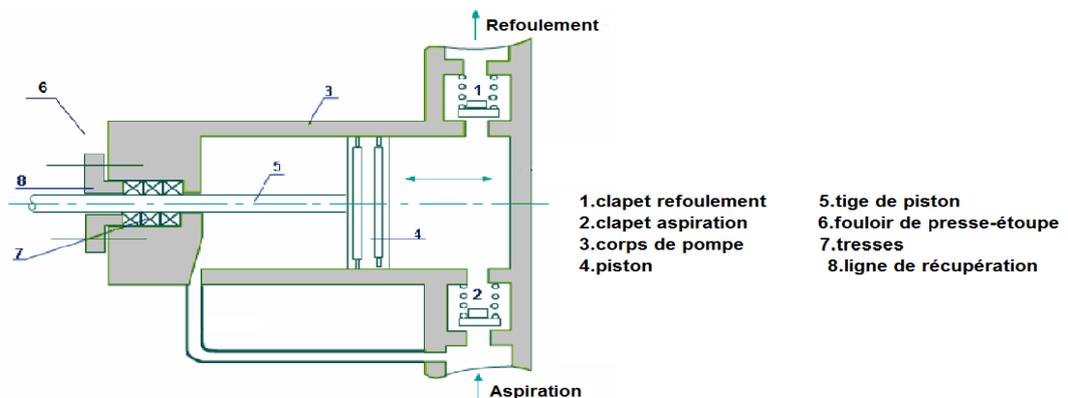


Figure (I.3) : Pompes à piston

**b. Pompes volumétriques à mouvement rotatif :** Dans laquelle un rotor excentré à ailettes projette un liquide contre la paroi du stator.

Ce liquide prend la forme d'un anneau concentrique au stator et concourt avec les ailettes du rotor à définir un volume variable.

**b.1.Pompe à Vis :** Une vis centrale motrice entraînant deux vis satellites. Elles ont un fonctionnement silencieux et un écoulement stable, et engendrent des pressions élevées.

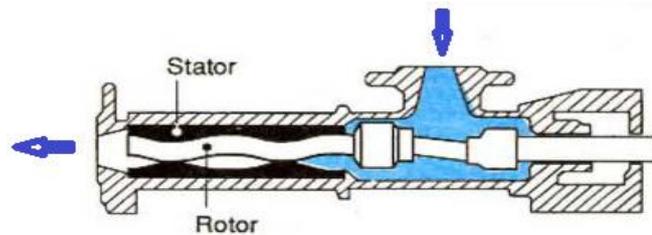


Figure ( I.4) : Pompe à Vis

## b.2. Pompes à engrenages

**b.2.1.Pompes à engrenages extérieurs:** Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elles soit par la disposition, soit par la forme des engrenages. Dans tous les cas, 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. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite, hélicoïdale, ou encore à chevrons.

Cette dernière solution présente l'avantage de rendre le mouvement plus uniforme.

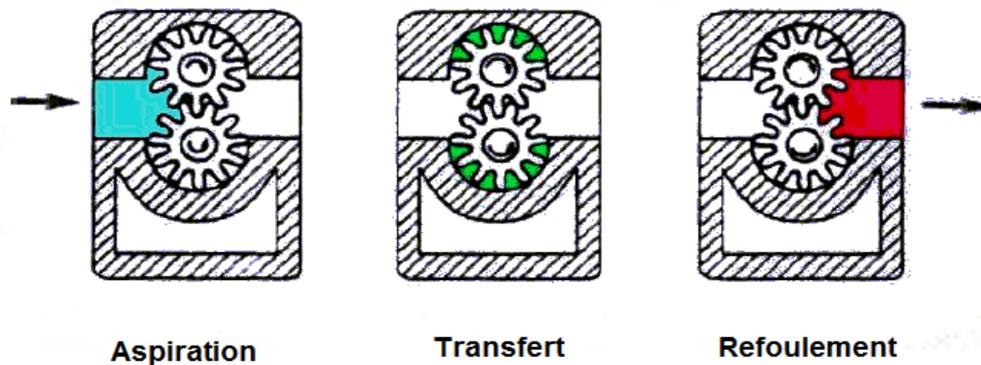


Figure (I.5) : Pompes à engrenages extérieurs.

**b.2.2.Pompes à engrenages intérieurs:** Le principe général consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre.

Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce supplémentaire en forme de croissant qui permet l'étanchéité entre les deux trains d'engrenages.

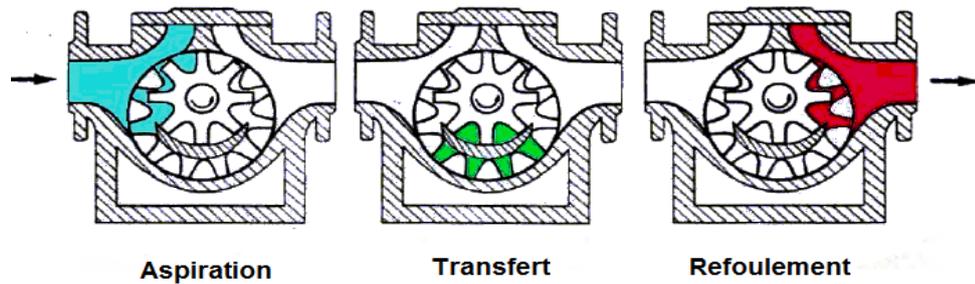


Figure (I.6) : Pompes à engrenages intérieurs

**b.3. Pompes à aubes appelées( communément rotors) :** Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (aubes) par engrenage .

Les rotors ne sont jamais en contact et, pour ce faire, sont entraînés par des engrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible (figure I-7).



Figure (I.7) : Pompes à lobes.

#### b.4.Pompes à palettes

**b.4.1. Pompes à palettes libres:** 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 capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre (figure I-8).

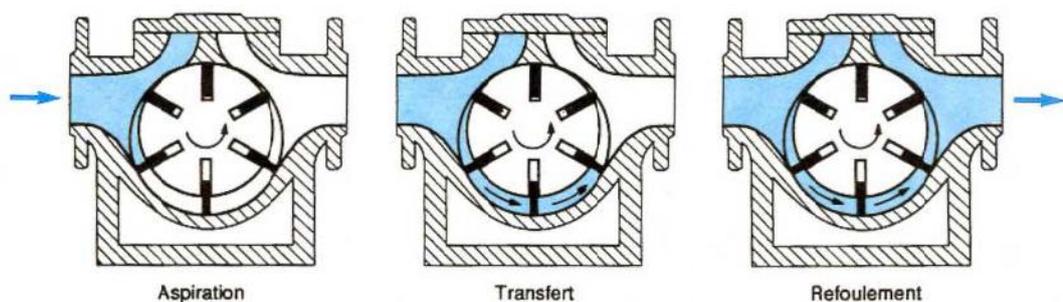


Figure (I.8) : Pompes à palettes libres

**b.4.2. Pompes à palettes flexibles:** L'ensemble rotor-palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide (figure I-9).

Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides.

Les caractéristiques, débit, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédentes. [3]

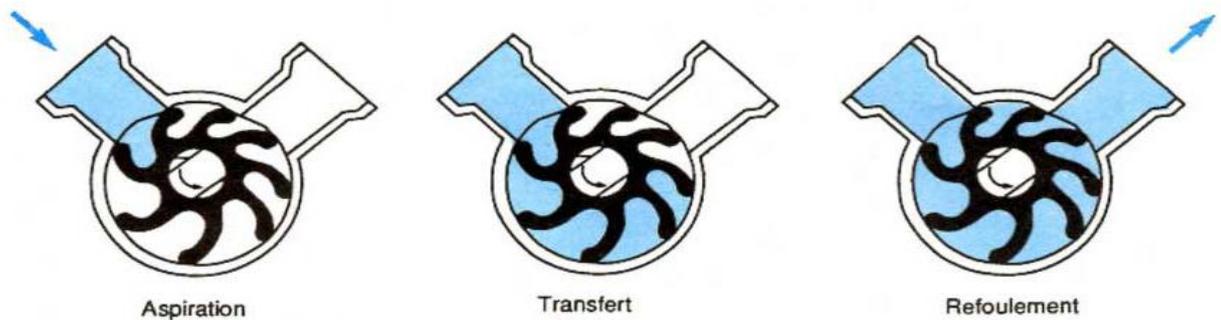


Figure (I.9) : Pompes à palettes flexibles

**I.2.2.2. Pompe centrifuge :** La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute.

A la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice. [1]

### I.3. les pompes centrifuges

**I.3.1. Description d'une pompe centrifuge:** Les pompes centrifuges sont destinées à véhiculer les liquides à un débit de refoulement important avec une faible pression comparativement aux pompes volumétriques.

Les principales composantes des pompes centrifuges sont les suivantes :

**I.3.1.1. Distributeur :** c'est un organe fixe ayant pour rôle la conduite du liquide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de l'impulseur, il se réduit à une simple tuyauterie pour les pompes monocellulaires.

**I.3.1.2. L'impulseur (la roue) :** c'est l'âme de la pompe centrifuge, il comporte des aubes ou ailettes, qui grâce à leur interaction avec le liquide véhiculé transforme l'énergie mécanique en énergie de pression dans le récupérateur. L'impulseur se compose de la roue, bagues d'étanchéité (d'usure), et des flasques.

**I.3.1.3. Le récupérateur (l'enveloppe) :** c'est un organe fixe qui collecte le liquide à la sortie de la roue et le canalise vers la section de sortie de la pompe avec la vitesse désirée.

Le récupérateur se compose en général de deux parties

- **Le diffuseur** : a pour rôle de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression, et ainsi limiter la vitesse du liquide pour éviter les pertes de charges exagérées.
- **La volute** : c'est le collecteur du liquide venant du diffuseur, elle assure la transformation d'énergie cinétique en pression et canalise le liquide vers la section de sortie de la pompe. [2]

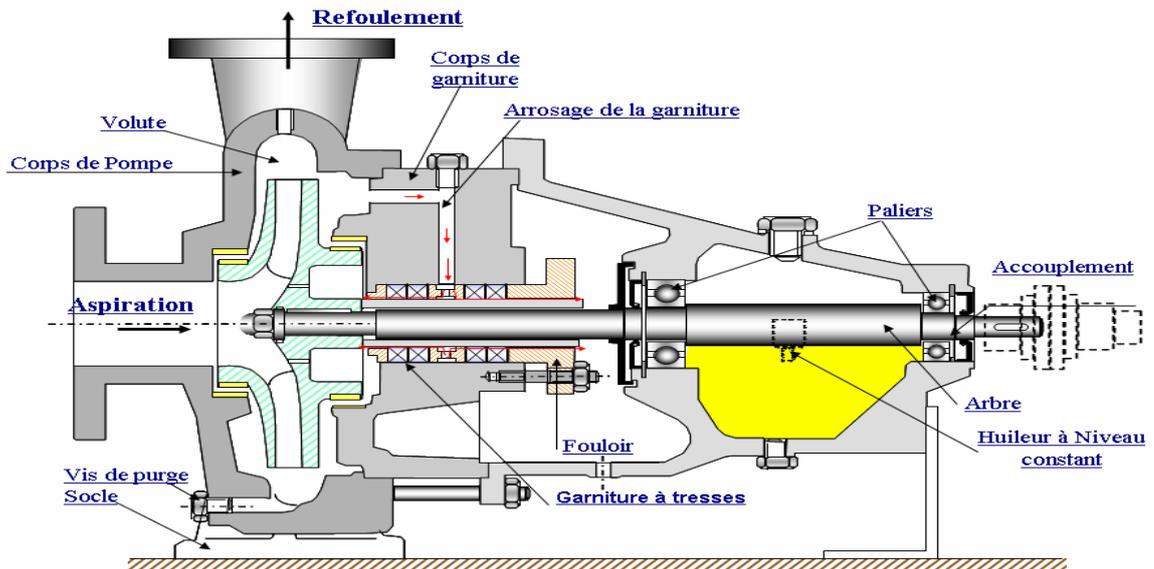


Figure (I.10) : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux

### I.3.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :

**I.3.2.1. L'aspiration** : Le liquide est aspiré au centre de la roue par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée de la roue.

La pompe étant amorcée, c'est à dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage.

**I.3.2.2. Le refoulement**: La roue transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique.

A la sortie de la roue, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie.

La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression. [1]

### I.3.3. Caractéristiques d'une pompe centrifuge:

- **Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe**

Pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, la pompe doit fournir une certaine pression appelée hauteur manométrique totale, cela dépend des conditions d'aspiration et de refoulement (augmentation de pression que la pompe peut communiquer au fluide).

La grandeur HMT représente la hauteur de liquide qui pourra être obtenue dans la tuyauterie de refoulement par rapport au niveau du liquide à l'aspiration. [2]

$$\text{HMT} = (p_r - p_a) / \rho \cdot g \quad [\text{m}] \quad (\text{I.1})$$

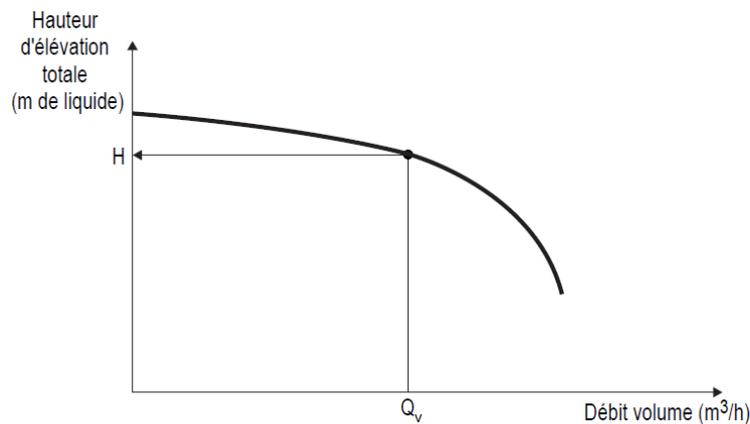


Figure (I.11) : Courbe caractéristique hauteur d'élévation fonction du débit volume

- **Puissance**

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q_v \cdot \text{HMT} \quad [\text{W}] \quad (\text{I.2})$$

$$P_a = C \cdot \omega = C \cdot \frac{n\pi}{30} \quad [\text{W}] \quad (\text{I.3})$$

- **Rendement globale de la pompe**

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{I.4})$$

- **Nombre de tours spécifiques  $n_s$**

Le nombre de tour spécifique notée  $n_s$  s'exprime par la relation suivant :

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q_v}}{H^{3/4}} \quad [\text{tr}/\text{min}] \quad (\text{I.5})$$

Si  $20 < n_s < 100$  tr/min c'est une pompe centrifuge

### I.3.4. Critères de choix d'une pompe centrifuge : [1]

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation. Les données nécessaires pour un dimensionnement correctes sont:

- Le débit désiré
- La hauteur géométrique à l'aspiration
- La hauteur géométrique au refoulement

- Le diamètre de la conduite

### I.3.5. Avantages et inconvénients des pompes centrifuges : [1]

#### 1) Avantage:

- Faible encombrement.
- Bruit négligeable.
- Simplicité de construction.
- Régularité dans le fonctionnement.
- Aptitude au fonctionnement à grande vitesse, donc l'accouplement peut se faire directement avec des moteurs électriques ou des moteurs diesels.

#### 2) Inconvénients:

- A faible débit et aux grandes hauteurs de refoulement, le rendement diminue.
- Phénomène de cavitation en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.
- Diminution de la hauteur de refoulement en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.

### I.4. Généralités sur les moteurs asynchrones

La machine asynchrone est un système dynamique non linéaire. Par conséquent, sa commande nécessite la disponibilité d'un modèle représentant fidèlement son comportement au niveau de ses modes électrique, électromagnétique et mécanique. [4]

**I.4.1. Constitution de la machine asynchrone:** La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source.

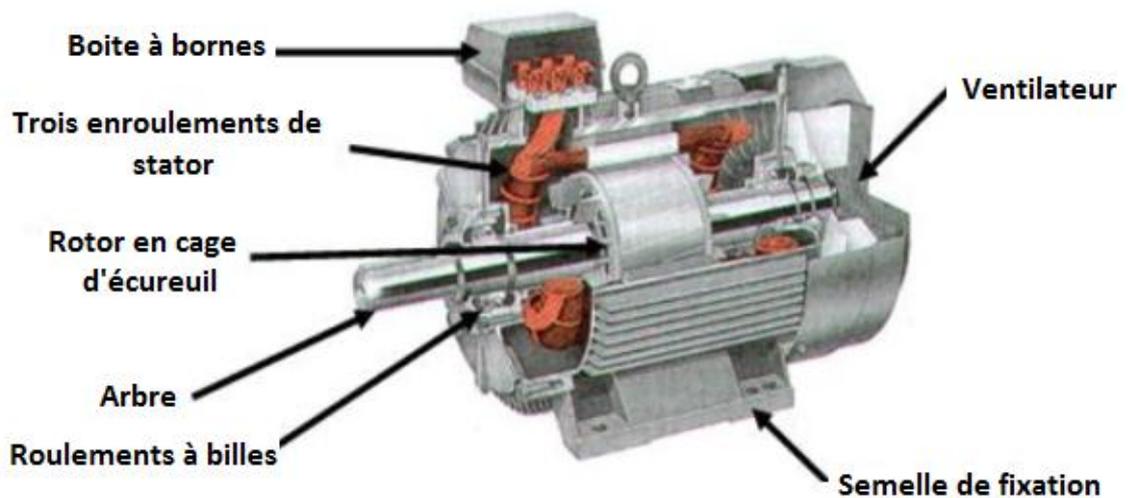


Figure ( I.11) : Les éléments de constitution d'une machine asynchrone

**I.4.1.1. Le stator:** Le circuit magnétique est un empilement de tôles d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude (figure I.12). Le bobinage statorique est constitué de deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines.

Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Quant aux têtes de bobines elles permettent la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique.

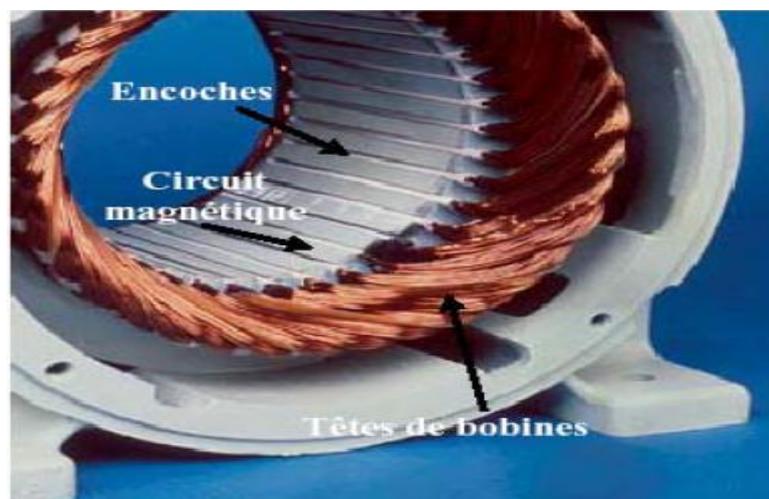


Figure ( I.12) : stator d'une machine asynchrone

**I.4.1.2. Le rotor :** Le circuit magnétique du rotor est constitué d'un assemblage de tôles ferromagnétiques rainurées. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre.

Dans les plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un noyau. On trouve deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil. [5]

**a) Rotor à cage :** il est constitué par un empilement de tôles percées de trous, dans les quelles, on loge des barres conductrices. Ces barres sont court-circuitées à leurs extrémités par des couronnes conductrices, ce qui constitue une véritable cage d'écureuil.

**b) Rotor bobiné :** au lieu de loger des barres dans le fer du rotor, on peut disposer des conducteurs dans les encoches et réaliser un bobinage polyphasé (généralement triphasé) similaire à celui du stator. [6]



Figure ( I. 13) :Type de rotor

**I.4.2. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone:** Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant.

**I.4.3. Les avantages et les inconvénients :** [6]

**1) Avantages :**

- Structure simple.
- Robuste et facile à construire.
- Utilisé dans la puissance moyenne et élevés.
- Relié directement aux réseaux industriels à tension et fréquence .
- Il tourne à vitesse variable différante de la vitesse synchrone.
- Il peut être varie la vitesse de rotation.
- Il est utilisée pour la réalisation de la quasi-totalité de l'entraînement à vitesse.

**2) Inconvénients :**

- Le couple de démarrage très élevé que les couples nominales.
- La vitesse dépend de la charge.
- Variation de vitesse (nécessité d'un variateur de vitesse).

## I.5. Accouplement [1]

**I.5.1. Définition:** Les accouplements sont des dispositifs qui assurent une liaison entre l'arbre moteur et l'arbre d'une machine, ce qui permet de transmettre la puissance du moteur à la machine concernée. Dans cette fonction :

- Ils offrent la possibilité de dissocier deux arbre lorsqu'il est nécessaire ;

Ils tolèrent les petits défauts d'alignement dû au déplacement des matériels en service

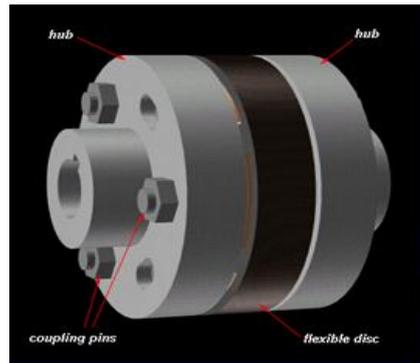


Figure ( I.14) : schémas d'un accouplement

### I.5.2. Différents Types d'accouplement

On distingue plusieurs types d'accouplement :

a ) Accouplement mécanique

- Accouplement à mâchoires.
- Accouplement flexacier.
- Accouplement à pignon.

b) Accouplement hydraulique

c) Accouplement magnétique

### I.5.3. Critères de choix d'un accouplement

Le choix d'un accouplement tient compte des critères suivants :

- La durée de vie.
- Le facteur d'amortissement.
- L'encombrement.
- Les erreurs admissibles de centrage.
- L'inertie des masses.
- La facilité de montage.

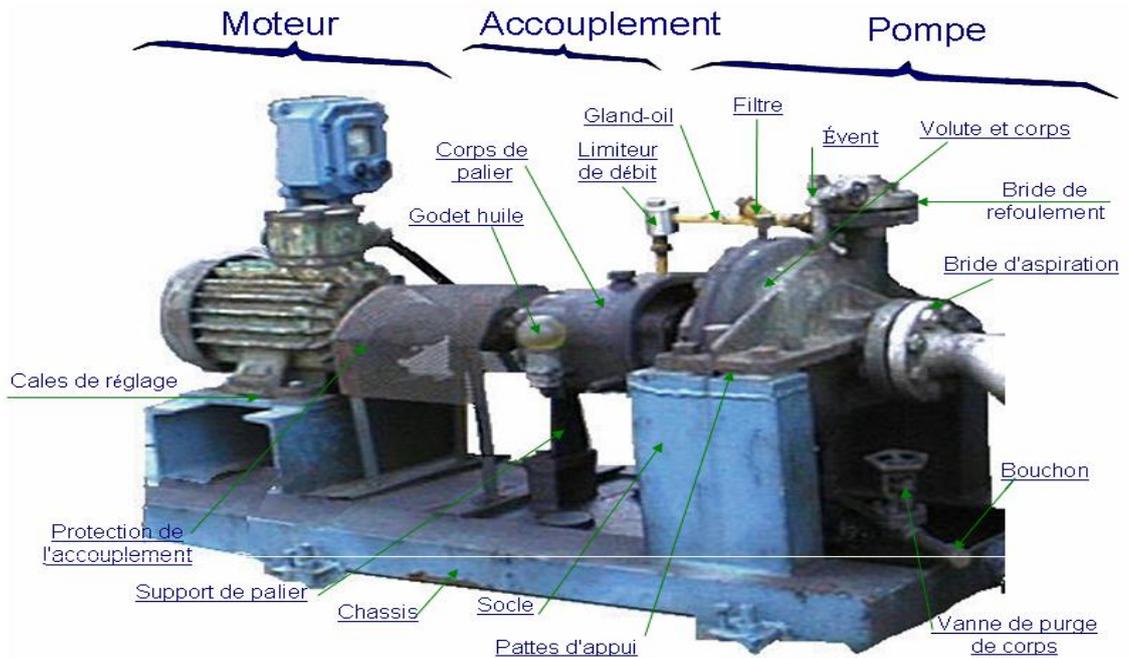


Figure ( I.15) : Exemple de motopompe centrifuge

## I.6. Etude technique de la pompe GA 1102

**I.6.1. Description et rôle de la pompe :** La pompe d'expédition GA 1102 est une pompe centrifuge mono cellulaire a double aspiration, qui travail a l'horizontal son rôle et d'aspirer le brut des réservoirs pour augmenter sa pression, et l'expédier vers l'unité de stockage (haoud el hamra) à 30 km du centre de production

À travers un pipe de 20 pouces de diamètre , la pression d'aspiration est de 05 bars et le refoulement est de 20 bars.

La vitesse de rotation est de 2988 tr/ min

Et d'un débit de 1480 m<sup>3</sup>/h

**I.6.2. Le principe de fonctionnement:** Son principe de fonctionnement consiste a ce que le moteur électrique d'une puissance de (610kw) et alimentée en tension triphasée de (5500v) fait tourner le rotor de la pompe sur le quel est monter un impulseur conçu pour aspirer le brut a travers deux canal d'aspiration et refouler dans un seul canal de refoulement ce que nous donne un rendement de deux pompe avec un minimum d'énergie.

### I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu les caractéristiques de cette motopompe, et son rôle dans le procès, Par la description de la pompe centrifuge et spécialement la pompe GA 1102 et aussi, le moteur qui l'entraîne.

## **CHAPITRE II**

### **Généralité Sur La Fiabilité, Maintenabilité et La Disponibilité**

## **II.1.Introduction du maintenance**

Aujourd'hui, il ne s'agit pas seulement de réparer est prévenir, il faut aussi savoir empêcher de tomber en panne, plus qu'une simple technique d'intervention efficace sur le fonctionnement, la maintenance est devenue une technique d'anticipation, d'organisation et de gestion.

## **II.2.Définition**

La maintenance est un ensemble des travaux destinés à soutenir l'aptitude au travail au la réparation d'un matériel pendant son utilisation, son stockage, ou son transport.

Conserver l'état de la machine ;

Assurer la qualité de la production avec un coût global optimal.

## **II.3.Le rôle de la maintenance**

La maintenance doit assure la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, en maintenance le potentiel d'activités et en tenant compte de la politique défini par l'entreprise.

## **II.4.Le but de la maintenance**

- Redonner au matériel des qualités perdues et nécessaires aux fonctionnements
- Faire le nécessaire pour assure le bon fonctionnements du bien, donc de réduire le nombre de défaillances et augmenter le MTBF , si ce bien subit une défaillance , on doit utiliser tous les moyens qu'il dispose
- Pour le ramener le plus vite possible en état de fonctionnement et par la suit diminuer MTTR.

**II.5.L'objectif de la maintenance :** Le service de la maintenance doit fixer régulièrement des objectifs pour qu'il soit bien efficace

### **II.5.1.objectif opérationnelle**

- 1- fournir un rendement maximum pendant les cinq premières années
- 2- maintenir les équipements:
  - dans un état acceptable
  - dans les meilleures conditions possibles
- 3- assurer la disponibilité de l'outil de productions
- 4- augmenter la durée de vie des équipements
- 5- assurer un service efficace pour l'élimination des pannes instantanées.

### **II.5.2.objectif financiers**

- 1- Minimise les dépenses et maximiser bénéfices
- 2- Assurer la maintenance selon les capacités budgétaires.

## II.6.Type de maintenance

**II.6.1. Maintenance préventive :** maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

On a le choix entre plusieurs politiques de maintenance préventive.

Les plus fréquentes sont les suivantes.

**II.6.1.1. 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.

On fixe des règles strictes pour déterminer les dates de maintenance selon l'importance d'un équipement dans un système :

- un âge fixé de l'équipement ; il faut alors disposer d'un moyen pour connaître l'âge de l'équipement durant la vie du système ;
- un âge fixé du système ; c'est le cas des révisions des automobiles préconisées par les constructeurs ;
- des dates fixes : elle est plus coûteuse en temps et en pièces de rechange.

**II.6.1.2. Maintenance conditionnelle :** consiste à vérifier périodiquement l'état des pièces qui se dégradent et à n'intervenir que si l'état de dégradation est suffisamment avancé pour compromettre la fiabilité du bien.

Elle nécessite des moyens de mesure ou de test permettant d'apprécier l'état de dégradation. L'évolution des capteurs de mesure (par exemple, les capteurs de vibrations) et des dispositifs d'analyse automatique (par exemple, l'analyse des huiles de graissage) associés aux télémessures et aux ordinateurs rendent cette politique plus accessible.

Elle est très efficace, mais la gestion des ressources de maintenance est plus difficile et nécessite souvent le recours à l'ordinateur.

**II.6.1.3. Maintenance prévisionnelle :** maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluations de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

Elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée.

Lorsqu'elle est techniquement réalisable et économiquement rentable, cette forme de maintenance est sûrement la plus élaborée et conduit à la meilleure optimisation de la maintenance.

**II.6.2. Maintenance corrective** : maintenance exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Cette maintenance corrective peut être décomposée encore en :

**II.6.2.1. Maintenance palliative** : consiste à pallier provisoirement l'effet d'une défaillance afin de permettre la continuité de l'exploitation du bien sans pour autant traiter les causes. L'action exécutée est presque toujours une action de dépannage.

Si cette maintenance n'est pas complétée par une action de fond destinée à traiter la cause première, on est conduit à constater la répétition de la défaillance en question et on parle alors de défaillance répétitive.

**II.6.2.2 Maintenance curative** : Il s'agit là d'une maintenance qui s'attaque réellement au fond du problème en essayant de « soigner » le mal et traitant la cause première, si le diagnostic permet de remonter jusqu'à cette cause première.

**II.6.3. Auto-maintenance** : exécutée par un utilisateur ou un personnel d'exploitation du bien (entretien de routine : graissage ou les réglages simples...). Ce type ne demandant pas le déploiement de moyens logistiques importants (pièces de rechange, outillage, documentation, compétences, ...).

## **II.7. Les opérations de la maintenance corrective**

Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne la localisation de la défaillance ; il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.
- Le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification soit et du matériel ou du logiciel.
- Le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation.

## II.8. Diagramme des types de la maintenance

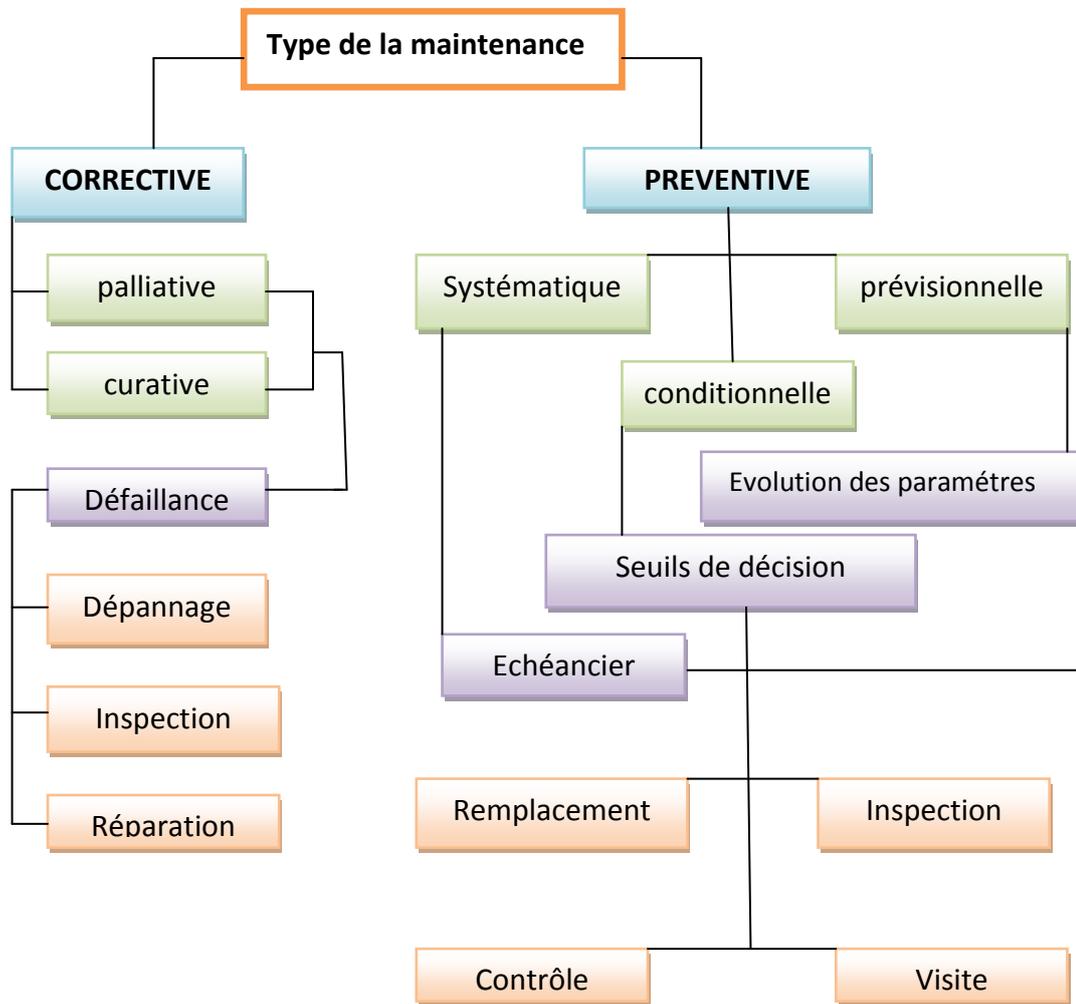


Figure (II.1): Diagramme des types de la maintenance

## II.9. Les niveaux de maintenance

Une politique de maintenance bien définie doit clairement identifier les niveaux de maintenance réalisés à l'intérieur de l'entreprise et ceux confiés à des entreprises de sous traitante ou à des constructeurs.

**II.9.1.premier niveau:** « Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc. »

**II.9.2.Deuxième niveau:** « Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventives, telles que graissage ou contrôle du bon fonctionnement. »

**II.9.3.Troisième niveau:** « Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général, réalignement des appareils de mesure. »

**II.9.4.Quatrième niveau:** « Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés. »

**II.9.5.Cinquième niveau:** « Rénovation, reconstruction ou exécution de réparations confiées à un atelier central ou à une unité extérieure. » [7]

## **II.10.Loi de Pareto et la courbe ABC**

**II.10.1.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.

**II.10.2.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.

### **II.10.3.But de la méthode ABC**

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets: [8]

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

## II.11. Etude de FMD

**II.11.1. 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 .

### II.11.1.1. Les différents types de fiabilité:

- a) **fiabilité intrinsèque** : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.
- b) **fiabilité extrinsèque** : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine.
- c) **fiabilité implicite**: basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.
- d) **fiabilité explicite**: dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

### II.11.1.2. Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité

- a) **Variable aléatoire**: on appelle variable aléatoire (x) celle à laquelle nous pouvons associer une probabilité pour chaque valeur de (x)
  - variable aléatoire continue: intervalle de temps entre défaillance consécutive d'un matériel.
  - variable discrète : nombre de défaillance d'un matériel sur une période donnée ou pour une quantité fabriquée.
- b) **Densité de probabilité**: généralement en fiabilité elle est notée f(t) et représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps (t).
- c) **La fonction de répartition**: f(t) est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps [0, T].

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (II.1)$$

- d) **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).

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

e) **Taux de défaillance:** Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée  $t$  et encore survivante.

La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge  $t$  qu'elle a déjà et l'âge  $T + dt$  est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre  $T$  et  $T + dt$ , sachant qu'elle a survécu jusqu'à  $T$ . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

$$\lambda(t) dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \quad (\text{II.2})$$

Avec  $\lambda(t)$  taux de défaillance de la pièce d'âge  $t$ .

$$\text{On a donc : } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{II.3})$$

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

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

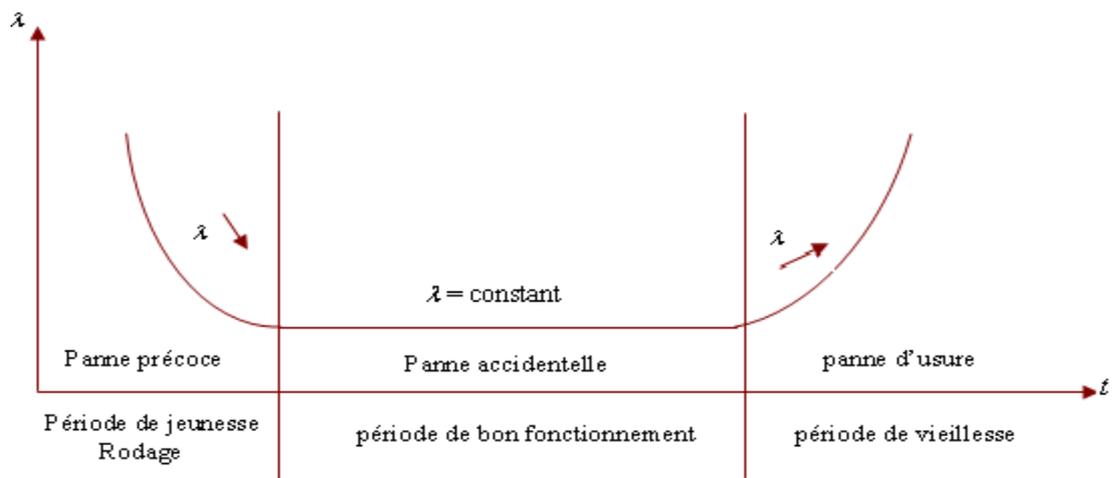


Figure (II.2): Courbe en baignoire

Cette courbe représente trois périodes :

- **La période de jeunesse ou de rodage :** correspond à l'apparition de défaillances, dues à des mal façons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabricant 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. [9]

**f) La MTBF :**

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est :

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}} \quad (\text{II.4})$$

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (\text{II.5})$$

**II.11.1.3. Loi de Weibull:** La loi de weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique.

Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- le paramètre de position  $\gamma$  qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé) ;
- le paramètre d'échelle  $\eta$  qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution ;
- le paramètre de forme  $\beta$  qui est associé à la cinétique du processus observé

$$\text{Densité de probabilité : } f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \text{ avec } t \geq \gamma \quad (\text{II.6})$$

$$\text{Fonction de répartition : } F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Loi de fiabilité: } R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{II.8})$$

Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{II.9})$$

Remarque : si  $\begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$  ( II.10)

$a = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$  et  $b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$  ( II.11)

Moyenne des temps de bon fonctionnement:  $MTBF = \gamma + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$  ( II.12)

En fonction de  $\beta$  ; d'où  $MTBF = \gamma + a \eta$  ( II.13)

Le paramètre de position  $\gamma$  étant souvent nul, on se ramène à

$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)$  ( II.14)

$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$  ( II.15)

$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$  ( II.16)

$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$  ( II.17)

Donc  $\gamma = 0$  ou, en faisant le changement de variable,  $t_1 = t - \gamma$ , on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres, définie pour  $t$  (ou  $t_1$ ) positif ou nul, dont les caractéristiques sont illustrés sur la (Figure II-3)

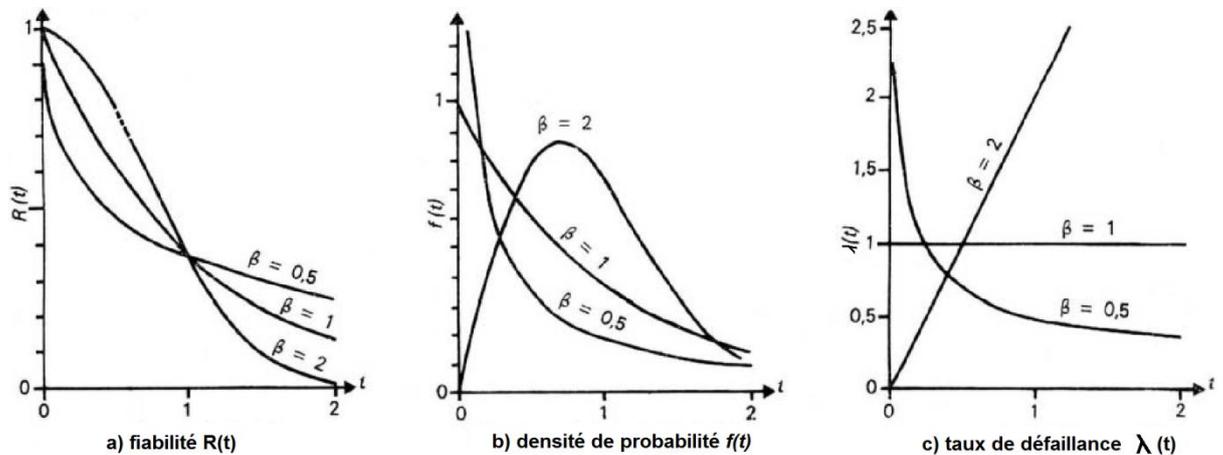


Figure (II.3): Principales propriétés de la distribution de Weibull

**a) Application à la fiabilité**

Suivant les valeurs de  $\beta$ , le taux de défaillance est

Soit décroissant ( $\beta < 1$ ),

Soit constant ( $\beta = 1$ ),

Soit croissant ( $\beta > 1$ ).

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un

dispositif (courbe de baignoire).

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

### b) Estimation des paramètres de la loi de weibull

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres  $(\beta, \eta, \gamma)$  de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

- **Graphique à échelle fonctionnelle**

Si pour la distribution de Weibull à 2 paramètres, on fait la transformation :

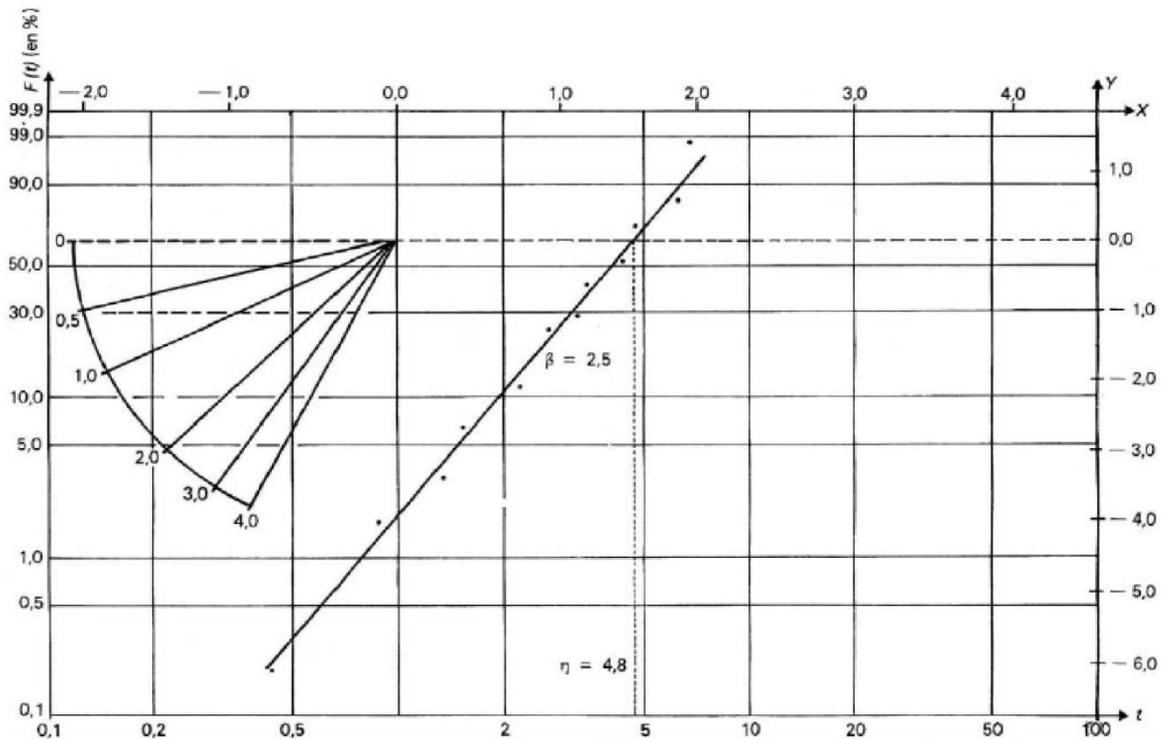


Figure (II.4): Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait)

- A : Axe de  $t$
  - B : axe de  $F(t)$  (en %)
  - a :  $\text{Ln}(t)$
  - b :  $\text{Ln}(\text{Ln}(1/[1-F(t)]))$
  - X et Y : permettent de déterminer béta ( $Y = \text{béta} X$ )
- (sur Figure III-4)

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance  $F(i)$ , approximation de  $F(t)$ .

**c) Préparation des données :**

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- 3) N = nombre de Temps de bon fonctionnement
- 4) Recherche des données F(i), F(i) représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ième défaillant.

On a 3 cas différents :

1- Si  $N > 50$ , regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum R_i}{N} \approx F(t) \quad (\text{II.18})$$

2- Si  $20 < N < 50$ , On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens):

$$F(i) = \frac{N_i}{N+1} \approx F(t) \quad (\text{II.19})$$

3- Si  $N < 20$ , On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{N_i - 0,3}{N + 0,4} \approx F(t) \quad (\text{II.20})$$

Et on fait le Tracé du nuage des points M (F(i), t) :

**Recherche de  $\gamma$  :**

Si le nuage de points correspond à une droite, alors  $\gamma = 0$ . ( $\gamma = 0$ )

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur ( $\gamma$ ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

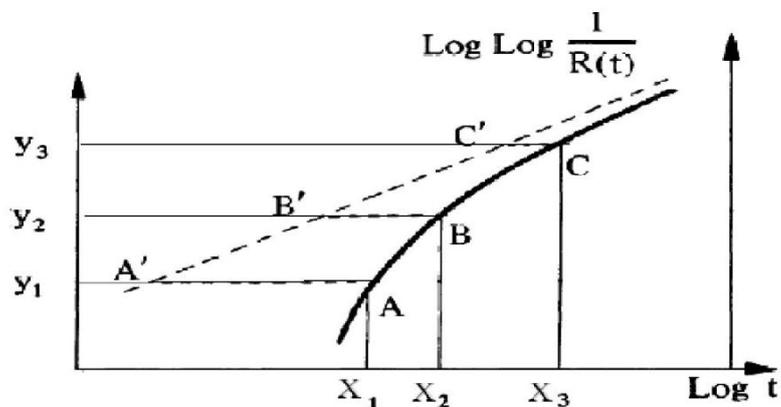


Figure (II.5): redressement de la courbe par translation

Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$Y = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (\text{II.21})$$

Considérons les points :

A(X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>) ; B(X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>) ; C(X<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>)

$$\text{Et } \begin{cases} Y_3 > Y_2 > Y_1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{cases}$$

En arrangeant on obtient

$$Y = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)} \quad (\text{II.22})$$

### Recherche de $\eta$ :

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse  $t = \eta$ .

### Recherche de $\beta$ :

- béta est la pente de la droite de corrélation
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par  $\eta = 1$  On lit

ensuite béta sur l'axe B. [10]

**II.11.2. La maintenabilité:** 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 :

$$\text{MTTR} = \frac{\sum \text{TTR}}{N} \quad (\text{II.23})$$

#### II.11.2.1. Taux de réparation $\mu$ :

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \quad (\text{II.24})$$

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

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (Figure II-6) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en  $t=0$ .

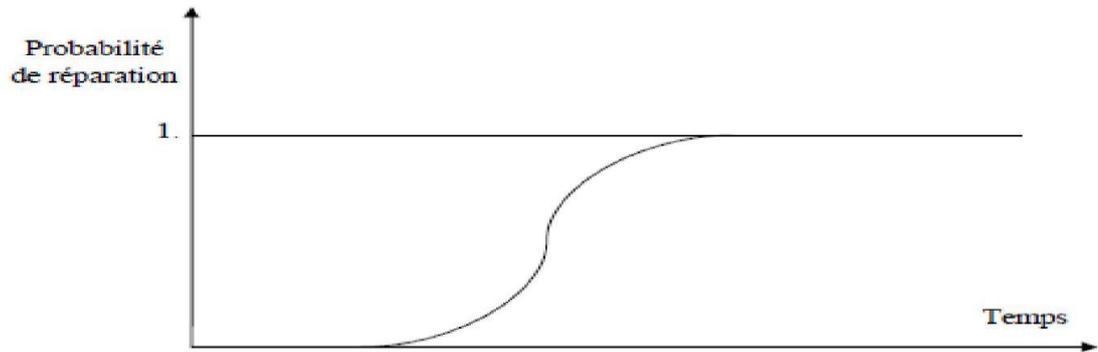


Figure (II.6): probabilité de réparation au cours de temps

### II.11.2.2. Amélioration de la maintenabilité

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- le développant des documents d'aide à l'intervention,
- l'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- l'accessibilité.
- l'intrérchangeabilité et la standardisation.
- la facilité de remplacement .
- l'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes de état , diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

le maintenancier doit améliorer la aintenabilité par les action suivantes :

- 1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel .
- 2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4- disponibilité des accessoires outillages

**II.11.3. La disponibilité:** 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. [9]

### II.11.3.1. Les type de disponibilité

a) **disponibilité intrinsèque**: cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (\text{II.25})$$

### b) disponibilité instantanée

pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance  $\lambda$  constante et d'un taux de réparation  $\mu$  constant, la disponibilité instantanée est:

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-t(\lambda + \mu)} \quad (\text{II.26})$$

### II.11.3.2. Amélioration de la disponibilité:

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

### II.11.4. La relation entre MUT, MTBF, et MTTR

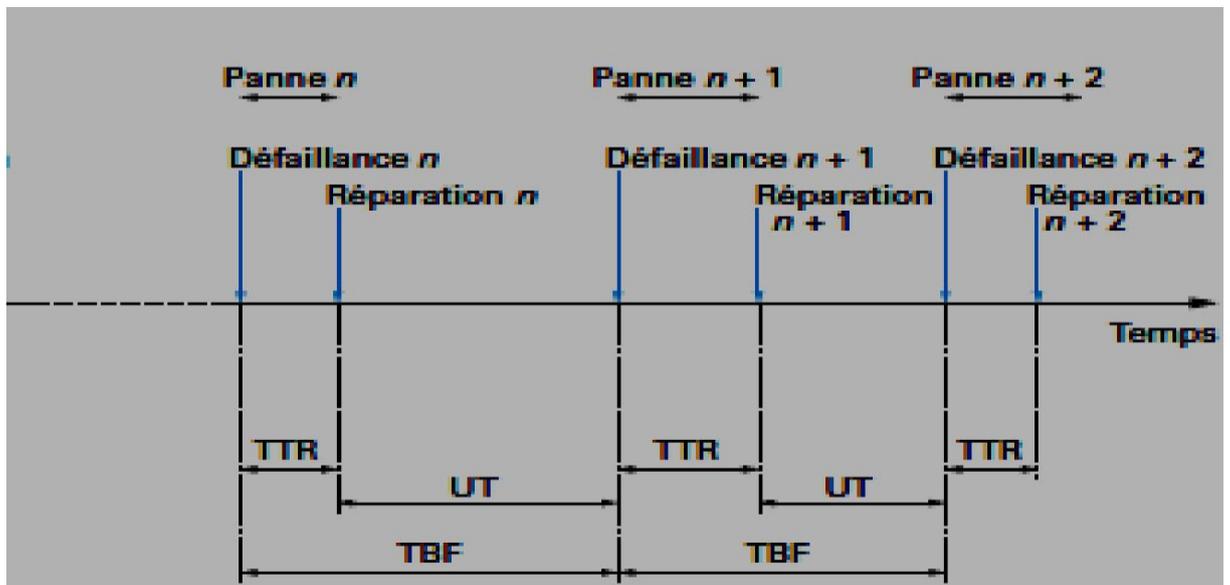


Figure (II.7): La relation entre MUT, MTBF, et MTTR

$$MTBF = MUT + MTTR$$

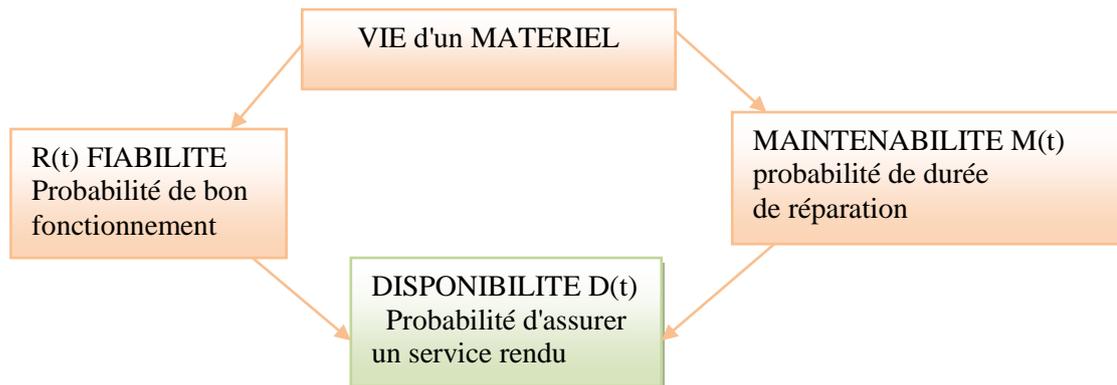
En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR et MUT, avec le risque de mal se comprendre évoqué au début du paragraphe ; on peut proposer les expressions françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

TTR temps de réparation,

TBF temps de bon fonctionnement,

UT temps entre défaillances.

### II.11.5. La relation entre les notions FMD



Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable.

### II.12. Conclusion

La concurrence effrénée et la course à la compétitivité incitent l'entreprise à rechercher la qualité totale et surtout la réduction des coûts. La maintenance est ainsi devenue l'une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Elle vise donc moins à remettre en état l'outil de travail qu'à anticiper ses dysfonctionnements.

L'arrêt ou le fonctionnement anormal de l'outil de production, et le non respect des délais qui s'en sui, engendrent des surcoûts que les entreprises ne sont plus en état de supporter. L'entreprise ne doit plus subir les événements, elle doit les prévoir et analyser leurs effets sur le long terme. Autrefois curative, la maintenance devient préventive et contribue à améliorer la fiabilité des équipements et la qualité des produits. Cette maintenance préventive se traduit par la définition de plans d'actions et d'interventions sur l'équipement, par le remplacement de certaines pièces en voie de dégradation afin d'en limiter l'usure, par le graissage ou le nettoyage régulier de certains ensembles.

**CHAPITRE III**  
**analyse FMD de la pompe GA 1102**

### III.1. Exploitation de l'historique:

- L'historique de panne (la pompe d'expédition GA1102);

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau III. 1), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation.

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TTR (h)	TBF (h)	TA (h)	Cause	Action
1	15/01/2010	09/08/2010	03	4920	24	Haut température palier avant	Changement d'huile
2	10/08/2010	30/12/2010	03	3384	24	Haut température palier arrière	Changement d'huile
3	31/12/2010	06/04/2011	08	2280	24	Fuite au niveau de la garniture mécanique	Changement des deux garniture mécanique
4	07/04/2011	16/10/2011	12	4536	72	Bruit anormal de palier avant	Changement de roulement avant
5	19/10/2011	23/04/2012	24	4452	36	Haut température palier avant	Débouchage circuit d'eau
6	25/04/2012	18/12/2012	07	5668	20	Vibration important palier arrière	Changement roulements Arrière
7	19/12/2012	31/07/2013	48	5316	60	Vibration sur palier avant et arrière	Démontage et équilibrage de rotor
8	03/08/2013	13/10/2013	24	1659	45	Vibration palier avant	Contrôle d'alignement Du groupe
9	15/10/2013	23/12/2013	02	1638	18	Haut vibration palier avant	Contrôle de la sonde de Vibration

Tableau III-1 Dossier historique de la pompe

## III.2. L'application Pratique des méthodes d'analyse:

### III.2.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»:

**Définition :** Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

N°	organe	TA (h)	Cumul TA	% TA	Nombre de panne	Cumulées des pannes	% de pannes Cumulées
1	palier avant	195	195	60,37	5	5	55,55
2	palier avant et arrière	60	255	78,94	1	6	66,66
3	palier arrière	44	299	92,56	2	8	88,88
4	garniture mécanique	24	323	100	1	9	100

Tableau III-2 L'analyse ABC (Pareto)

### III.2.2. La courbe d'analyse ABC :

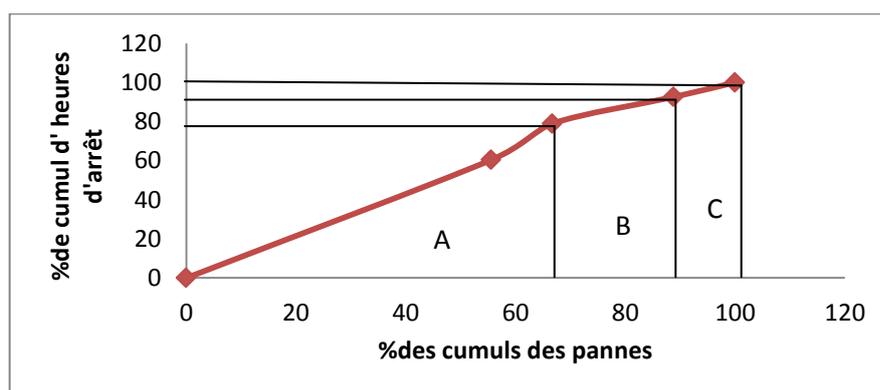


Figure (III.1) : La Courbe d'ABC

#### -Interprétation des résultats

**Zone "A"**: Dans la majorité des cas, on constate que environ 66,66 % des pannes représente 78,94 % des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, zone des priorités (palier avant, palier avant et arrière).

**Zone "B"**: Dans cette tranche, les 22,22 % des pannes représentent 13,62 % supplémentaire (palier arrière).

**Zone "C"**: Dans cette zone les 11,12 % des pannes restantes ne représentent qu'ont 7,44 % des heures d'arrêts (garniture mécanique).

### III.3.calcul les paramètres de weibull:

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians  $F(i) = \frac{\sum n_i - 0,3}{N + 0,4}$  (dans notre cas  $N = 9 \leq 20$ ) et on trace la courbe de WeiBull :

N°	TBF(h)	n	$\sum n_i$	F(i)	F(i) %
1	1638	01	01	0,0744	7,44
2	1659	01	02	0,1808	18,08
3	2280	01	03	0,2872	28,72
4	3384	01	04	0,3936	39,36
5	4452	01	05	0,5000	50
6	4536	01	06	0,6063	60,63
7	4920	01	07	0,7127	71,27
8	5316	01	08	0,8191	81,91
9	5668	01	09	0,9255	92,55

Tableau III-3 : Fonction de réparation réelle

A partir de papier de weibull ou logiciel Statistics, (Fig.2).

On déduire les paramètres:  $\beta, \eta$  et  $\gamma$ .

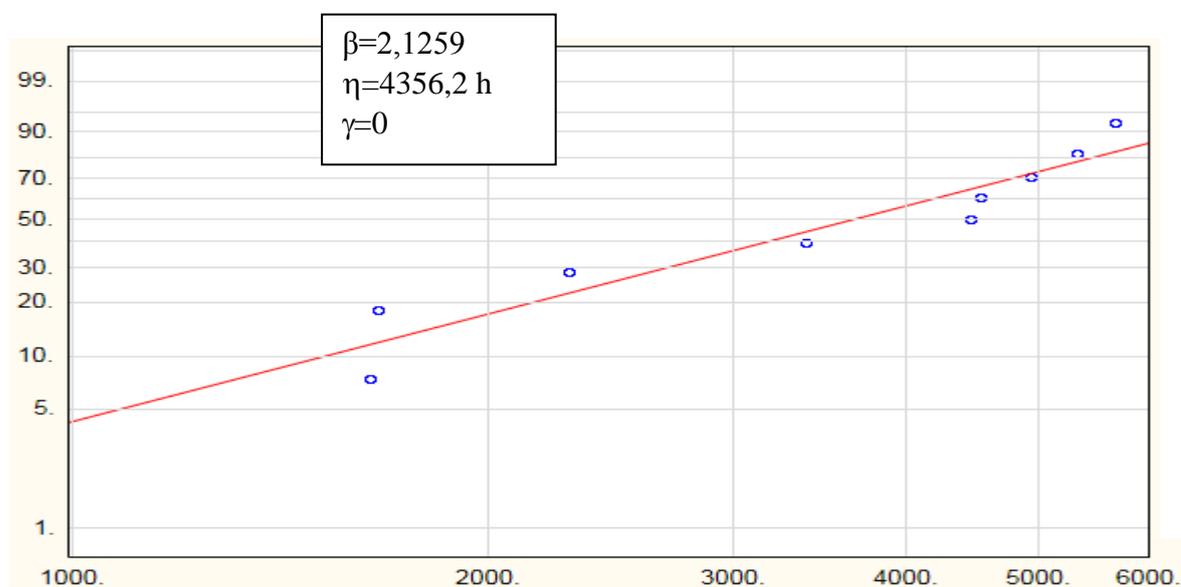


Figure (III.2): papier de WeiBull. en logiciel statistica

$\gamma = 0$  par ce que les pannes passent à l'origine du temps.

**III.3.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV):**

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de  $\alpha = 20\%$ . Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F_e(t)$  et la fonction réelle  $F(t)$  et prendre le maximum en valeur absolue  $D_{n,max}$ .

Cette valeur est comparée avec  $D_{n,\alpha}$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov smirnov (voir annexe1). Si  $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$  On refuse l'hypothèse.

N°	TBF	F (i)	F(t)	$D_{Nmax} =  F(i) - F(t) $
01	1638	0,0744	0,1176	0,0432
02	1659	0,1808	0,1206	0,0602
03	2280	0,2872	0,2232	0,064
04	3384	0,3936	0,4427	0,0491
05	4452	0,5000	0,6492	<b>0,1492</b>
06	4536	0,6063	0,6638	0,0575
07	4920	0,7127	0,7262	0,0135
08	5316	0,8191	0,7829	0,0362
09	5668	0,9255	0,8263	0,0992

Tableau III-4: test de kolmogrov-smirnov

D'après la table de K-S:

$D_{Nmax} < D_{N\alpha}$  Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale  $D_{Nmax} = |F(i) - F(t)|$ .

$D_{Nmax} = 0,1492$  tandis que  $D_{N,\alpha} = D_{9,0.20} = 0,339$ .

$0,1492 < 0,339$  donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

**III.3.2. Exploitation les paramètres de WEIBULL :****1- Le MTBF :**

Le tableau de MTBF donne  $A = 0,8857$ ,  $B = 0,443$  (voir annexe tab.2).

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

$MTBF = 0,8857 \times 4356,2 + 0$

$MTBF = 3858,1092$  h.

**1- La densité de probabilité en fonction de MTBF :**

$$f(t=MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} = 0,0004256 \times 0,47 = 0,0002 = 0,02 \%$$

**2- La fonction de réparation en fonction de MTBF :**

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

$$F(t=MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{3858,1092}{4356,2}\right)^{2,1259}} = 0,53 = 53\%.$$

**3- La fiabilité en fonction de MTBF :**

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t=MTBF) = 1 - 0,53 = 0,47.$$

$$R(MTBF) = 47\%.$$

On remarque que la fiabilité de la pompe est faible.

**4- Le taux de défaillance en fonction de MTBF :**

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

$$\lambda(t=MTBF) = \frac{2,1259}{4356,2} \cdot \left(\frac{3858,1092}{4356,2}\right)^{2,1259-1} = 0,0004256 \text{ panne/heures.}$$

**5- Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique:**

$$R(t) = 80\% \Rightarrow t = ?$$

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}.$$

$$t_{\text{sys}} = 2136 \text{ heures.}$$

Pour garder la fiabilité de la pompe 80% il faut intervenir chaque temps systématique 2136 h.

### III.4.Étude de modèle de weibull:

a- La fonction de la densité de probabilité :

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

TBF(h)	1638	1659	2280	3384	4452	4536	4920	5316	5668
f(t)×10 <sup>-3</sup>	0.1431	0.1446	0.1828	0.2046	0.1754	0.1716	0.1532	0.1325	0.1140

Tableau III-5: Calcul la fonction de la densité de probabilité

a.1.Courbe de la densité de la probabilité f(t) :

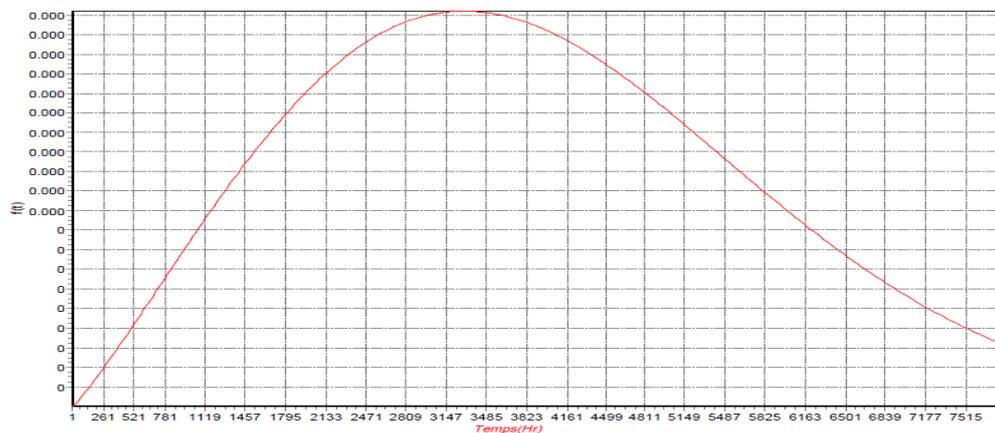


Figure (III.3): La Courbe Densité De Probabilité

a.2.Analyse de la courbe :

D'après cette courbe on remarque que la fonction f(t) (densité de probabilité) augmente avec la progression du temps jusqu'à le temps (t= 3250 h) et après cette valeur la fonction f(t) diminue avec le temps.

**b- Fonction de répartition F(t) :**

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

TBF(h)	1638	1659	2280	3384	4452	4536	4920	5316	5668
F(t)	0,1176	0,1206	0,2232	0,4427	0,6492	0,6638	0,7262	0,7829	0,8263

Tableau III-6: Fonction de répartition F(t)

**b.1. Courbe fonction de répartition F(t) :**

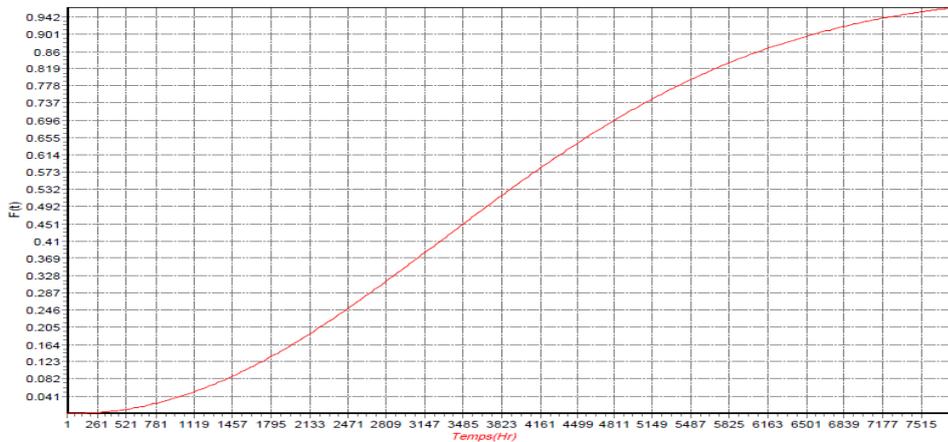


Figure (III.4): La Courbe De Fonction Répartition

**b.2. Analyse de la courbe :**

La fonction de défaillance croissant en fonction de temps, et pour  $t=MTBF$ ,  
 $F(MTBF)=0,53=53\%$

**c- La fiabilité :**

La fonction fiabilité de celle de répartition:  $R(t) = 1 - F(t)$ , après calcul la fiabilité de la pompe aux temps  $t=MTBF$ , on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la pompe n'est pas fiable à  $t=MTBF$

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

$$R(t=MTBF) = 0,47$$

TBF(h)	1638	1659	2280	3384	4452	4536	4920	5316	5668
R(t)	0.8824	0.8724	0.7768	0.5573	0.3508	0.3362	0.2738	0.2171	0.1737

Tableau III-7: Calcul de la fiabilité

**c.1. Courbe de la fiabilité :**



Figure (III.5): La Courbe De la Fonction Fiabilité

**c.2. Analyse de la courbe :**

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple l'usure.

L'amélioration de la fiabilité de la pompe passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences,

**d- Le taux de défaillance :**

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

TBF(h)	1638	1659	2280	3384	4452	4536	4920	5316	5668
$\lambda(t) \times 10^{-3}$	0.1622	0.1645	0.2354	0.3672	0.5001	0.5107	0.5596	0.6106	0.6563

Tableau III-8: Calcul le taux de défaillance

**d.1. Courbe du taux de défaillance :**

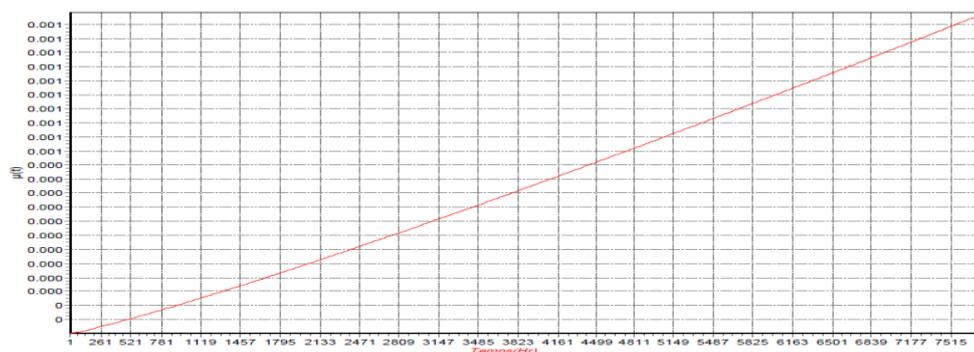


Figure (III.6): Le courbe taux de défaillance

**d.2. Analyse de la courbe :**

Le taux de défaillance est croissant en fonction de temps. Cette augmentation est considérée normale c.-à-d. né pas rapide.

**III.5. Calcul la Maintenabilité de la pompe:**

D'après l'historique des pannes de la pompe:

$$MTTR = \sum TR / N.$$

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 131 / 9 = 14.55h.$$

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

Avec  $\mu = 1 / MTTR = 1 / 14.55 = 0,0687$  intervention / heure.

T(h)	20	40	60	70	80	110	130	140	150
M(t)	0.7469	0.9359	0.9838	0.9918	0.9959	0.9994	0.9998	0.9999	0.9999

Tableau III-9: La maintenabilité de la pompe

**III.5.1. courbe de la fonction de Maintenabilité :**

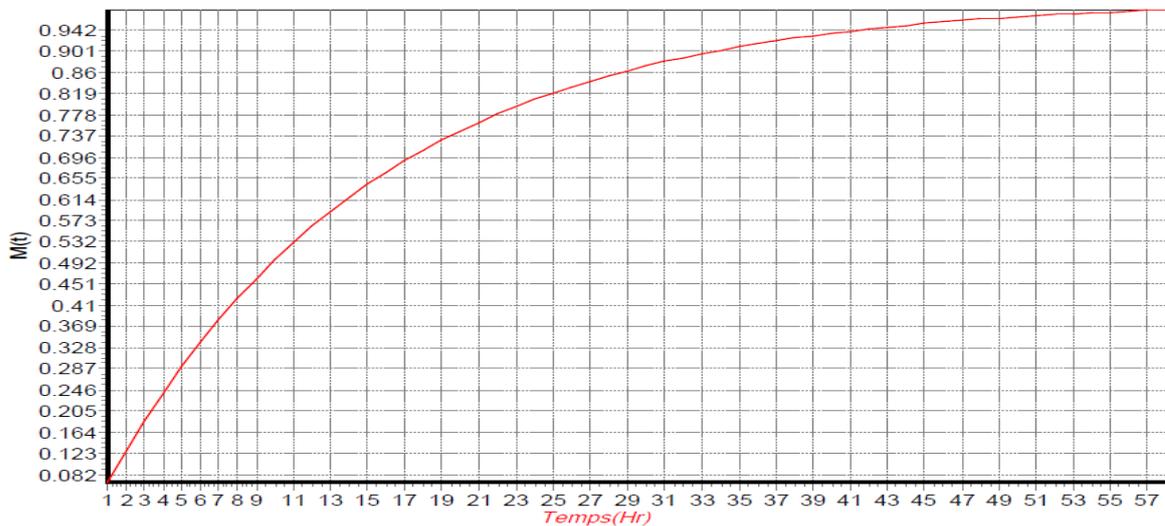


Figure (III.7): La Courbe de Maintenabilité

**III.5.2. Analyse de la courbe :**

La Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l'instant T=140 heures, la maintenable 99,99%.

**III.6.Calcul la disponibilité de la pompe:**

**III.6.1.Disponibilité intrinsèque au asymptotique :**

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{3858,1092}{3858,1092 + 14,55} = 0,996$$

**III.6.2.Disponibilité instantané :**

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{3858,1092} = 0,000259$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{14,55} = 0,068728$$

$$\mu + \lambda = 0,000259 + 0,068728 = 0,069246$$

$$D(t) = \frac{0,068728}{0,069246} + \frac{0,000259}{0,069246} e^{-0,069246t}$$

T(h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
D(t)	0.9981	0.9972	0.9967	0.9964	0.9963	0.9963	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962

Tableau III-10 Tableau de disponibilité instantané

**III.6.2.1.Courbe de la disponibilité :**

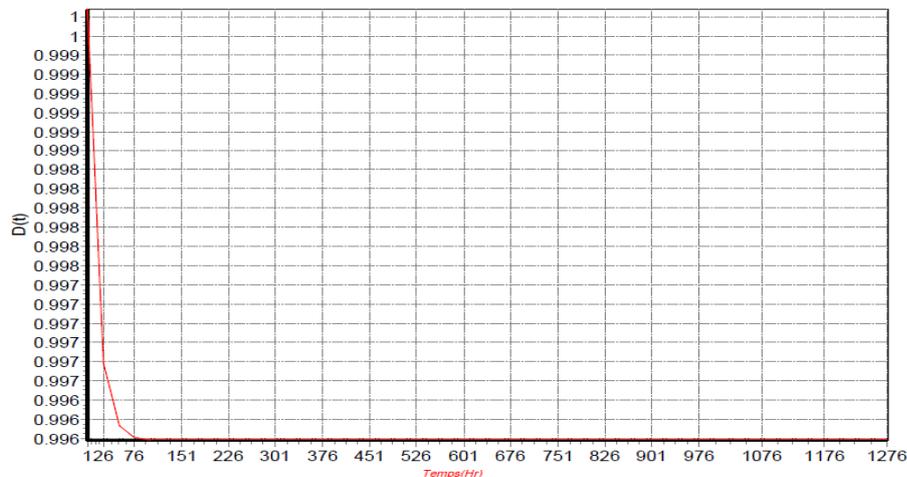


Figure (III.8): La Courbe de disponibilité instantané

### III.6.2.2. Analyse de la courbe :

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'une pompe consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenté sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa maintenabilité).

### III.7. Conclusion

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure qu'il est très important de connaître la méthode de calcul de tous les équipements des pompes centrifuges avec une étude détaillée des problèmes qu'on peut rencontrer dans la roue, volute, le diffuseur et les différents éléments de la pompe tels que joints d'étanchéité tuyauterie ..... Etc.

Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de la FMD qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité.

Pour cela vous avez proposé les remèdes suivants:

Problème	Cause	Remèdes
1- la pompe ne déplace pas le fluide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- soupapes (aspiration ou impulsion) fermées.</li> <li>- sens de rotation incorrecte.</li> <li>- la hauteur maximale créée par la pompe est inférieure à celle exigée par l'installation.</li> <li>- il y a l'entrée de l'air par le tuyau d'aspiration.</li> <li>- tuyau d'aspiration ou pompe mal amorcée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les ouvrir.</li> <li>- changer les branchements du moteur.</li> <li>- réviser l'étanchéité du tuyau.</li> <li>- augmenter la vitesse de rotation, si cela n'était possible, il serait nécessaire de monter un démarreur plus grand ou une pompe plus grande, nous consulter.</li> </ul>
2- débit ou pression insuffisants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- soupape d'aspiration ou d'impulsion mal réglées.</li> <li>- vitesse de rotation incorrecte.</li> <li>- amorçage défectueux.</li> <li>- il y a l'entrée de l'air par le système de fermeture.</li> <li>- démarreur obstrué ou usé.</li> <li>- bagues de frottements usées.</li> <li>- contre pression trop élevée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ouvrir complètement la soupape d'aspiration et chercher le point de travail avec celle d'impulsion.</li> <li>- mesurer la vitesse, vérifier la tension de réseau d'alimentation du moteur.</li> <li>- nettoyer les tuyaux.</li> <li>- les démonter et les changer.</li> <li>- démonter le système de fermeture et le réviser.</li> <li>- démonter le démarreur et l'inspecter.</li> </ul>

Problème	Cause	Remèdes
3- bruits et vibrations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- roulements usés, mal montés ou mal lubrifiés.</li> <li>- bagues de frottements usés ou mal montées.</li> <li>- axe décentré ou déformé.</li> <li>- démarreur déséquilibré ou usé.</li> <li>- écrous de fixation démarreur lâches.</li> <li>- tensions des tuyaux sur la pompe.</li> <li>- mauvais alignement entre la pompe et le moteur.</li> <li>- la pompe forme cavitation.</li> <li>- diamètres de tuyau insuffisants.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- changer les roulements : les monter à nouveau, si nécessaire, les graisser.</li> <li>- changer les bagues et les installer de nouveau.</li> <li>- le démonter et le remplacer.</li> <li>- l'équilibrer ou le changer.</li> <li>- démonter la pompe et les serrer.</li> <li>- aligner l'accouplement.</li> <li>- améliorer l'aspiration, nous consulter.</li> <li>- si cela est possible, tuyau de plus grand diamètre.</li> </ul>
4- Puissance absorbée excessive	<ul style="list-style-type: none"> <li>- densité ou viscosité du liquide supérieure à la normale.</li> <li>- mauvais alignement entre pompe et moteur.</li> <li>- roulements usés ou mal montés.</li> <li>- frottements excessifs aux parties giratoires.</li> <li>- la hauteur réelle à créer par la pompe est inférieure à celle du point de façonnage, aussi le débit et la puissance sont ils plus grands.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réduire le point de façonnage, ou changer le moteur.</li> <li>- aligner l'accouplement.</li> <li>- démonter la pompe et la nettoyer.</li> <li>- fermer partiellement la soupape d'impulsion.</li> <li>- les changer ou vérifie leur montage.</li> <li>- démonter la pompe et vérifie si le montage de tous ses éléments est correct.</li> </ul>
5-température excessive du support.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- roulements mal montés.</li> <li>- accouplements mal monté, sans séparation adéquate entre ses deux parties.</li> <li>- mauvais alignement entre pompe et moteur.</li> <li>- manque de lubrification des roulements.</li> <li>- la pompe forme cavitation.</li> <li>- pression d'aspiration élevée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bien les ajuster dans leurs logements.</li> <li>- contrôler l'accouplement.</li> <li>- aligner l'accouplement.</li> <li>- graisser les roulements.</li> <li>- étayer les tuyaux et niveler l'équipement.</li> <li>- améliorer l'aspiration, nous consulter.</li> <li>- nous consulter.</li> </ul>
6- perte de fluide par la fermeture mécanique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faces de frottements de la fermeture très usées.</li> <li>- le ressort de la fermeture mécanique est cassé ou à perdu de son élasticité.</li> <li>- les bagues toroïdales de la fermeture métallique sont cassées, déformées ou ont perdu de leur élasticité.</li> <li>- douille rechargeable rayée ou usée.</li> <li>- montage incorrect de la fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- démonter la fermeture et la remplacer.</li> <li>- démonter la fermeture et la remplacer.</li> <li>- démonter et changer la douille.</li> <li>- démonter, réviser endommagement et changer la fermeture le cas échéant.</li> </ul>

7- Démarrage difficile.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résistance mécanique.</li> <li>- Tension d'alimentation faible.</li> <li>- Absence d'une phase.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier les paliers et vérifier que la machine utilisatrice est on ordre de marche.</li> <li>- Vérifier les branchements de la plaque abornes.</li> <li>- Vérifier la tension de la ligne; les fusibles et les interrupteurs.</li> </ul>
8- Echauffement anormal en charge.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilation bloquée.</li> <li>- Le défaut ne peut pas être localisé.</li> <li>- Charge excessive.</li> <li>- Rupture d'une des barres de la cage écureuil ou mauvais soudure entre les barres et les disques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Démontez la machine et libérer les gaines de ventilation si la machine est du type non protégé et installer dans un environnement poussiéreux la remplacer par un type protégé.</li> <li>- Consulter le constructeur.</li> <li>- Vérifier le courant absorbé et le cas échéant, réduire la charge.</li> <li>- Si les barres et les disques sont en cuivres ils peuvent être réparés facilement. Si la cage est aluminium coulé consulter le constructeur.</li> </ul>
9- l'usure du roulement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moteur endommagé.</li> <li>- Excès de charge.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier Son Etat mécanique.</li> <li>- Minimiser La charge.</li> </ul>
10- l'usure du roulement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvais alignement.</li> <li>- Moteur bruyant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier La Fixation</li> <li>- S'assurer que l'accouplement sera bien raccordé et qu'il soit monté de manière à ne pas transmettre un mouvement.</li> </ul>
11- Echauffement anormal de carcasse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaut d'isolement.</li> <li>- Court circuit entre les enroulements.</li> <li>- Le rotor frotte contre le stator parce que les paliers sont usés.</li> <li>- Paliers grippés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier l'isolement. Si les défauts sont dus à l'humidité s'écher les bobinages. Dans le cas contraires démonter la machine et réparer.</li> <li>- Vérifier la puissance absorbée par chaque phase ou les chutes de tension.</li> <li>- Remplacer les paliers.</li> <li>- Réparer ou remplacer.</li> </ul>
12- Le moteur ne tourne pas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une Coupure dans Les Bobines du stator.</li> <li>- Les Bobines sont en courts circuits.</li> <li>- L'absence de L'alimentation.</li> <li>- Le rotor grippé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier Les Résistances Des Bobines et Les Remplacer.</li> <li>- S'assurer que l'état de court circuit existe et qu'il soit annulé.</li> <li>- assurer L'alimentation.</li> <li>- assurer L'alignement.</li> </ul>

# Chapitre IV

## Sécurité industriel

## **IV.1. Introduction**

Depuis l'apparition de l'industrie au monde, la sécurité du personnel exploitant ainsi que des équipements de production a été l'une des préoccupations majeures des responsables industriels.

L'application des mesures de sécurité surtout dans le domaine pétrolier, nécessite à ce que le personnel exploitant soit très conscient du bien résultants du respect des consignes de sécurité. Pour mieux sensibiliser le personnel aux règles de sécurité des affiches et des panneaux doit être porté dans tous les coins sur le périmètre de production.

## **IV.2. Définition de sécurité**

Elle est l'ensemble des mesures et moyens techniques et l'hygiène dont la fiabilité est de créer des bonnes conditions de travail, en limitant l'influence des facteurs industriels dangereux provoquant les avaries.

Elle étudie des dangers industriels, les accidents et les maladies professionnelles et met en évidence les méthodes de réduction des accidents donc d'augmenter la production ou le rendement.

## **IV.3. Place de la sécurité dans l'entreprise**

La sécurité est une fonction générale dans l'entreprise, elle est une des nombreuses préoccupations de la direction pour cela elle est rattachée directement à la direction et n'a de responsabilité qui vis-à-vis de celle-ci c'est un des services d'état major de l'entreprise.

## **IV.4. Mission de la sécurité :**

Elle assure deux fonctions principales :

**IV.4.1. La prévention :** C'est l'ensemble des mesures qui ont pour but de réduire l'incidence d'un comportement ou d'un événement dangereux on distingue :

- La prévention passive
- La prévention active

**IV.4.2. L'intervention :** Une fois l'accident ou l'incendie se produit, la sécurité doit posséder tous les moyens matériel et humains pour faire face à ce danger, l'efficacité de lutte contre l'incendie dépend de :

- La rapidité de l'intervention
- La technique d'attaque

## IV.5. Les incendie

Les incendies peuvent être dus à une imprudence, à une négligence des ouvriers aux consignes de sécurité ou d'autres causes. Les produits et matériaux.

Présentant des dangers d'inflammation doivent être conservés dans des endroits spécialement aménagés à cet effet.

**IV.5.1. Les différents feux :** Les feux sont évidemment divers que sont nombreux, les différents corps combustibles susceptibles d'alimenter un incendie, mais l'expérience ont montré qu'on pouvait les classer en un petit nombre de catégories.

Tous les feux d'une même catégorie étant justiciables d'un même agent extincteur

- **Classe (A) feux dits secs :**

Bois, textile, papiers, etc....Apparemment simple.

Les feux secs peuvent difficile a combattre dans la mesure où il se forme une combustion lente avec l'incendie.

- **Classe (B) feux dit gras :**

Matière grasse et hydrocarbure, huile, graisses, peinture, essences, etc.

En général ces feux ne présent pas de combustion lente, la disparition de flamme correspond à la fin de l'incendie.

- **Classe (C) feux dit électrique :**

Très dangereux, ils peuvent avoir des origines électriques soit survenir à proximité d'appareils électriques, sans aucune origine électrique.

- **Classe (D) feux dit spéciaux :**

Films cinématographique, magnésium, uranium, etc....

Heureusement ces feux sont très peu répons, car ils nécessitent pour leur extinction un matériel et des techniques particulières.

## IV.6. Règles de sécurité à l'intérieur de l'installation

**a- En général, il est interdit de :**

- Fumer à l'intérieur des installations.
- D'exécuter des travaux sans autorisation.
- D'introduire des matériels ou des produits non autorisés.
- D'effectuer des réparations ou d'interventions pendant la marche de l'équipement.
- Démontent tout appareil, avant de s'être assuré qu'il est isolé mis et maintenu à la pression atmosphérique.
- D'abandonner des outils ou objets dont la chute peut provoquer des accidents, etc.

**b- Il est obligatoire de :**

- D'utiliser les équipements spéciaux de sécurité, le personnel effectué à la conduite des appareils de service doit notamment être muni de casque, de chaussures de sécurité et des gants
- Munir le personnel de survêtements imperméables et de lunettes de protection dans tous les cas où des projections sont à craindre en particulier le port des lunettes et d'écrans de protection est obligatoire lors de la manutention des liquides chauds ou corrosifs. Si la présence d'atmosphère polluée est possible des détecteurs de gaz et des équipements respiratoires correctement adoptés sont mis à la disposition du personnel.
- Maintenir propres et dégagés de tout obstacles les passages personnels, échelles et escaliers.
- Munir d'un éclairage efficace les emplacements où les ouvriers sont appelés à travailler la nuit.

**IV.7. La sécurité d'une pompe**

L'instrumentation installée sur la pompe fait l'objet de garder les machines en bon état de fonctionnement et ce la en les faisant surveiller de la façon continue.

**IV.7.1. Les capteurs de vibrations :** Pour les vibrations des sondes sont placées au voisinage du palier, leur rôle est de détecter le balourd supplémentaire sur le rotor.

**IV.7.2. Les capteurs de températures :** Ces capteurs sont placés au niveau des paliers porteurs et de butée afin d'éviter le sur échauffement des pièces ainsi que le déclenchement de l'unité (alarme et sécurité)

**IV.8. Les processus de l'opération**

**a – Préparation des opérations :** Dès la réception de l'autorisation de travail et avant signature, le responsable sécurité du chantier avise les intervenants se trouvant dans la zone de travail de l'exécution du plan préétabli.

**b– Délimitation de la zone de travail :** Délimitation de zone de travail au moyen d'obstacles (banderoles et pancartes) prise des mesures de sécurité et de protection nécessaires.

**c – Réalisation de travaux :** Le chef d'équipe s'assure de la bonne exécution et suivi des travaux.

**d – Fin des travaux :** Le chef d'équipe rassemble son personnel et fait enlever les dispositifs de protection et de délimitation de la zone de travail et s'assure de la bonne exécution. Il signale la fin des travaux et signe l'autorisation de fin de travail.

## **IV.9. Les différents documents nécessaires**

### **a – Autorisation de travail :**

Document obligatoire pour tous travaux de quelque nature que ce soit :

- Autorisation l'exécution de travaux sur des ouvrages mécanique.
- Attestant la fin des travaux et permettant la déconsignation de l'ouvrage

Il est établi par des consignations et est remis aux travaux

A la fin de travaux, l'avis de fin de travail est rempli par le chef des travaux et est remis au chef de consignations

L'autorisation de travail cesse d'être valable dès la restitution au chef de consignations de l'avis de travail.

### **b – Ordre de travail :**

c'est un document qui organise les relation de travail inter service et qui précise la nature La situation la durée ..ets de l'opération a relation . [11]

### Conclusion général

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure qu'il est très important de définir la panne et comprendre les phénomènes des défaillances et de dégradation du matériels.

Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de la Fiabilité et de la Disponibilité qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance est tout ça pour concrétiser la meilleure organisation de maintenance. Pour ce la des enjeux majeurs doivent être pris en compte dans la totalité de gestion du système.

Ces enjeux sont:

Enjeu de disponibilité:

- Augmentation de la disponibilité des systèmes.
- Maîtrise de la durée des équipements.
- Optimisation des interventions pendant les arrêts programmés.
- Meilleure surveillance des systèmes (création des tâches de surveillance, implication forte de la conduite).

Enjeu d'amélioration de l'organisation de maintenance:

- Traçabilité des décisions.
- Rapprochement de l'exploitation et de la maintenance.
- Motivation du personnel et adhésion pour le travail en équipe.

Enjeu de sécurité:

- Amélioration de la sécurité des installations.
- Prise en compte des conséquences sur l'environnement.
- Identification des modifications pouvant augmenter la sécurité et la disponibilité des systèmes.
- Adaptation des programmes de maintenance sur les matériels à forts enjeux sécuritaires.

Donc toutes les améliorations de la maintenance doivent s'effectuer selon trois axes: axe technique, l'axe d'organisation et l'axe humain.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [01] Documentation Sonatrach Hassi Messaoud .
- [02] "Les Pompes", Total Support De Formation : Exp-Pr-Eq070 Révision 0.1, Dernière Révision : 13/04/2007.
- [03] Bernard, Techniques D'ingénieur (B 4320) Pompes Volumétriques Pour Liquides, Paris.
- [04] "Générateurs Et Moteurs Electriques ", Total Support De Formation Exp-Pr-Eq150-Fr Révision 0.2, Dernière Révision : 18/04/2007.
- [05] Jean-Pierre Caron, "Modélisation Et Commande De La Machine Asynchrone", Vol. 7, Technip, Coll. « Méthodes Et Pratiques », 1995.
- [06] Elkheir Merabet "Commande Floue Adaptative D'une Machine Asynchrone Double Etoile ", Mémoire De Magister En Electrotechnique Université De Batna 2008.
- [07] Guide De La Maintenance Daniel Boitel Et Claude Hazard Edition Nathan1990.
- [08] Dagi Samir "Etude Des Paramètres De La Maintenance De La Turbine A Vapeur" Mémoire De Ingénieur, Université De Skikda 2010.
- [09] Abdelhadi Benkhelifa "Fiabilité Des Equipements De D.T.M., Analyse Fonctionnelle Et Implications Organisationnelles De La Fonction Maintenance De Transport" Mémoire De Master ,Université De Ouargla 2011.
- [10] Techniques D'ingénieur (T 4 300-30) Fiabilité. Maintenabilité
- [11] Les Coures De Sécurité Industrielle 5<sup>eme</sup> Année .

## Annexe

### Annexe 0 1

Tableau de loi kolmogorov-smirnov

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,180}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

## Annexe

### Annexe 02

Distribution de Weibull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
<b>0,2</b>	120	1 901	<b>1,5</b>	0,9027	0,613	<b>4</b>	0,9064	0,254
<b>0,25</b>	24	199	<b>1,55</b>	0,8994	0,593	<b>4,1</b>	0,9077	0,249
<b>0,3</b>	9,2625	50,08	<b>1,6</b>	0,8966	0,574	<b>4,2</b>	0,9086	0,244
<b>0,35</b>	5,291	19,98	<b>1,65</b>	0,8942	0,556	<b>4,3</b>	0,9102	0,239
<b>0,4</b>	3,3234	10,44	<b>1,7</b>	0,8922	0,54	<b>4,4</b>	0,9146	0,235
<b>0,45</b>	2,4686	6,46	<b>1,75</b>	0,8906	0,525	<b>4,5</b>	0,9125	0,23
<b>0,5</b>	2	4,47	<b>1,8</b>	0,8893	0,511	<b>4,6</b>	0,9137	0,226
<b>0,55</b>	1,7024	3,35	<b>1,85</b>	0,8882	0,498	<b>4,7</b>	0,9149	0,222
<b>0,6</b>	1,546	2,65	<b>1,9</b>	0,8874	0,486	<b>4,8</b>	0,916	0,218
<b>0,65</b>	1,3663	2,18	<b>1,95</b>	0,8867	0,474	<b>4,9</b>	0,9171	0,214
<b>0,7</b>	1,2638	1,85	<b>2</b>	0,8862	0,463	<b>5</b>	0,9162	0,21
<b>0,75</b>	1,1906	1,61	<b>2,1</b>	0,8857	0,443	<b>5,1</b>	0,9192	0,207
<b>0,8</b>	1,133	1,43	<b>2,2</b>	0,8856	0,425	<b>5,2</b>	0,9202	0,203
<b>0,85</b>	1,088	1,29	<b>2,3</b>	0,8859	0,409	<b>5,3</b>	0,9213	0,2
<b>0,9</b>	1,0522	1,17	<b>2,4</b>	0,8865	0,393	<b>5,4</b>	0,9222	0,197
<b>0,95</b>	1,0234	1,08	<b>2,5</b>	0,8873	0,38	<b>5,5</b>	0,9232	0,194
<b>1</b>	1	1	<b>2,6</b>	0,8882	0,367	<b>5,6</b>	0,9241	0,191
<b>1,05</b>	0,9803	0,934	<b>2,7</b>	0,8893	0,355	<b>5,7</b>	0,9251	0,186
<b>1,1</b>	0,9649	0,878	<b>2,8</b>	0,8905	0,344	<b>5,8</b>	0,926	0,165
<b>1,15</b>	0,9517	0,83	<b>2,9</b>	0,8919	0,334	<b>5,9</b>	0,9269	0,183
<b>1,2</b>	0,9407	0,787	<b>3</b>	0,893	0,316	<b>6</b>	0,9277	0,18
<b>1,25</b>	0,99314	0,75	<b>3,1</b>	0,8943	0,325	<b>6,1</b>	0,9266	0,177
<b>1,3</b>	0,9236	0,716	<b>3,2</b>	0,8957	0,307	<b>6,2</b>	0,9294	0,175
<b>1,35</b>	0,917	0,667	<b>3,3</b>	0,897	0,299	<b>6,3</b>	0,9302	0,172
<b>1,4</b>	0,9114	0,66	<b>3,4</b>	0,8984	0,292	<b>6,4</b>	0,931	0,17
<b>1,45</b>	0,9067	0,635	<b>3,5</b>	0,8997	0,285	<b>6,5</b>	0,9316	0,168
<b>1,5</b>	0,9027	0,613	<b>3,6</b>	0,9011	0,278	<b>6,6</b>	0,9325	0,166
<b>1,55</b>	0,8994	0,593	<b>3,7</b>	0,9025	0,272	<b>6,7</b>	0,9335	0,163
<b>1,6</b>	0,8966	0,574	<b>3,8</b>	0,9083	0,266	<b>6,8</b>	0,934	0,161
<b>1,65</b>	0,8942	0,556	<b>3,9</b>	0,9051	0,26	<b>6,9</b>	0,9347	0,15

## Résumé

La maintenance des systèmes industriels est devenue un point nécessaire immédiatement de leur conception et de leur exploitation, tant, pour des questions de rentabilité et de qualité.

Alors dans ce cas en cherche le type de maintenance appropriée avec la rigueur économique qui impose l'optimisation de l'exploitation et de la qualité des produits sur la base de la réduction du ratio services et avec l'évolution très rapide des méthodes et outils liés à la maintenance.

Parmi ces outils ou machines liés à la maintenance, on trouve le Motopompe dont le rôle principal est l'augmentation de la pression du fluide.

Le but de notre travail est l'étude de la maintenance du Motopompe, étude des causes des différents endommagements, ainsi que l'étude de sa fiabilité, maintenabilité et disponibilité

Mots clés : Motopompe, fiabilité, disponibilité, maintenabilité.

## Summary

The maintenance of the industrial systems became a point necessary immediately of their design and their exploitation, so much, for questions of profitability and quality.

Then in this case the type of maintenance seeks some adapts with the economic austerity which imposes the optimization of the exploitation and of the quality of the products on the basis of reduction of the ratio services and with the very fast evolution of the methods and tools dregs has maintenance.

Among these tools or machines related to maintenance, one finds the Motor-driven pump whose rôle the main thing is the increase in the pressure of the fluid.

The goal of our work is the study of the maintenance of the Motor-driven pump, study of the causes of the various damages, as well as the study of its reliability, maintainability and availability

Key words: Turboshaft engine, Motor-driven pump, Reliability, Availability, Maintainability.