

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

## **UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET**

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES**  
**DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**  
**FILIERE DE GENIE MECANIQUE**

# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du diplôme de Master professionnalisant**

**Domaine : Sciences & Technologie**

**Filière : Génie Mécanique**

**Parcours : Master**

**Spécialité : Maintenance Industrielle**

## **THÈME**

**ETUDE DES DIFFERENTES METHODES, DE MAINTENANCE  
D'UNE POMPE CENTRIFUGE**

*Préparé par :*  
**BOUBREK Islam & TENNAH Nouredine**

### **Devant le Jury :**

<b>Nom et prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Lieu d'exercice</b>	<b>Qualité</b>
KHALDI Sabrina	MAA	DGM/FSA/UIKT	Président
SLIMANI Halima	MCB	DGM/FSA/UIKT	Examinateur
MEKROUSSI Said	MCB	DGM/FSA/UIKT	Encadreur

**PROMOTION 2016 /2017**

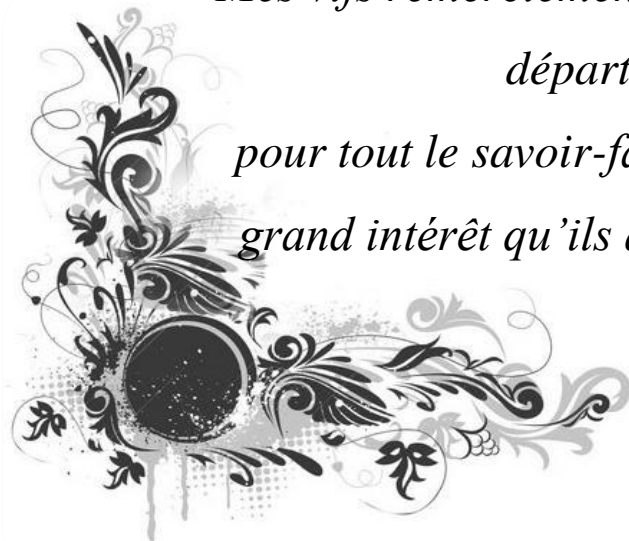
# **REMERCIEMENT**

*En premier lieu, je tiens à remercier DIEU pour m'avoir  
donné la force pour accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer tout d'abord mon sincère et profonde  
Reconnaissance à Ms MEKROUSSI SAID. Qu'il trouve ici  
l'expression de ma profonde gratitude pour avoir bien  
encadrer ce projet et suivre de près les différentes étapes de sa  
Réalisation.*

*Je ne saurai assez remercier tous que m'aide dans ce travail  
Je remercie également Les critiques constructives et les  
conseils  
précieux qu'ils m'ont prodigué.*

*Mes vifs remerciements s'adressent au corps professoral du  
département génie mécanique  
pour tout le savoir-faire qu'ils m'ont procuré, ainsi que le  
grand intérêt qu'ils accordent à l'ensemble des étudiants.*



# Dédicace



Je dédie ce modeste travail

*A* mon très cher père pour son encouragement et son soutien moral.

*A* ma très chère mère qui fait son possible pour moi toujours.

*A* mes chers frères

*A* toute ma famille : *TENNAH*

*A* mon binôme et chère ami : BOUBREK Islam

*A* tous mes amis de la promotion 2016/2017 de la spécialité Maintenance Industriel

*A* tous qui m'aiment et que j'aime.



# Dédicace



Je dédie ce modeste travail

*A* mon très cher père pour son encouragement et son soutien moral.

*A* ma très chère mère qui fait son possible pour moi toujours.

*A* mes chers frères

*A* toute ma famille : BOUBREK

*A* mon binôme et chère ami : TENNAH Noureddine

*A* tous mes amis de la promotion 2016/2017 de la spécialité Maintenance Industriel

*A* tous qui m'aiment et que j'aime.



## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES POMPES

Figure (I-1)	Montage d'une pompe en aspiration et en charge.....	5
Figure (I-2)	Pompe à membranes.....	6
Figure (I-3)	Principe pompe à piston.....	8
Figure (I-4)	Pompe à piston à simple effet.....	8
Figure (I-5)	Pompe à piston à double effet.....	9
Figure (I-6)	Fonctionnement pompes volumétriques alternatives.....	10
Figure (I-7)	Pompes à palettes libres.....	10
Figure (I-8)	Pompes à palettes flexibles.....	11
Figure (I-9)	Pompes à palettes guidées.....	12
Figure (I-10)	Pompes à engrenages extérieurs.....	13
Figure (I-11)	Pompes à engrenages intérieurs.....	14
Figure (I-12)	Pompes à lobes.....	15
Figure (I-13)	Pompes à vis (cas à 2 vis).....	16
Figure (I-14)	Pompes péristaltiques.....	17
Figure (I-15)	Roues mobiles de machines centrifuge, hélico centrifuge et axiale.....	18
Figure (I-16)	Rendement en fonction du débit d'une pompe.....	21
Figure (I-17)	Point de fonctionnement d'une pompe.....	23
Figure (I-18)	Conception de la maintenance.....	23

### CHAPITRE II : MAINTENANCE ET MÉTHODE

Figure II.1	Graphe de variation de taux de défaillance.....	33
Figure II.2	Diagramme des types de maintenance.....	35
Figure II.3	Exemple de courbe ABC.....	36
Figure II.4	Recherche des causes potentielles d'une défaillance.....	37

### CHAPITRE III : PROBLEMES ET SOLUTIONS

Figure III.1	Histogramme fiabilité et courbe ABC.....	45
Figure III.2	Diagramme causes-effets Appelé diagramme d'Ishikawa ou diagramme de poisson.....	48

## Liste des tableaux

### CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES POMPES

Tableau I.1	Les avantages et les inconvénients des pompes à membranes.....	7
Tableau I.2	Les avantages et les inconvénients des pompes à piston.....	9
Tableau I.3	Les avantages et les inconvénients des pompes à palettes libres... ..	11
Tableau I.4	Les avantages et les inconvénients des pompes à palettes libres.....	11
Tableau I.5	Les avantages et les inconvénients des pompes à palettes guidées.....	12
Tableau I.6	Les avantages et les inconvénients des pompes à engrenages extérieurs.....	13
Tableau I.7	Les avantages et les inconvénients des pompes à engrenages intérieur.....	14
Tableau I.8	Les avantages et les inconvénients des pompes à lobes.....	15
Tableau I.9	Les avantages et les inconvénients des pompes à vis.....	16
Tableau I.10	Les avantages et les inconvénients des pompes péristaltiques.....	17
Tableau I.11	Domaine d'utilisation les pompes volumétriques et turbopompes.....	19
Tableau I.12	Hypothèse de pannes : bruits excessifs dans l'ensemble d'un circuit.....	24
Tableau I.13	Hypothèse de pannes : pression et débits insuffisants, débits nuls.....	25
Tableau I.14	Diagnostics de pannes sur les pompes à engrenages.....	25
Tableau I.15	Diagnostics de pannes sur les Pompes à pistons avec patins de contact sur came excentrique.....	26
Tableau I.16	Diagnostics de pannes sur les pompes à palettes.....	26

### CHAPITRE II : MAINTENANCE ET MÉTHODE

Tableau II.1	Exemple de feuille d'AMDEC-moyen de production.....	38
Tableau II.2	Indices d'occurrence.....	40

### CHAPITRE III : PROBLEMES ET SOLUTIONS

Tableau III.1	Identification de la pompe.....	44
Tableau III.2	Dossier historique de la pompe.....	44
Tableau III.3	Le temps des arrêts des pannes de la pompe.....	45
Tableau III.4	Causes et effets.....	47
Tableau III.5	AMDEC machine -analyse des modes de défaillance.....	51
Tableau III.6	Evaluation de la criticité.....	52

## Résumé

La maintenance préventive est la moyenne la plus importante pour les sociétés qui souhaitent le monopole d'économie internationale ou local spécialement au temps de rivalité économique (quantité et qualité), Pour ça nous essayons d'étudier les différentes méthodes de maintenance de notre motopompe centrifuge «X5K25» pour obtenir la maximum de production et éviter les arrêts brusques.

## Abstract

The maintenance preventive is the most important element of actually success for companies aspiring to dominate the economic locally and internationally, especially at the time of economic competition for quality and quantity.

In this study we began with an overview of machines tool after that we took our pump machine (centrifuge) « X5K25» with the calculation of life time for some most important constituent and the interventions required of the maintenance, it allowed for us to study the deffrents sorts of maintenance for the machine studied for getting the maximum production with avoid the sudden stops.

## ملخص

الصيانة الوقائية هي العنصر الأكثر أهمية في واقع نجاح الشركات الطامحة للهيمنة الاقتصادية محليا و دوليا خاصة في وقت المنافسة الاقتصادية الكمية و النوعية .

في هذه الدراسة قمنا بدراسة لأنواع الصيانة الوقائية المختلفة بعد أن أخذنا مضخة (الطرد المركزي) مع حساب وقت الحياة لبعض التأسيسية وأهم التدخلات اللازمة للصيانة، فإنه يسمح لنا بتطوير خريطة صيانة الجهاز و دراستها للحصول على الحد الأقصى للإنتاج مع تجنب التوقف المفاجئ .

# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	.....	1
<b>CHAPITRE I</b>	<b>GÉNÉRALITÉS SUR LES POMPES</b>	
I.1	Introduction.....	2
I.2	Types des pompes.....	2
I.3	Les pompes volumétriques.....	3
I.3.1	Pompes volumétriques alternatives.....	3
I.3.2	Pompes volumétriques rotatives.....	6
I.4	Les turbopompes.....	14
I.4.1	Classification les turbopompes.....	15
I.4.2	Les avantages et les inconvénients des turbopompes.....	16
I.5	Pompe centrifuge.....	17
I.5.1	Description d'une pompe centrifuge.....	17
I.5.2	Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	17
I.5.3.	Caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	17
I.6.	La maintenance.....	20
I.6.1.	Définition générale.....	20
I.6.2.	Les différentes formes de maintenance.....	21
I.6.3.	Les 5 niveaux de la maintenance.....	21
I.6.4.	Sensibilité à la panne.....	21
I.6.5.	Hypothèses de pannes.....	22
<b>CHAPITRE II</b>	<b>Maintenance et méthode</b>	
II.1.	Introduction .....	23
II.2.	Maintenance préventive.....	23
II.2.1.	Différents types de maintenance préventive.....	23
II.2.1.1	Maintenance préventive systématique.....	23
II.2.1.2.	Maintenance préventive conditionnelle.....	25
II.2.1.3.	Télémaintenance .....	25
II.2.1.4.	Objectifs visés par la maintenance préventive .....	25
II.2.2.	Différents niveaux de la maintenance préventive.....	28
II.2.3.	Maintenance préventive dite "de luxe ".....	31
II.2.3.1.	Contrôle périodique réglementaire.....	31
II.2.3.2	Fiabilité et maintenance préventive .....	31
II.2.3.3	Taux de défaillance.....	32
II.2.3.4	MTBF.....	33
II.2.3.5	Loi de fiabilité.....	33
II.2.3.6	Périodicité la maintenance préventive.....	34
II.3	Maintenance corrective.....	34
II.3.1.	Maintenance palliative.....	34
II.3.2	Maintenance curative .....	34
II.3.3	Auto-maintenance.....	34
II.3.4	Les opérations de la maintenance corrective.....	35
II.3.5	Diagramme des types de la maintenance .....	35
II.4	Méthodes de maintenance.....	36
II.4.1	La méthode ABC de Pareto.....	36
II.4.1.1	Principe de la méthode ABC.....	36



II.4.2	Un outil d'investigation simple : le diagramme d'Ishikawa des 5 M.....	37
II.4.3	Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) .....	37
II.4.3.1	Définition.....	37
II.4.3.2	Méthodologie de la réalisation d'une AMDEC-moyen de production.....	37
II.4.3.3	Analyse des résultats du tableau.....	38
II.5	Conclusion.....	10

### CHAPITRE III

### PROBLEMES ET SOLUTIONS

III.1	Généralités.....	41
III.1.1	Pas de liquide refoulé.....	41
III.1.2	Pas assez de liquide refoulé.....	41
III.1.3	Pas assez de pression.....	42
III.1.4	La pompe fonctionne pendant un temps puis s'arrête.....	42
III.1.5	La pompe absorbe trop de puissance.....	42
III.1.6.	Vibrations ou bruits sur la pompe.....	43
III.1.7.	Boite press-étoupe surchauffe ou fuite excessives de presse – étoupe.....	43
III.1.8.	Paliers surchauffent ou s'usent rapidement.....	43
III.2.	Exploitation des résultats.....	44
III.2.1	Méthodes d'analyse prévisionnelle ABC (Pareto).....	45
III.2.2	Diagramme de PARETO.....	45
III.2.3	Méthode d'analyse prévisionnelle ISCHIKAWA.....	46
III.2.3.1	Diagramme causes-effets.....	46
III.2.3.2	Interprétation du diagramme d'Ishikawa.....	49
III.2.4	Méthodes d'analyse prévisionnelle AMDEC.....	50
III.2.4.1	Synthèse ou évaluation de la criticité.....	51
III.3	Conclusion.....	52
Conclusion Générale.....		53

## Introduction générale

Un système de production regroupe l'ensemble des éléments matériels et immatériels qui sont nécessaires à la production de biens ou de services par une entreprise. Un système de production d'une entreprise est un processus d'addition de valeur à des biens ou à des services qui répondent à des objectifs de quantité, de prix, de qualité et de délai. Aujourd'hui, la fonction Production est l'une des fonctions importantes de l'entreprise, dont l'objectif est de produire des biens et des services, afin de dégager une rémunération du capital engagé, qui pourra être ou non réaffecté à de nouveaux investissements. L'amélioration des performances de l'entreprise est tributaire des méthodes d'organisation et d'exploitation des ressources dont elle dispose. C'est pourquoi, une bonne gestion de production est aujourd'hui une nécessité de plus en plus préoccupante pour les entreprises : bien gérer une entreprise, comme bien gérer la production, c'est trouver une solution admissible par rapport aux objectifs fixés, tout en réglant un ensemble de conflits tel que les interruptions qui font partie malheureusement du quotidien de chaque entreprise qui les considèrent comme leur pire ennemi.

Et comme elles sont de nature indésirable on est obligé de remédier à cette menace permanente en l'évitant ou au moins à en diminuer le maximum possible en prévoyant des interventions de maintenance préventive.

Bien que la maintenance est considérée comme un type d'interruption ; elle est plus acceptable et plus efficace car elle volontaire et prise en main donc sous contrôle en prenant toutes les mesures nécessaires pour réduire au minimum tout ce qui est indésirable ou nuisible à la production.

Bien entendu, il faut tout une stratégie et planification de la maintenance.

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

Ce travail comporte trois chapitres ainsi qu'une introduction et conclusion :

- Le premier chapitre est consacré à quelques généralités sur les pompes, principalement sur ceux de type centrifuges que nous avons utilisées dans nos expérimentations ainsi qu'une partie consacrée à la maintenance.
- Le deuxième chapitre aborde les méthodes de maintenance.
- Le quatrième chapitre fera l'objet de l'étude ; son but est l'application de l'AMDEC et l'analyse critique de motopompe centrifuge X5K25.

### I.1. Introduction

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression (figure I-1).

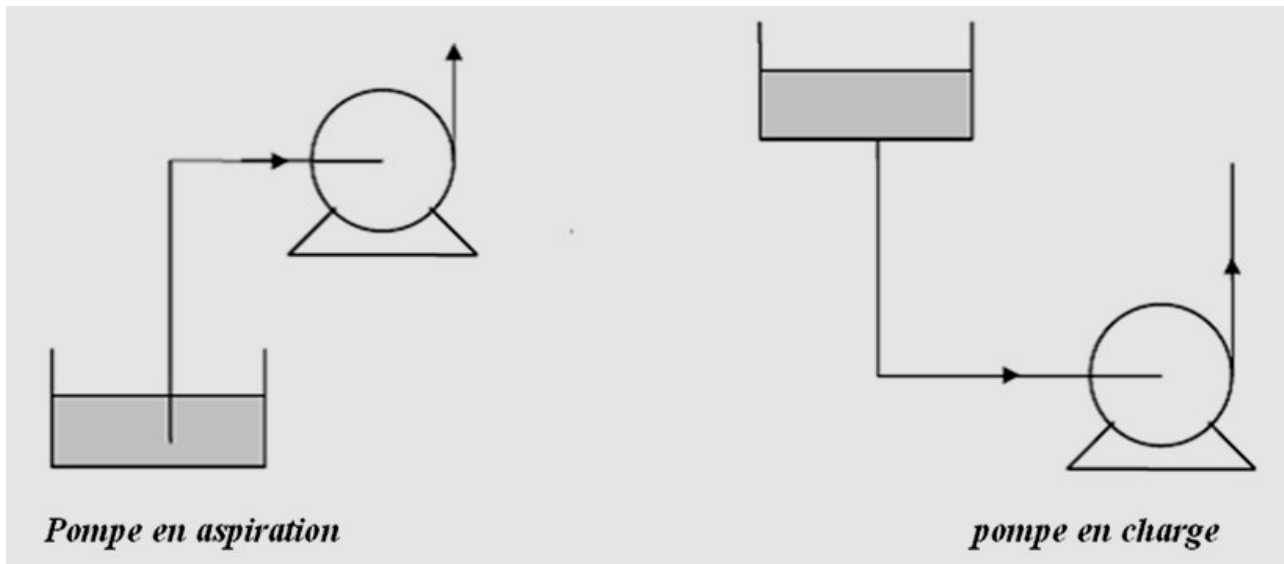


Figure (I-1) : Montage d'une pompe en aspiration et en charge.

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

### I.2. Types des pompes

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

- 1- les pompes volumétriques.
- 2- les turbopompes.

### I.3. Les 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 :

- les pompes volumétriques alternatives.
- les pompes volumétriques rotatives. [1]

#### I.3.1. Pompes volumétriques alternatives

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. [4]

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes :

- le déplacement d'un piston animé d'un mouvement alternatif.
- la déformation d'une membrane. [1]

##### I.3.1.1. 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). Ces pompes sont utilisées sur les débits moyens de l'ordre de 80 m<sup>3</sup>/h, pour des températures inférieures à 150 °C et des viscosités faibles. [4]

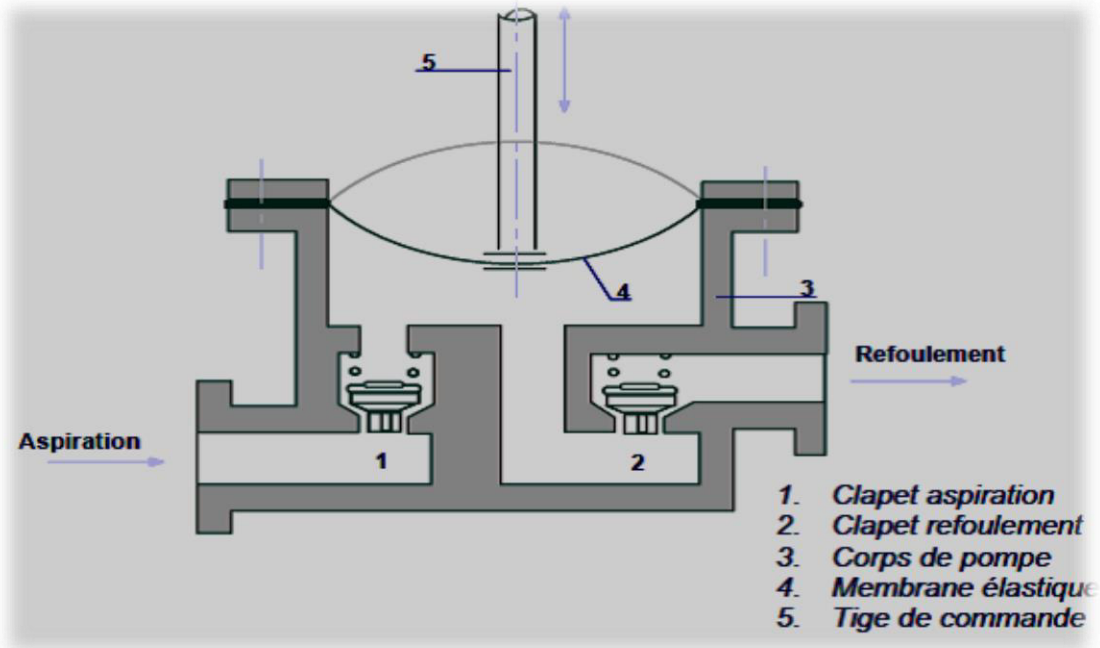


Figure (I-2) : Pompe à membranes. [2]

Actuellement, les pompes à membranes sont constituées de deux membranes, ce qui permet d'avoir des pompes à double effet.

Tableau I.1 : Les avantages et les inconvénients des pompes à membranes. [2]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonctionnement à sec sans dommage.</li> <li>- Propreté absolue du liquide pompé (chargé, abrasif, acide, visqueux ou non).</li> <li>- Bon rendement (90 %).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit limité.</li> <li>- Viscosités assez faibles.</li> <li>- Pompage de particules solides impossible.</li> <li>- Bon fonctionnement que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.</li> <li>- Pulsations importantes au refoulement. (système amortisseur indispensable ).</li> </ul>

### I.3.1.2. 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). [3]

Ces pompes sont utilisées sur les moyens de l'ordre de 80 m<sup>3</sup>.h-1 et la pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.

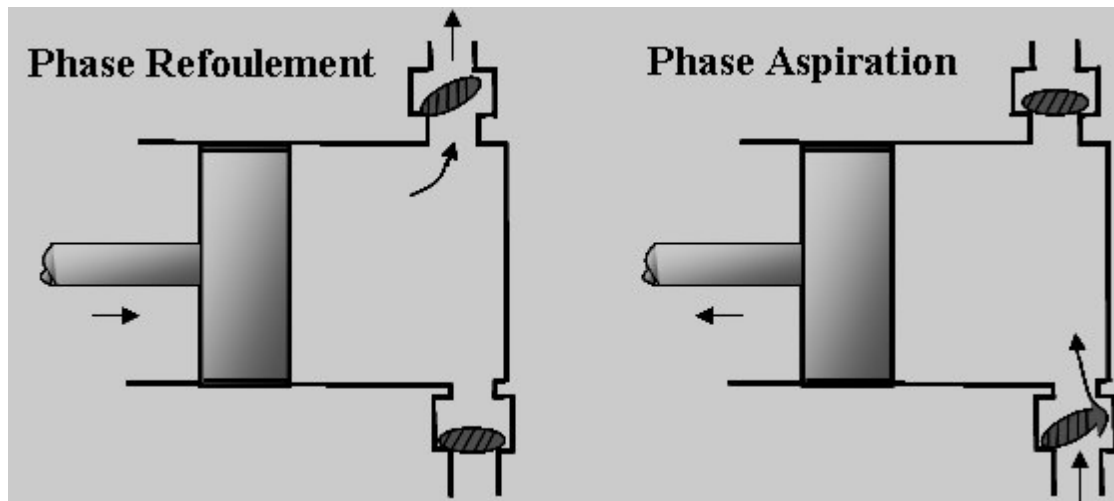


Figure (I-3) : Principe pompe à piston. [2]

Il existe les pompes à piston simple effet (figure I-4) et à double effet (figure I-5).

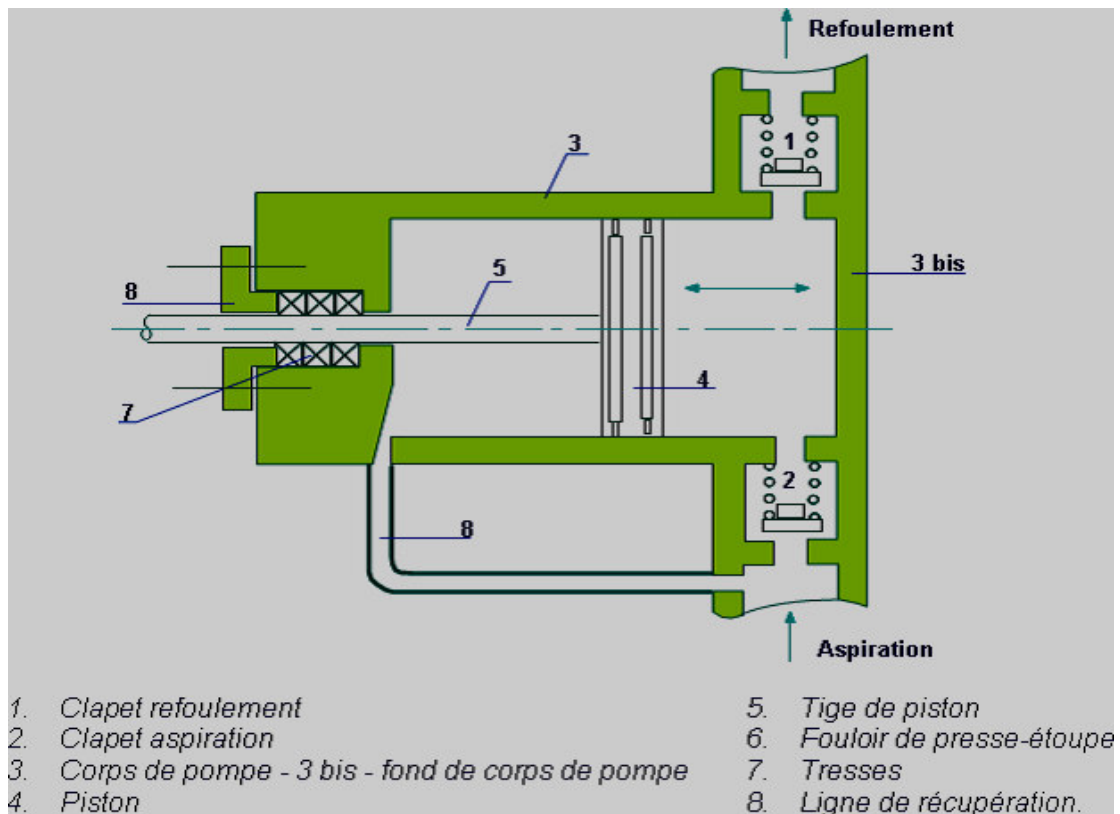


Figure (I-4) : Pompe à piston à simple effet. [2]

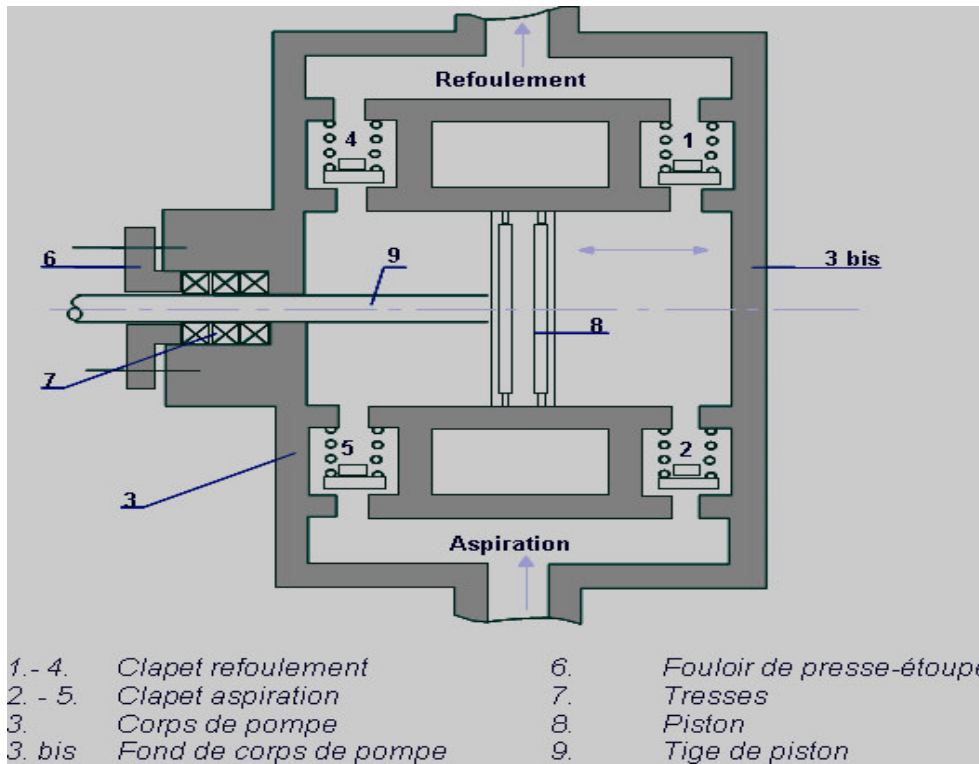


Figure (I-5) : Pompe à piston à double effet. [2]

Tableau I.2 : Les avantages et les inconvénients des pompes à piston.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonctionnement à sec sans dommage.</li> <li>- Bon rendement (&gt; 90 %).</li> <li>- Pression au refoulement très importante.</li> <li>- débit réglable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit limité.</li> <li>- Viscosités assez faibles.</li> <li>- Pompage de particules solides impossible.</li> <li>- Bon fonctionnement que si étanchéité parfaite entre le cylindre et le piston.</li> <li>- Pulsations importantes au refoulement.</li> </ul>

### I.3.2. Pompes volumétriques rotatives

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement. [2]

Les principaux types de pompes sont les suivants : à palettes, engrenages, lobes, vis,...etc. (figure I-6).

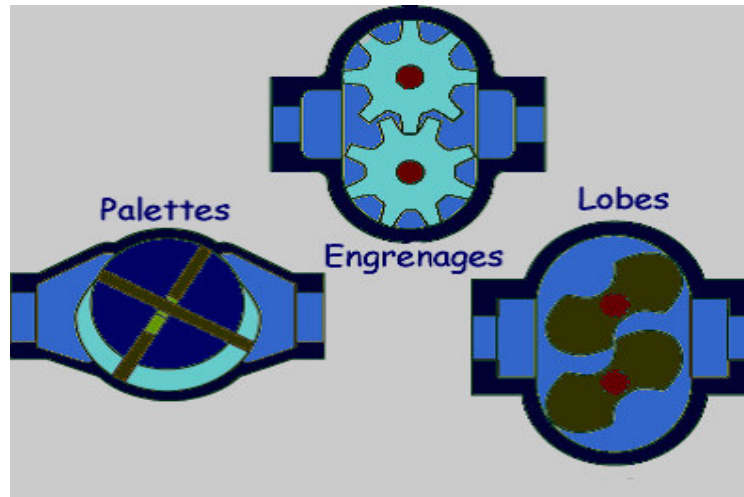


Figure (I-6) : Fonctionnement pompes volumétriques alternatives. [2]

### I.3.2.1. Pompes à palettes

#### I.3.2.1.1. Pompes à palettes libres

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement, à 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-7).

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

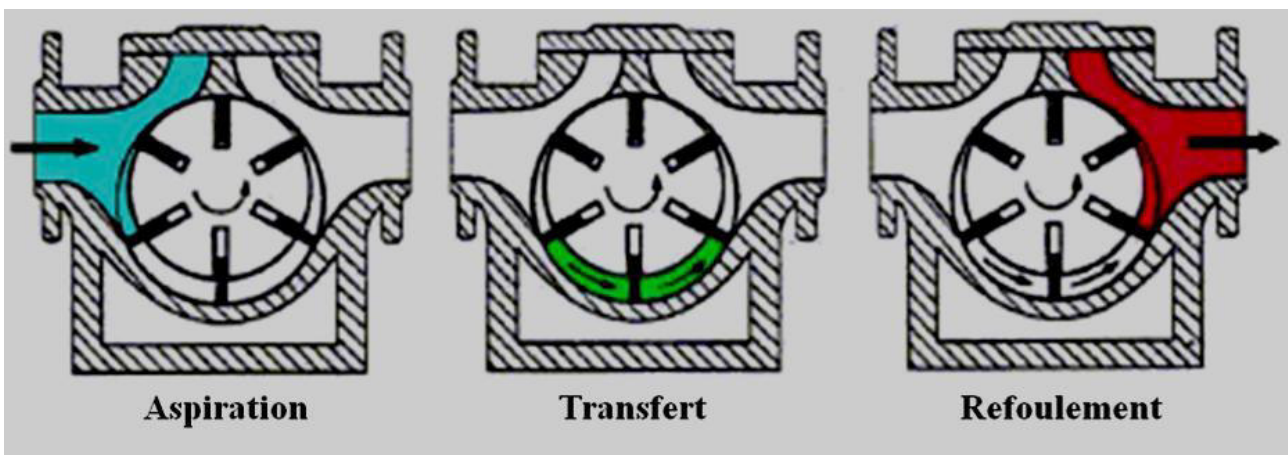


Figure (I-7) : Pompes à palettes libres. [2]



Tableau I.3 : Les avantages et les inconvénients des pompes à palettes libres.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il n'y a ni brassage, ni laminage, ni émulsionnement du liquide pompé.</li> <li>- Le débit est régulier. - La pompe est réversible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les palettes usent le corps par frottements.</li> <li>- Le pompage des fluides visqueux est difficile.</li> </ul>

**I.3.2.1.2. 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-8).

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. [2]



Figure (I-8) : Pompes à palettes flexibles. [4]

Tableau I.4 : Les avantages et les inconvénients des pompes à palettes flexibles.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompage de produits moyennement abrasifs</li> <li>- ainsi que de particules solides molles.</li> <li>- Pas de brassage ni d'émulsion ni de laminage.</li> <li>- Pompe réversible. Débit régulier. Silencieuse.</li> <li>- Étanchéité par garniture mécanique.</li> <li>- Maintenance simple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Petits débits. - Pressions de refoulement faibles.</li> <li>- Ne doit pas tourner à sec.</li> <li>- Le liquide doit être compatible avec le matériau impulseur.</li> </ul>

**I.3.2.1.3. Pompes à palettes guidées**

Le principe est le suivant : un corps conchoïdal dans lequel tourne un tambour excentré, qui entraîne des palettes guidées. La tranche de la palette frôle le corps sans le toucher (figure I-9). Si ces pompes sont légèrement plus complexes que les précédentes, elles ont néanmoins l'avantage de subir beaucoup moins d'usure au niveau des palettes et de pouvoir pomper des produits extrêmement visqueux. [4]



Figure I.9 : Pompes à palettes guidées. [4]

Tableau I.5 : Les avantages et les inconvénients des pompes à palettes guidées. [4]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de brassage ni de laminage ni d'émulsion.</li> <li>- Pas d'usure des palettes car pas de contact : pompe réversible. Un seul boîtier d'étanchéité.</li> <li>- Possibilité d'une enveloppe de réchauffage. - Fort pouvoir d'aspiration.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuites internes avec produits très liquides. - Légères pulsations suivant la vitesse.</li> <li>- Pression d'utilisation limitée.</li> </ul>

**I.3.2.2. Pompes à engrenages**

Dans un corps de pompe de profil approprié et portant des orifices d'aspiration (Asp.) et de refoulement (Ref.) tournent deux engrenages dont les dents entraînent le liquide entre creux de dents et corps de pompe. [2]

**I.3.2.2.1. 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 (figure I-10). 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.

Ces pompes peuvent tourner vite (2 000 à 3 000 tr/min), elles sont relativement silencieuses et permettent d'atteindre des pressions moyennes au refoulement de l'ordre de 20 à 50 bars. [4]

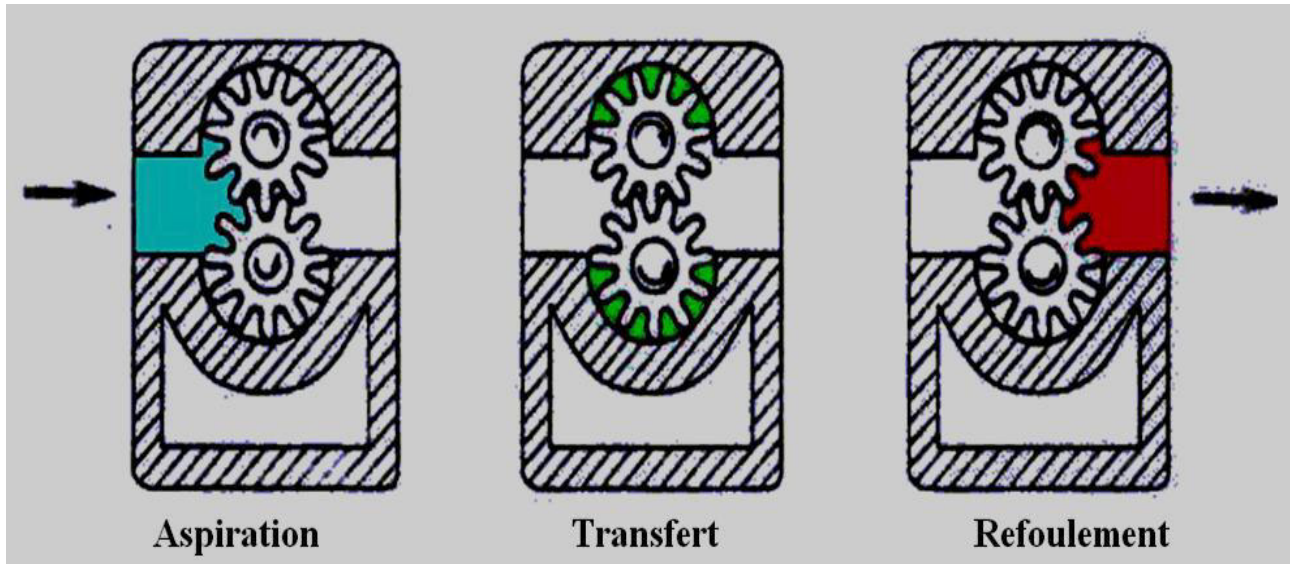


Figure (I-10) : Pompes à engrenages extérieurs. [2]

Tableau I.6 : Les avantages et les inconvénients des pompes à engrenages extérieurs. [2]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le débit est régulier.</li> <li>- La pompe est réversible.</li> <li>- La pompe à engrenages à chevrons permet de rendre le mouvement plus uniforme.</li> <li>- Pas de clapets nécessaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les pièces d'usure sont nombreuses (coussinets, 2 ou 4 boîtiers d'étanchéité, etc.)</li> <li>- Elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction totale du mécanisme.</li> <li>- Elles supportent mal les produits abrasifs qui ont pour effet d'accélérer l'usure mécanique des pignons et de diminuer l'étanchéité entre le corps de pompe et les dents.</li> </ul>

### I.3.2.2.2. 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-11).

Ce principe permet de n'avoir qu'un seul boîtier d'étanchéité, mais le porte-à-faux peut créer une surcharge sur l'arbre.

Comme pour la pompe à engrenages externes, le refoulement n'est pratiquement pas pulsatoire (flux régulier) et est indépendant des conditions de variation de pression, laquelle peut atteindre 15 à 20 bars. [4]

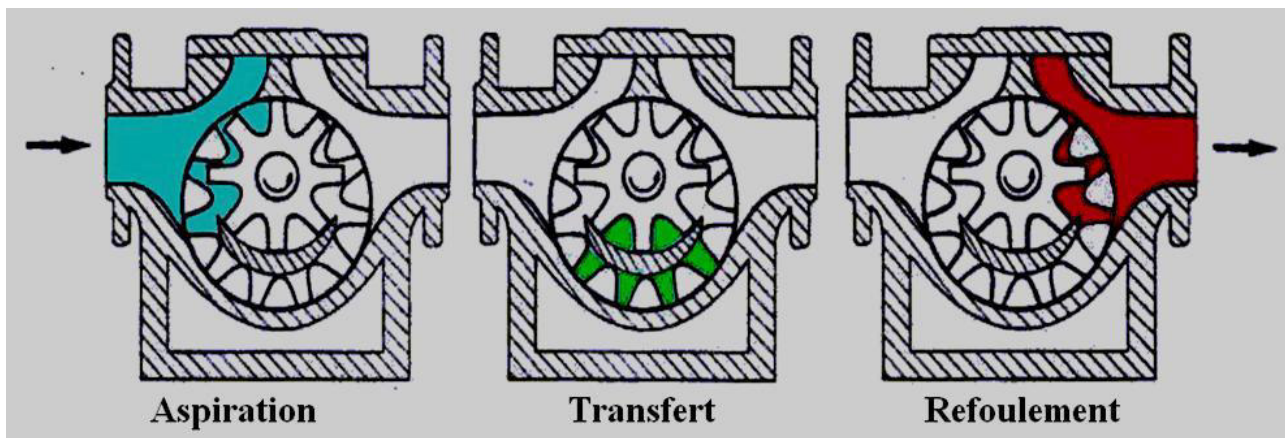


Figure (I-11) : Pompes à engrenages intérieurs. [2]

Tableau I.7 : Les avantages et les inconvénients des pompes à engrenages intérieur. [2]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le débit est régulier.</li> <li>- La pompe est réversible.</li> <li>- Un seul boîtier d'étanchéité est nécessaire.</li> <li>- Bas <i>NPSH</i> requis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pouvoir d'aspiration faible.</li> <li>- Elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction totale du mécanisme.</li> <li>- Le porte-à-faux peut créer une surcharge sur l'arbre</li> </ul>

### I.3.2.3. Pompes à lobes

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage (figure I-13). Les rotors ne sont jamais en contact et, pour ce faire, sont entraînés par des engrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible.

Ce type de pompe se nettoie facilement, c'est pourquoi il est très utilisé dans l'industrie alimentaire. Le débit peut atteindre 400 m<sup>3</sup>/h pour les plus gros modèles, la pression au refoulement est de l'ordre de quelques bars et la viscosité quelques dizaines de milliers de [cSt]. [4]

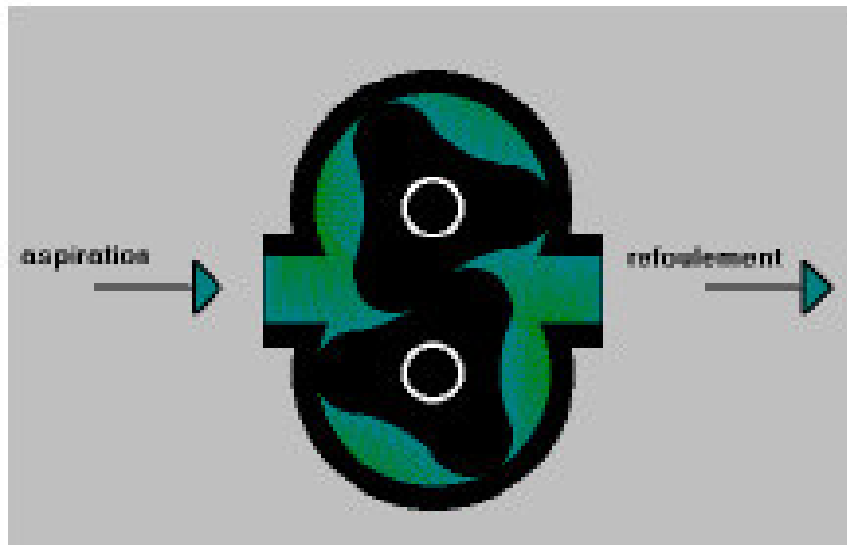


Figure (I-12) : Pompes à lobes. [2]

Tableau I.8 : Les avantages et les inconvénients des pompes à lobes.

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

#### I.3.2.4. Pompes à vis

Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice, les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs (figure I-14). Ces pompes peuvent tourner vite de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3 000 tr/min). Elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (100 bar). Par contre, elles n'admettent pas de particules solides. [4]

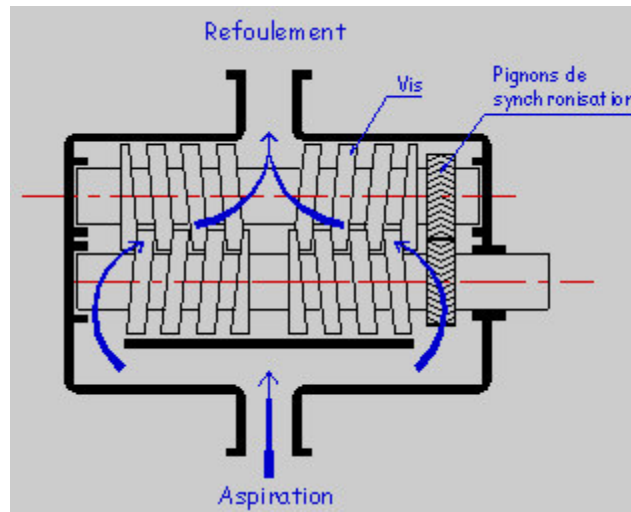


Figure (1-13): Pompes à vis (cas à 2 vis).

Tableau I.9 : Les avantages et les inconvénients des pompes à vis. [2]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le débit est régulier.</li> <li>- La pompe est réversible.</li> <li>- La pompe est silencieuse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles n'admettent pas le passage de particules solides, sous peine de destruction totale du mécanisme.</li> </ul>

### I.3.2.5. Pompes péristaltiques

Son principe de fonctionnement est plutôt simple : un tuyau souple est écrasé par des galets, le fluide est alors repoussé sans turbulence, ni cisaillement (figure I-15). Il n'y a pas non plus de contact entre le fluide et les pompes mécaniques. Son débit est limité à des valeurs de l'ordre de 60 à 80 m<sup>3</sup>/h. Par contre, le rendement est de 100 % et elle est la pompe doseuse par excellence.



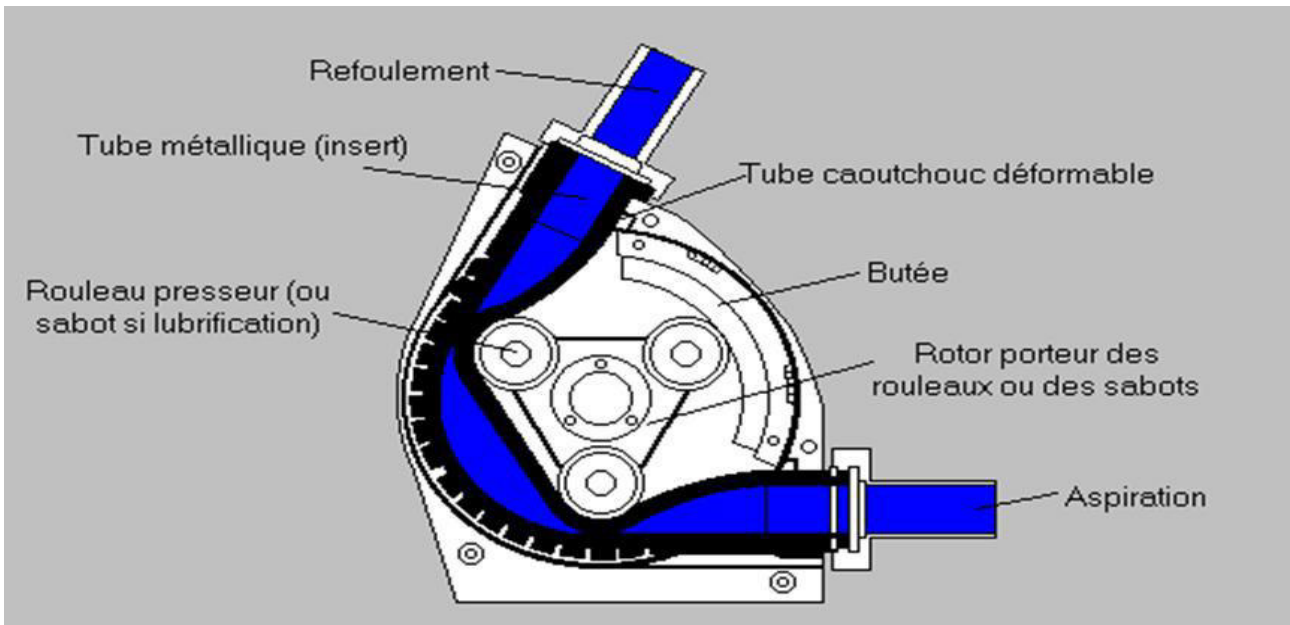


Figure (I-14) : Pompes péristaltiques.

Tableau I.10 : Les avantages et les inconvénients des pompes péristaltiques.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompage de produits chargé et abrasifs.</li> <li>- Fonctionnement à sec possible.</li> <li>- Silencieuse, auto-amorçant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit limité. - Refoulement très saccadé.</li> <li>- Température d'utilisation assez faible.</li> <li>- Maintenance préventive : risque rupture du tube</li> </ul>

#### I.4. Les turbopompes

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

La différence entre les pompes centrifuge hélico-centrifuge et à hélice porte essentiellement sur la direction de la vitesse donnée au fluide. [3]

- **Aspiration** : la pompe étant amorcée (c'est à dire pleine de liquide, cf ci-après), la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente, et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue, engendrant ainsi une aspiration et le maintien de l'amorçage.
- **Accélération** : la rotation augmente la vitesse du fluide tandis que la force centrifuge qui le comprime sur la périphérie augmente sa pression. Les aubes sont le plus souvent incurvées et inclinées vers l'arrière par rapport au sens de rotation, mais ce n'est pas une obligation. Dans un même corps de pompe on peut monter des roues différentes en fonction des caractéristiques du fluide.

- Refoulement : dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression. [3]

#### I.4.1. Classification les turbopompes

##### I.4.1.1. Selon la trajectoire du fluide

- A écoulement radial: (pompes centrifuges) (figure I.16.a).
- A écoulement diagonal (pompes hélico centrifuges) (figure I.16.b).
- A écoulement axial (pompes axiales ou pompes à hélices) (figure I.16.c).

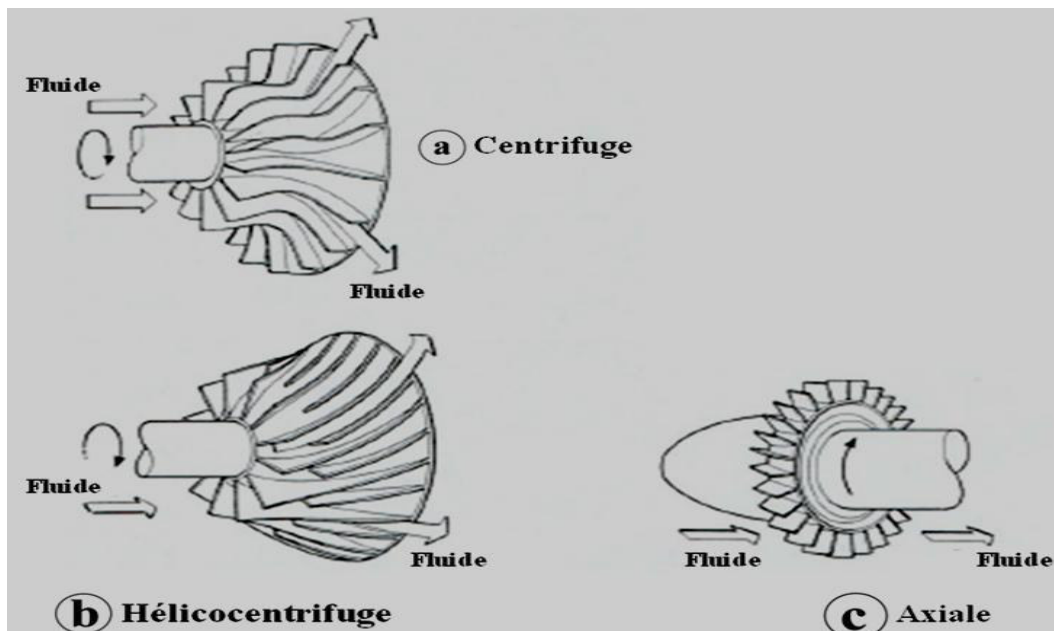


Figure (I-15) : Roues mobiles de machines centrifuge, hélico centrifuge et axiale.

##### I.4.1.2. Selon le nombre d'étages

- monocellulaire : avec une seule roue sur l'arbre.
- multicellulaire : avec plusieurs roues sur l'arbre déposées en série.

##### I.4.1.3. Selon la disposition de l'axe de la pompe

- pompe verticale.
- pompe horizontale.



### I.4.2. Les avantages et les inconvénients des turbopompes

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

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

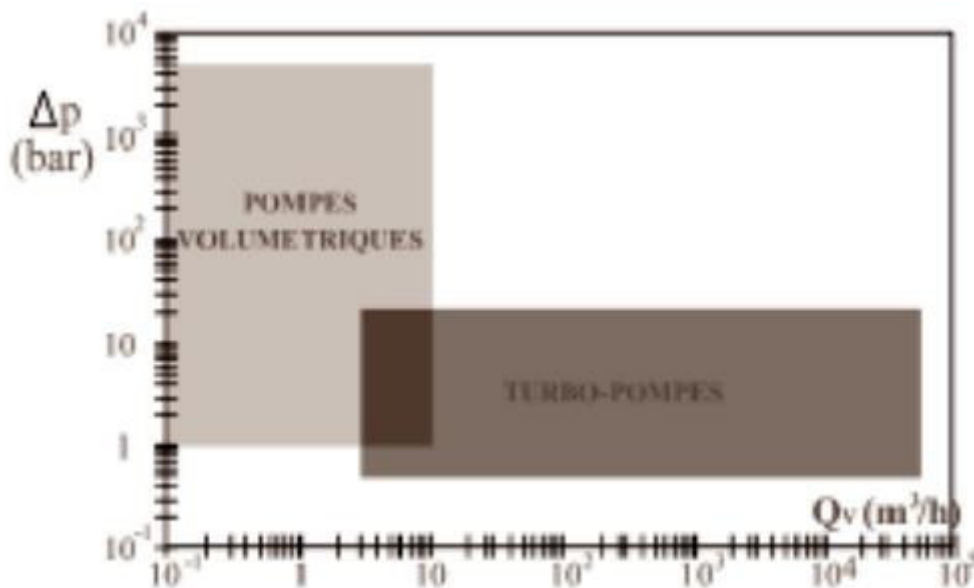
Du côté des inconvénients :

- impossibilité de pomper des liquides trop visqueux
- production d'une pression différentielle peu élevée (de 0, 5 à 10 bar)
- elles ne sont pas auto-amorçantes
- à l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir...). [3]

#### Remarque :

Les domaines d'utilisation de ces deux grandes catégories sont regroupés dans le tableau ci-dessous:

Tableau I.11 : Domaine d'utilisation les pompes volumétriques et turbopompes. [3]



## 1.5. Pompe centrifuge

### 1.5.1. 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 suivant :

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'impulser, il se réduit à une simple tuyauterie pour les pompes monocellulaire.

2) L'impulseurs (rotor) : 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'impulser se compose de le moyeu, bagues d'étanchéité (d'usure), et les flasques.

3) Le récupérateur (l'enveloppe) : c'est un organe fixe qui collecte le liquide à la sortie du rotor et la canalisé vers la section de sortie de la pompe avec la vitesse désirée. Le récupérateur se compose en général de deux (2) 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.

### 1.5.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

Une pompe centrifuge dans sa forme la plus simple est constituée d'une roue munie d'ailettes radiales et tournantes à l'intérieur d'une enveloppe corps de pompe. Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie. Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur (rotor) en rotation d'où il sera propulsé radicalement vers l'extérieur par la force centrifuge. Cette vitesse est ensuite convertie en pression au niveau de diffuseur. [2]

### 1.5.3. Caractéristiques d'une pompe centrifuge

#### 1.5.3.1. Les courbes rassemblées par le constructeur

Les constructeurs vendent leurs pompes avec un catalogue, dans lequel on trouve les courbes caractéristiques de la pompe; dans le même graphe on trouve les courbes suivant :

$\eta_g = F(Q_v)$  (figure I.17) ;  $[H = F(Q_v) ; P = F(Q_v) ; \text{NPSH requis} = F(Q_v)]$  (voire figure II.14)

H : hauteur manométrique d'une pompe.

$\eta_g$  : rendement globale de la pompe.

P : puissance absorbée de la pompe.

$Q_v$  : débit volumique de la pompe.

NPSH requis : charge nette absolue à l'aspiration.

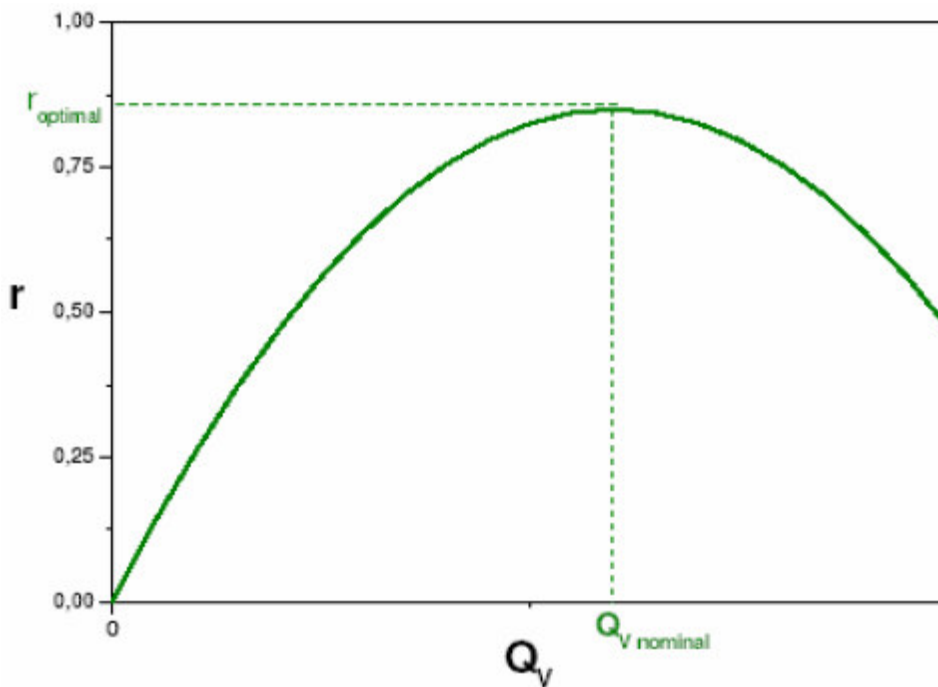


Figure (I-16) : Rendement en fonction du débit d'une pompe. [2]

### I.5.3.2. Principales caractéristiques d'une pompe

- Puissance

Puissance utile ( $P_u$ ) : travail réalisé par la pompe :

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q_v \cdot HMT \quad [\text{W}] \quad (\text{I.1})$$

Avec :  $\rho$  : la masse volumique de fluide [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ].

$g$  : la gravité [ $\text{m}/\text{s}^2$  ou  $\text{N}/\text{Kg}$ ]

$Q$  : débit volumique [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

HMT : hauteur manométrique d'une pompe [m]

Puissance absorbée ( $P_a$ ) : fournie sur l'axe de la pompe (moteur asynchrone, par exemple)

$$P_a = C \cdot \omega = C \cdot \frac{n2\pi}{60} \quad [\text{W}] \quad (\text{I.2})$$

Avec C : couple moteur [N.m]

$\omega$  : vitesse de rotation [rad/s]

n : vitesse de rotation [tr/min]

- Rendement ( $\eta$ )

Rendement globale de la pompe  $\eta_g$  :

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{I.3})$$

- NPSH requis : dépend de la vitesse de la pompe ; elle est donnée par le constructeur [Pa].
- Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe (HMT)

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]

Si on considère que  $p_a$  est la pression lue (en bar absolu) à l'aspiration de la pompe et  $p_r$  celle au refoulement, la HMT de la pompe est de manière simplifiée définie par :

$$\text{HMT} = (p_r - p_a) / \rho g \quad [\text{m}] \quad (\text{I.4})$$

Avec :

$p_a$  : pression d'aspiration [Pa]

$p_r$  : pression de refoulement [Pa]

- Nombre de tours spécifiques  $n_s$

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

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

Avec :  $n$  : vitesse de rotation [tr/min]

$Q_v$  : débit volumique [ $m^3/s$ ]

$H$  : hauteur manométrique [m]

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

### I.5.3.3. Point de fonctionnement

On obtient le point de fonctionnement de la pompe par intersection de la courbe caractéristique de l'installation hydraulique avec la courbe des HMT en fonction des débits de la pompe

(figure I-17)

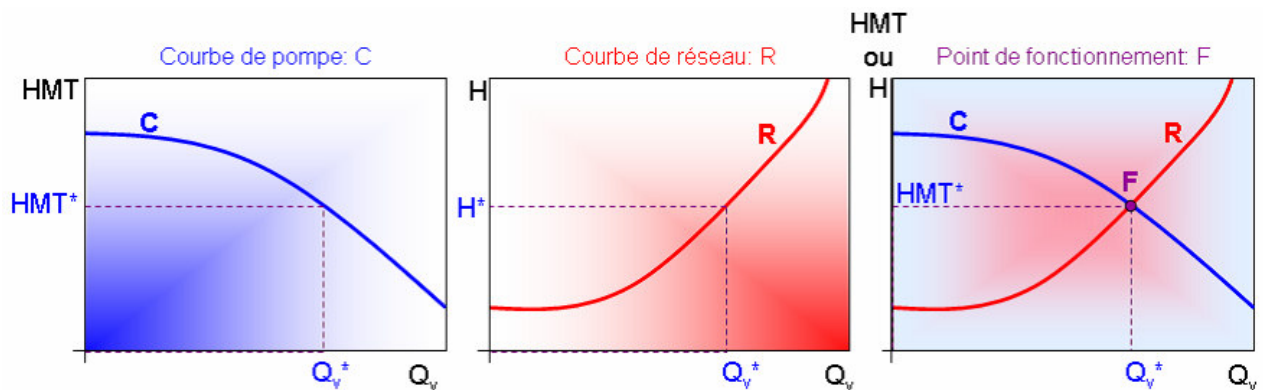


Figure (I-17) : Point de fonctionnement d'une pompe. [2]

## I.6. La maintenance

### I.6.1. Définition générale

La maintenance est définie comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Maintenir, c'est donc effectuer des opérations qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

### I.6.2. Les différentes formes de maintenance

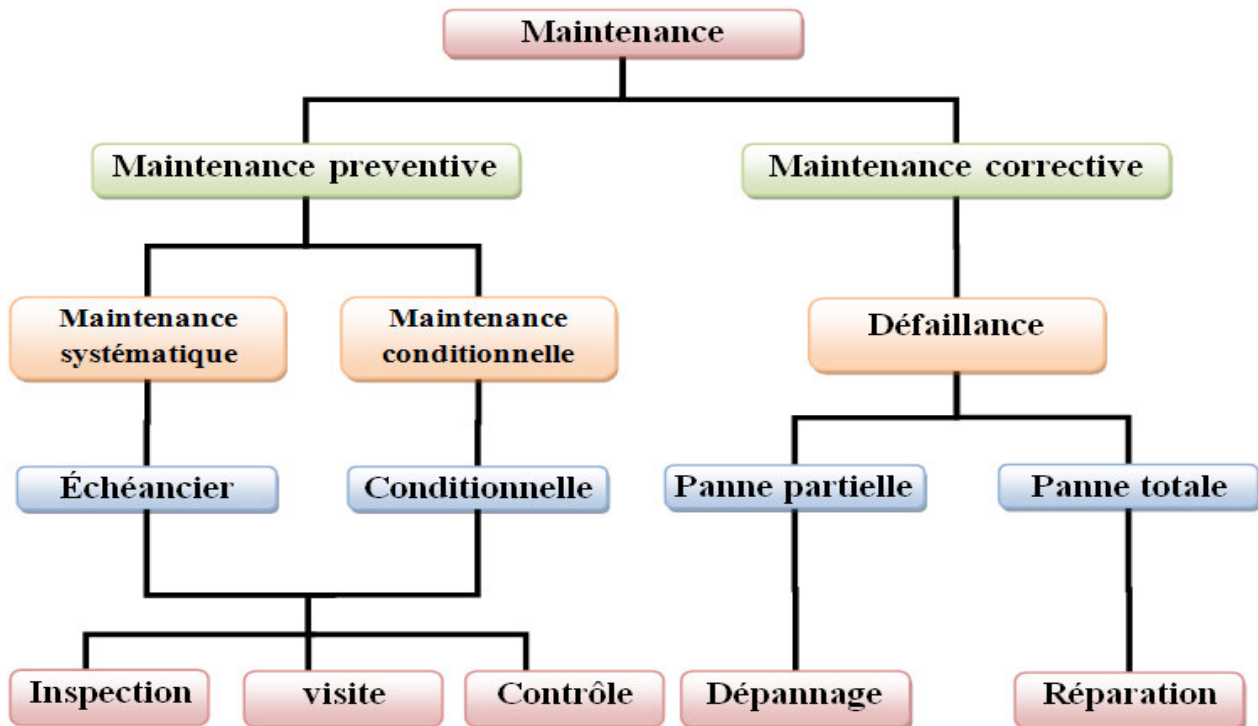


Figure (I-18): Conception de la maintenance

### I.6.3. Les 5 niveaux de la maintenance (des plus simples aux plus complexes)

1. réglages simples,
2. dépannages par échange standard et petites opérations de maintenance préventive,
3. identification, diagnostic, réparation,
4. maintenance importante,
5. rénovation, reconstruction.

### I.6.4. Sensibilité à la panne

1. Ordinateurs de contrôle de procès,
2. Permettre la marche manuelle. + Assistance au diagnostic de panne par l'opérateur.

### I.6.5. Hypothèses de pannes

Tableau I.12 : Hypothèse de pannes : bruits excessifs dans l'ensemble d'un circuit.

Défauts constatés	Causes possibles vérifier	Recommandation
! Pompes Cavitation	a- crépine défectueuse.	-Nettoyer ou changer.
	b- Pas de pression atmosphérique dans le réservoir.	-Nettoyer le filtre à air.
	c- Huile trop froide ou trop visqueuse.	-Vérifier la température extérieure.
	d- Pompe tournant trop vite.	-Vérifier la fréquence de rotation de moteur électrique.
! Bruits mécaniques	a- Pompe usée, endommagée.	-Voir le nombre d'heure de Service
	b- Bruit de clapet.	- Démontez et changez.
	c- Bruit de roulement.	- Manque de lubrification.
	d- Particule abrasive dans l'huile.	- Vidange d'huile.

Tableau I.13 : Hypothèse de pannes : pression et débits insuffisants, débits nuls.

Défauts constatés	Causes possibles vérifié	Recommandation
! Défaillance de la pompe.	-Pompe endommagée.	-A isoler pour vérification.
! Température de la pompe très élevée.	-Système de refroidissement insuffisant ou à prévoir.	-S'assurer de débit de l'eau.
! Pression réduite (irrégulière ou trop basse)	-Réducteur de pression de taré ou endommagé.	-Monter un manomètre et vérifier la pression.
! Débit nul	-Mécanisme de la machine bloqué.	-Vérifier les organes mécaniques.
	-Pompe n'aspire plus.	-Nettoyer ou changer.
	-Pompe tourne en sens inverse	-Connexion électrique à inverser.
! Débit insuffisant	-Fuite extérieure dans le circuit.	-Rechercher la fuite.

### Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une synthèse bibliographique sur les différents types des pompes, leur principe de fonctionnement et les avantages et les inconvénients de chaque type, nous avons parlé aussi sur l'hypothèse de pannes.

Remarquons que l'AMDEC se prête à des « zooms » successifs : de l'ensemble des fonctions d'une pelle mécanique, on peut se limiter à l'étude des pertes de fonctions hydrauliques, puis à celle d'un sous-système donné, puis à celle d'un simple vérin.

### ***B- Constitution du groupe de travail***

Sa composition dépendra des expertises requises en fonction des technologies présentes. Il faudra également définir le mode de fonctionnement du groupe, et en particulier la fréquence, la durée des réunions et le délai.

### ***C- Mise au point de la fiche d'analyse***

Sur un tableur, il faut définir les « lignes » (les composants) et les « colonnes » nécessaires (AMDE ou AMDEC) réparties en quatre grandes familles : analyse fonctionnelle, analyse de défaillance potentielle, estimation de la criticité et mesures à appliquer. Prenons un exemple standard de feuille AMDEC (tableau II.1).

Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance					Estimation de criticité				Mesures
Composant		Fonction	Mode de	Causes	Effet local	Effet système	Gravité	Occurrence	Non Détection	Criticité	Mesures envisagées
Nom	Rep										
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

**Tableau II.1 :** Exemple de feuille d'AMDEC-moyen de production [8]

#### **II.4.3.3. Analyse des résultats du tableau**

##### **A- Analyse fonctionnelle**

Colonnes 1 et 2 : Les colonnes 1 et 2 se déduisent de l'analyse fonctionnelle préliminaire nécessaire à la conception du système. Elles reprennent la liste des sous-ensembles ou des composants du système étudié, avec leurs fonctions associées.

##### **B- Analyse des défaillances potentielles**

###### **B-1- Colonne 3 : modes de défaillance ;**

Elle se déduit de la colonne 2 par identification des dégradations et des pertes de fonction envisageables. 33 modes de défaillance génériques sont proposés dans la norme AFNOR X 60-510.

###### **B-2- Colonne 4 : causes de défaillance ;**

###### **B-3- Colonnes 5 et 6 : effets de la défaillance ;**



## II.1. Introduction

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

## II.2. Maintenance préventive

Dans la définition de la maintenance préventive ; nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou les événements, et donc subie par la maintenance. La maintenance préventive comprend :

- Les contrôles ou visites systématiques
- Les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites,
- Les remplacements systématiques,
- La maintenance conditionnelle ou les contrôles destructifs.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange. il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive.

Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable (1 mois, par exemple) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire, donc on n'a pas besoin de la tenir en stock, si le délai normal le permet.

### II.2.1. Différents types de maintenance préventive

#### II.2.1.1 Maintenance préventive systématique

- **Visites systématiques**

Les visites sont effectuées selon échéancier établi suivant le temps ou le Nombre d'unités d'usage.

A chaque visite, on détermine l'état de l'organe qui sera exprimé soit par une valeur de mesure (épaisseur, température, intensité, etc.)

Soit par une appréciation visuelle. Et on pourra interpréter l'évolution de l'état d'un organe par les degrés d'appréciation : rien à signaler, début de dégradation, Dégradation avancée et Danger.

Par principe, la maintenance préventive systématique est effectuée en fonction de conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à l'apparition de la panne.

- **Remplacements systématiques**

Selon un échancier défini, on remplace systématiquement un composant, un organe ou un sous ensemble complet (il s'agit d'un échange standard).

Dans la mise en place d'une maintenance préventive, il vaut toujours mieux commencer par des visites systématiques, plutôt que par des remplacements systématiques, sauf dans les cas suivants :

- ✓ Lorsque des raisons de sécurité s'imposent ;
- ✓ Lorsque le cout de l'arrêt de production est disproportionné par rapport au cout de remplacement
- ✓ Lorsque le cout de la pièce concernée est si faible qu'il ne justifie pas de visites systématiques
- ✓ Lorsque la durée de vie est connue avec exactitude par l'expérience.

Le risque de remplacement systématique est de changer des éléments encore capables d'assumer le bon fonctionnement pendant un temps non négligeable.

La visite systématique permet tout d'abord de capitaliser les expériences sur le comportement des organes soumis aux conditions d'utilisation réelle

- **Ronde ou visite en marche**

La visite systématique effectuée pendant le fonctionnement permet d'optimiser l'arrêt machine, Pour ce type de maintenance, on suit l'effet de la dégradation ou de l'usure pour éviter le démontage indésirable. Les contrôles à réaliser : lecture des valeurs des paramètres, examens sensoriels ... Les valeurs des paramètres pour un fonctionnement normal sont connues à l'avance.

### **Exemples**

1. Une fuite plus ou moins importante traduit le degré d'usure de la garniture mécanique d'une pompe.
2. Une augmentation d'intensité d'un moteur indique une augmentation de l'effort demandé.  
La plupart du temps, le problème vient de la partie menée.
3. Un échauffement anormal signale un problème de roulement.

Tout en respectant les règles de sécurité, une surveillance quotidienne en marche permet de détecter rapidement le début d'une dégradation. La durée et la fréquence de ces opérations sont courtes.

Dans la mesure du possible, cette maintenance de premier niveau est confiée aux opérateurs pour les machines de production et aux exploitants pour les utilités.

Ce sont eux qui sont les mieux placés pour constater les conditions de l'apparition des pannes.

### II.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle

D'après la définition Afnor, il s'agit de la «maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure ....).

La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé.

Cela concerne certains types de défaut, de pannes arrivant progressivement ou par dérive, L'étude des dérives dans le cadre des interventions de maintenance préventive permet de déceler les seuils d'alerte, tant dans les technologies relevant de la mécanique que celles de l'électronique.

Au cours de la conception d'une installation, on définit des tolérances pour certains paramètres. La variation progressive d'un paramètre n'implique pas la

Défaillance d'un organe. Mais lorsque 'un paramètre sort de la tolérance, le fonctionnement peut être complétement perturbé. Le suivi de l'évolution des paramètres permet de préciser la nature et la date des interventions. Le paramètre suivi peut être:

- ✓ Une mesure électrique (tension, intensité.....) ;
- ✓ Une mesure de température ; Un niveau de vibration....

On choisit comme paramètre à suivre celui qui caractérise le mieux la dégradation des composants ou la cause de la perturbation de fonctionnement.

### II.2.1.3. Télémaintenance

Le système de supervision permet à la fois la conduite d'une installation et la détection d'aléas de fonctionnement. Les informations sont reçues à travers les capteurs et transmises à une centrale de surveillance qui enregistre les alarmes et les paramètres. Grâce au tableau synoptique qui visualise la localisation de ces informations, l'agent de surveillance réagit en conséquence dès l'apparition d'un défaut ou d'une variation anormale d'un paramètre.

Ce système, équivalent à une ronde est utilisé pour surveiller un ensemble d'équipements dont la localisation est dispersée d'une part, et dont l'accès est difficile et parfois dangereux d'autre part.

Le système de télémaintenance peut être entièrement automatisé. La gestion des actions, de type conditionnel, est réalisée à l'aide de modules de logiciel.

### II.2.1.4. Objectifs visés par la maintenance préventive

#### A- Améliorer la fiabilité du matériel

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

**B- Garantir la qualité des produits**

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que le jeu et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est assurée avec l'absence des rebuts.

**C- Améliorer l'ordonnement des travaux**

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production.

Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance.

Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction

Des impératifs de production.

**D- Assurer la sécurité humaine**

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

**E- Améliorer la gestion des stocks**

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

**F- Améliorer le climat de relation humaine**

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraînent l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- ✓ La sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes ;
- ✓ La fiabilité : amélioration, connaissance des matériels ;
- ✓ La production ; moins de pannes en production.

### G- Principes de bonne conduite

Il est important de s'assurer que quelques principes de bonne conduite sont respectés pour la réussite de l'application du programme de maintenance préventive dont l'objectif est de maîtriser les pannes. Ces principes sont simples et primordiaux.

#### G-1- Bien conduire

Souvent, la conduite ou l'utilisation du matériel sans précautions génèrent de nombreux dysfonctionnements qui peuvent aller jusqu' à la casse. Le respect des Paramètres de fonctionnement est essentiel dans la bonne conduite.

En effet, le suivi des paramètres de fonctionnement (température, pression, intensité...) permet souvent de déceler des dérives ou des débuts de dégradation.

#### G-2- Bien nettoyer

Une installation propre permet d'obtenir des conditions saines d'intervention de la part des conducteurs et des intervenants d'entretien, en terme :

- De facilité de diagnostic de panne
- De rapidité d'intervention
- De qualité des opérations de maintenance.

Cependant sur une installation propre, faible trace de fuite ne sera pas inaperçue. Une instruction de nettoyage indiquant comment l'effectuer et avec quels instruments est parfois nécessaire. Les produits de nettoyage sont nombreux et le choix se fait en fonction du besoin et de l'environnement.

Dans les industries chimiques et alimentaires, la procédure de nettoyage fait partie du procès de fabrication.

Les machines-outils ou les centres d'usinage sont quelquefois si compliqués que l'ouvrier ne peut pas les nettoyer sans perdre un temps précieux .Les couvercles de protection doivent être facilement démontable en dessous. La poussière et les corps étrangers ont tendance à s'y infiltrer et à former une pate dangereuse sur les glissières. Il est recommandé d'utiliser des aspirateurs industriels dont les filtres résistent aux liquides de refroidissement.

#### G-3- Bien réparer

Il est important d'assurer la qualité des interventions de maintenance dans le respect des règles de l'art. On remarque parfois que ces règles de l'art ne sont pas toujours appliquées, pour raccourcir le temps. Il en résulte souvent que les dysfonctionnements ou pannes revient après la mauvaise réparation.

Dans certaines circonstances, les techniciens effectuent un dépannage provisoire. Il ne faut pas oublier dans ce cas de revenir et refaire correctement le travail.

#### G-4- Bien lubrifier

Le graissage et la lubrification sont trop souvent considérés. A tort, comme des opérations peu importantes en maintenance. Négliger ces opérations conduites inéluctablement à plus de défaillances, voir des casses de matériels.

Chaque lubrifiant et chaque graisse ont leur utilisation. Il faut graisser au bon moment et avec une quantité suffisante sans excès. Les instructions de graissage sont très importantes.

Dans une entreprise de grande taille, il est nécessaire d'avoir un plan de graissage à jour. Ce plan doit tenir compte de tous les points de graissage. La suppression et l'ajout des organes à graisser proviennent des modifications.

Les graisseurs ne doivent pas exister sur des paliers dont les roulements sont graissés à vie. Ceci n'entraîne que de mauvaise confusion.

#### G-5- Critère de proximité

Pour certains équipements, le démontage est difficile et coûteux en temps et en moyen. Alors si l'objectif de ce démontage est de remplacer un organe qui a atteint sa limite de durée de vie, il est préférée de remplacés par la même occasion d'autres organes qui risquent d'être remplacées dans peu de temps et qui dans peu de temps et qui demanderont à nouveau le même démontage.

Dans la pratique de la maintenance préventive, on limite le nombre de démontages et remontage, générateurs de faiblesses, en donnant la même périodicité d'intervention à toutes les pièces d'un sous ensemble.

L'échéancier se rapportera donc aux déposes des modules, sauf pour quelques pièces fragiles dont la sera individuelle.

### II.2.2. Différents niveaux de la maintenance préventive

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme NF X 60-010.

Pour chaque niveau, la liste de l'opération précisée est donnée à titre d'illustration.

#### ✓ 1<sup>er</sup> niveau de maintenance :

Il s'agit essentiellement de contrôle et de relevés des paramètres de fonctionnement des machines :

- Niveau d'huile moteur.
- Niveau de colmatage.
- Indicateur de colmatage.

- Niveau de la réserve de combustible.
- Niveau de la réserve d'huile.
- Régime du moteur.
- Température de l'eau de refroidissement.
- Température d'échappement.
- Test des voyants et indicateurs.
- Purge de circuit d'échappement.
- Nettoyage des filtres.
- Contrôle auditif des bruits de marche.

Ces contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de maintenance ne nécessitant pas de réalisation d'un diagnostic de panne et de démontage. Ils peuvent aussi déclencher, notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveaux supérieurs. En règle générale les interventions de 1er niveau sont intégrées à la conduite des machines.

#### ✓ **2eme niveau de maintenance**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements:

- Remplacement des filtres à gazole.
- Remplacement des filtres à huile moteur.
- Remplacement des filtres à air.
- Prélèvement d'huile pour analyse et pré-analyse.
- Vidange de l'huile de moteur.
- Analyse de liquide de refroidissement.
- Contrôle des points signalés le 1er niveau.
- Graissage de tous les points signalés pour le 1er niveau.
- Contrôle des batteries.

Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable, filtres joints, huile, liquide de refroidissement.

#### ✓ **3eme niveau de maintenance**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécaniques ou électriques mineurs.

Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne.

- Réglage des jeux de soupapes.
- Réglage des injecteurs.
- Contrôle endoscopique des cylindres.
- Contrôle des sécurités de moteur.
- Contrôle et réglage des protections électriques.
- Contrôle du refroidisseur.
- Contrôle du démarreur.
- Remplacement d'un injecteur.
- Contrôle et réglage de la régulation de puissance.
- Contrôle et révision de la pompe.
- Contrôle des turbocompresseurs.
- Remplacement d'une résistance de chauffage.
- Contrôle de l'embiellage.
- Contrôle de l'isolement électrique.
- Remplacement d'une bobine de commande.
- remplacement d'un disjoncteur.

Ces opérations sont réalisées un technicien spécialisé. Toutes les opérations se font avec l'aide d'instruction de maintenance et d'outils spécifiques tels que les appareils de mesure ou de calibrage. Ces opérations peuvent conduire à des opérations de 4<sup>ème</sup> niveau.

✓ **4eme niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement :

- Déculassée (révision, rectification).
- Révision de la cylindrée.
- Contrôle d'alignement du moteur / alternateur.
- Changement des pôles d'un disjoncteur HT.

Les opérations sont réalisées par des techniciens bénéficiant d'un encadrement technique très spécialisé, d'un outillage général complet et d'un outillage spécifique .Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, ré usinage).

✓ **5eme niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement et son transport dans un atelier spécialisé.



Le 5<sup>ème</sup> niveau de maintenance est au constructeur ou reconstruteur. Il nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication.

### II.2.3. Maintenance préventive dite "de luxe "

Il faut éviter d'en faire trop et non seulement pour des raisons économiques mais aussi pour des raisons techniques ;

Par exemple :

- ✓ Remplacement systématique des roulements tous ans.
- ✓ Vidange systématique des huiles hydrauliques sans prise en compte de Capacités.
- ✓ Mesure vibratoire de toutes les machines tournantes sans exception.

Cette façon de pratiquer, au cours de l'arrêt annuel, il peut se produire un mauvais montage quand il y a un grand nombre de roulements à remplacer.

#### II.2.3.1. Contrôle périodique réglementaire

La gestion des contrôles périodiques des appareils soumis à la réglementation est généralement à la charge des services maintenance. La responsabilité directe d'un responsable de maintenance est d'engager pour tout accident consécutif à une défaillance d'un appareil soumis. Pour ces contrôles, on s'adresse aux organismes agréés : Apave, Verias, Sécurité SOCOTEC, CEP ...etc.

Dans la pratique, on peut classer les matériels astreints à des visites périodiques obligatoires en catégories suivantes :

- ✓ Les appareils de lavage.
- ✓ Les véhicules.
- ✓ Les appareils à pression (gaz ou vapeur).
- ✓ Les installations électriques.
- ✓ Les radiosources.
- ✓ Les machines dangereuses.
- ✓ Les matériels de protection incendie sont en général sous la responsabilité de la sécurité.

#### II.2.3.2. Fiabilité et maintenance préventive

En termes de statistique, la fiabilité est une fonction du temps  $R(t)$  qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.

En termes de qualité, on définit la fiabilité d'un matériel comme l'aptitude à maintenir la conformité à sa spécification d'origine. On distingue :

- ❖ **La fiabilité intrinsèque** : qui est propre à un matériel, selon un environnement donné, et ne dépend que la qualité de ce matériel ;

- ❖ **La fiabilité extrinsèque** : qui résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance .Elle est relative à l'intervention humaine.

### II.2.3.3. Taux de défaillance

Le taux de défaillance  $y(t)$  est un estimateur de la fiabilité (exprimé en pannes par heure).il est présenté par le rapport :

$$y(t) = \frac{\text{nombre de défaillance}}{\text{durée d'usage}} \quad \text{II-1}$$

Lieu au problème de défaillance, la vie des équipements se présente en trois phases :

- **Phase de jeunesse** :  $y(t)$  décroît rapidement, C'est la période de mise en service et de rodage de

L'installation .Les défaillances sont dues à des anomalies ou imperfections de montages.

- **Phase de maturité** :  $y(t)$  est pratiquement constant. C'est la période de vie utile ou la défaillance est aléatoire. Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimal de l'équipement.
- **Phase de vieillesse** :  $y(t)$  croît rapidement .C'est la période d'obsolescence, dégradation accélérée .Souvent, on trouve une usure mécanique de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain point de  $y(t)$ , le matériel est mort. La détermination de seuil de réforme est obtenue à partir de critères technico- économiques.

Une étude de déclassement sera à envisager. Dans la première phase, on ne pratique que la maintenance corrective, C'est seulement dans la seconde phase que la maintenance préventive est justifiée. Le graphe représentant la variation de taux de défaillance ; appelé « courbe en baignoire », possède trois allures différentes selon le matériel mécanique, matériel électrique ou matériel électronique.

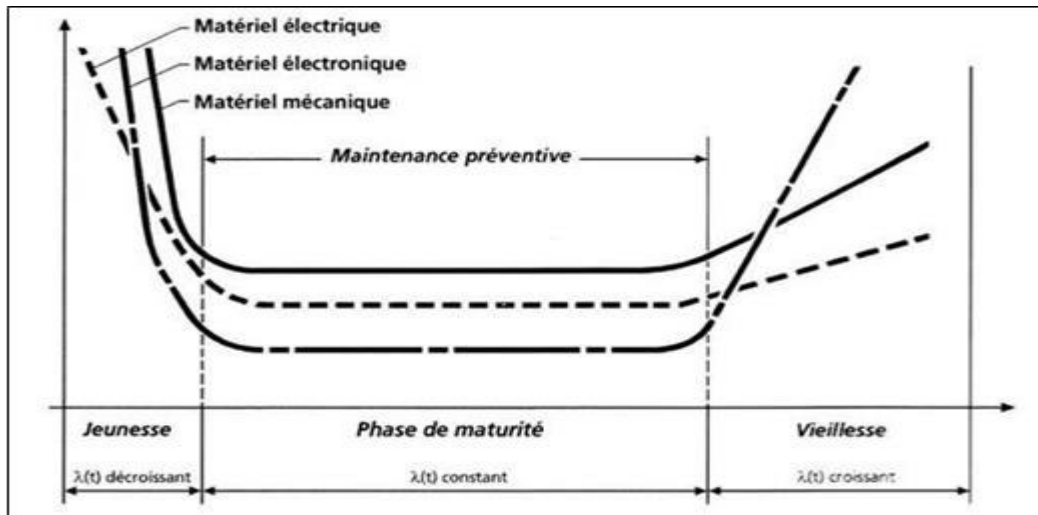


Figure II.1 : Graphe de variation de taux de défaillance.

#### II.2.3.4. MTBF

La MTBF ; ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives, Pour une période donnée de la vie d'un matériel :

$MTBF = \frac{1}{\lambda}$  Ces valeurs sont calculées à partir des observations, d'une exploitation statistique de l'historique, des essais de durée de vie.

#### II.2.3.5. Loi de fiabilité

A- Distribution exponentielle :

Cette loi est applicable pour la période où le taux de défaillance est constant ; Tous les matériels sont concernés durant leur vie utile. La fiabilité ou la possibilité de survivre entre l'instant 0 et t

$$\text{est : } R(t) = e^{-\int \lambda(t).dt} = e^{-\lambda(t)} \quad \text{II - 3}$$

On démontre que l'espérance mathématique, qui représente le temps moyen entre deux défaillances, est égale à :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{II - 4}$$

### II.2.3.6. Périodicité la maintenance préventive

H- Par principe, la visite systématique est déclenchée juste avant l'apparition de la défaillance. La périodicité de visite est alors :

$$T = k.MTBF \quad \text{II-5}$$

Avec k le coefficient d'optimisation ou paramètre économique.

Plus on choisit k petit ; moins il y a de maintenance corrective résiduelle. Mais si on intervient plus souvent, on augmente les couts directs et le gaspillage. On devra définir une politique de maintenance et fixer le seuil de correctif résiduel entre 5 et 10%. [5]

## II.3. Maintenance corrective

La maintenance corrective est effectuée pour réparer toute panne de l'équipement et inclut les catégories suivantes :

**Prévue** : Les réparations nécessaires sont connues à l'avance et donc tous les éléments requis sont disponibles au moment de la réparation.

**Imprévue** : Requise en cas de problème qui provoque une panne de l'équipement essentiel. Connue également sous le nom de maintenance d'urgence ou « en cas de panne ».

La maintenance corrective est fréquemment réalisée dans des conditions d'urgence et avec pour seul objectif : le rétablissement du service. Cette maintenance corrective peut être décomposée encore en : [6]

### II.3.1. Maintenance palliative

Il 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.3.2. 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.3.3. Auto-maintenance

Il 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.3.4. Les opérations de la maintenance corrective**

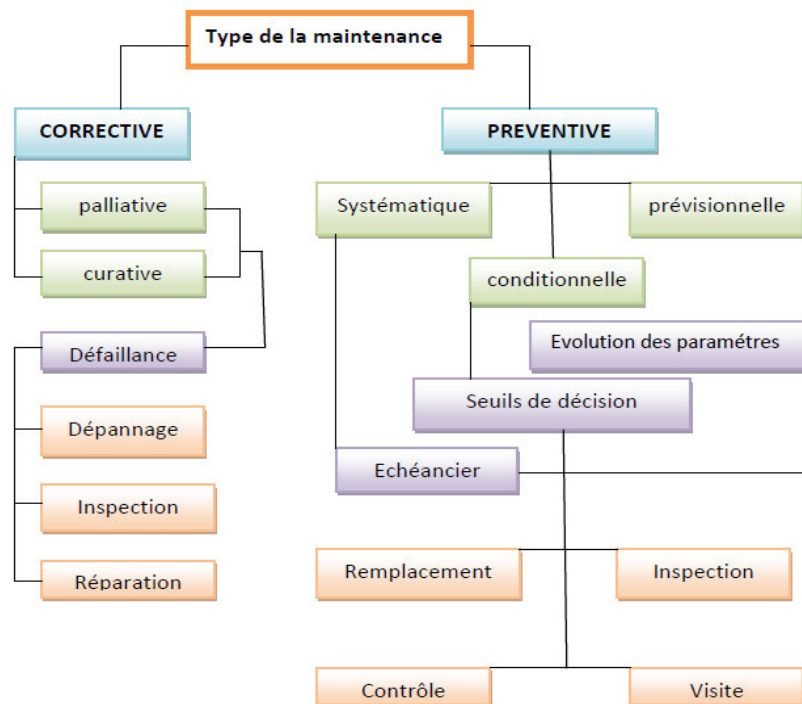
Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d’actions.

✓ 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. [7]

**II.3.5. Diagramme des types de la maintenance :**



**Figure II.2 :** Diagramme des types de maintenance.

## II.4. Méthodes de maintenance

### II.4.1. La méthode ABC de Pareto

#### II.4.1.1. Principe de la méthode ABC

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets. La démarche de la méthode se décline en 4 étapes principales :

A- Déterminer le cadre et les limites de l'étude :

- objet de l'étude : quel choix veut-on faire ?
- définir la nature des éléments à classer et leur mise en famille.
- choisir le critère de classement (temps ou coûts le plus souvent).
- sélectionner la période représentative du caractère étudié (souvent une année).

B- Réaliser un tableau de classement

C- Réaliser un tableau ordonné : classement des éléments par valeurs décroissantes du critère.

D- Tracer la courbe ABC (figure II.3).

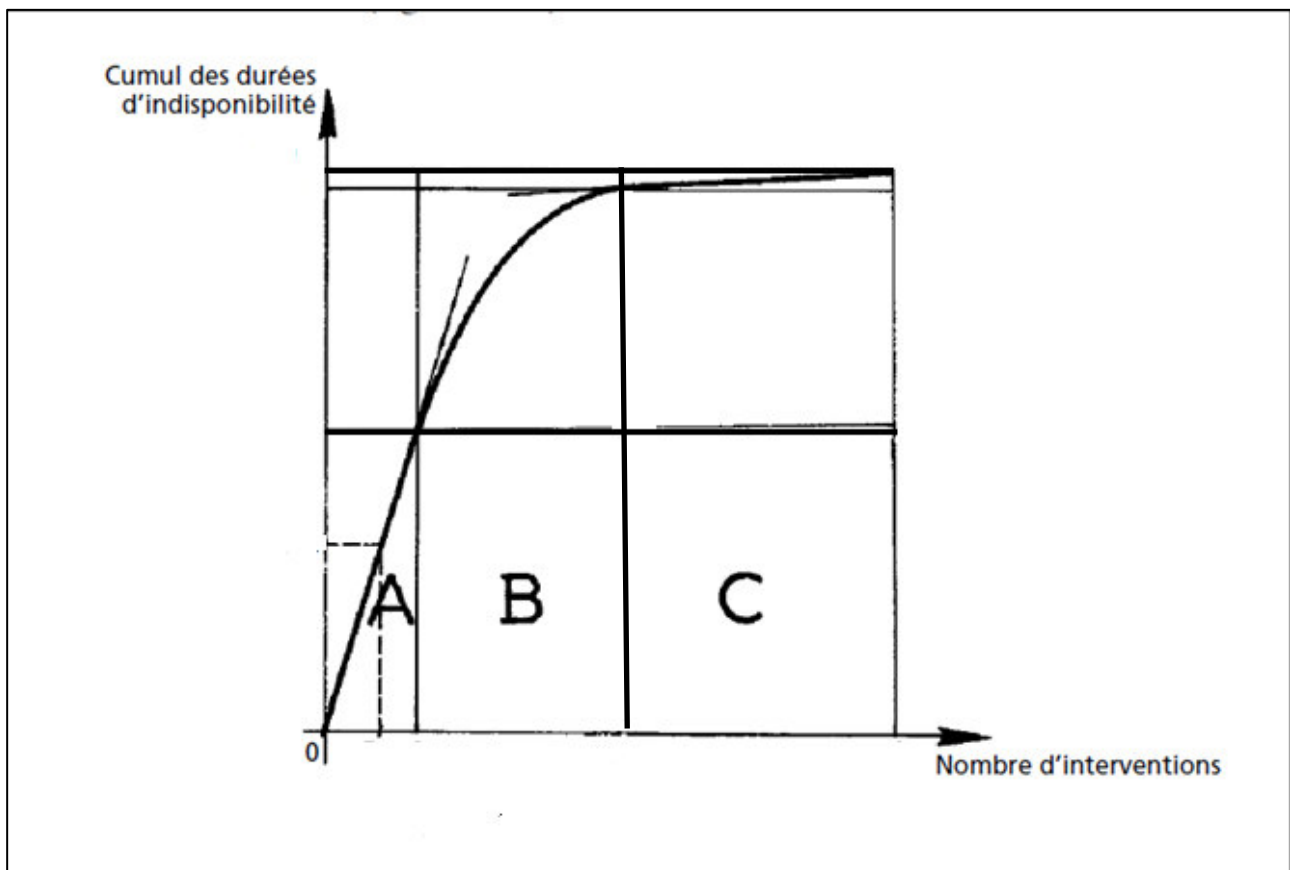


Figure II.3 : Exemple de courbe ABC [8]

### II.4.2. Un outil d'investigation simple : le diagramme d'Ishikawa des 5 M

Cet outil « de la qualité » a vocation à rechercher les causes potentielles d'un dysfonctionnement. Appliqué à la maintenance, il permet une investigation a priori menée à partir de cinq familles de causes de défaillance : les méthodes, la main d'œuvre, les moyens d'exploitation, le milieu environnant et les matières d'œuvre. Il se prête bien à une recherche collective, menée par construction d'une arborescence construite de l'aval (le défaut) vers l'amont (les causes potentielles), suivant l'exemple de la figure II.4.

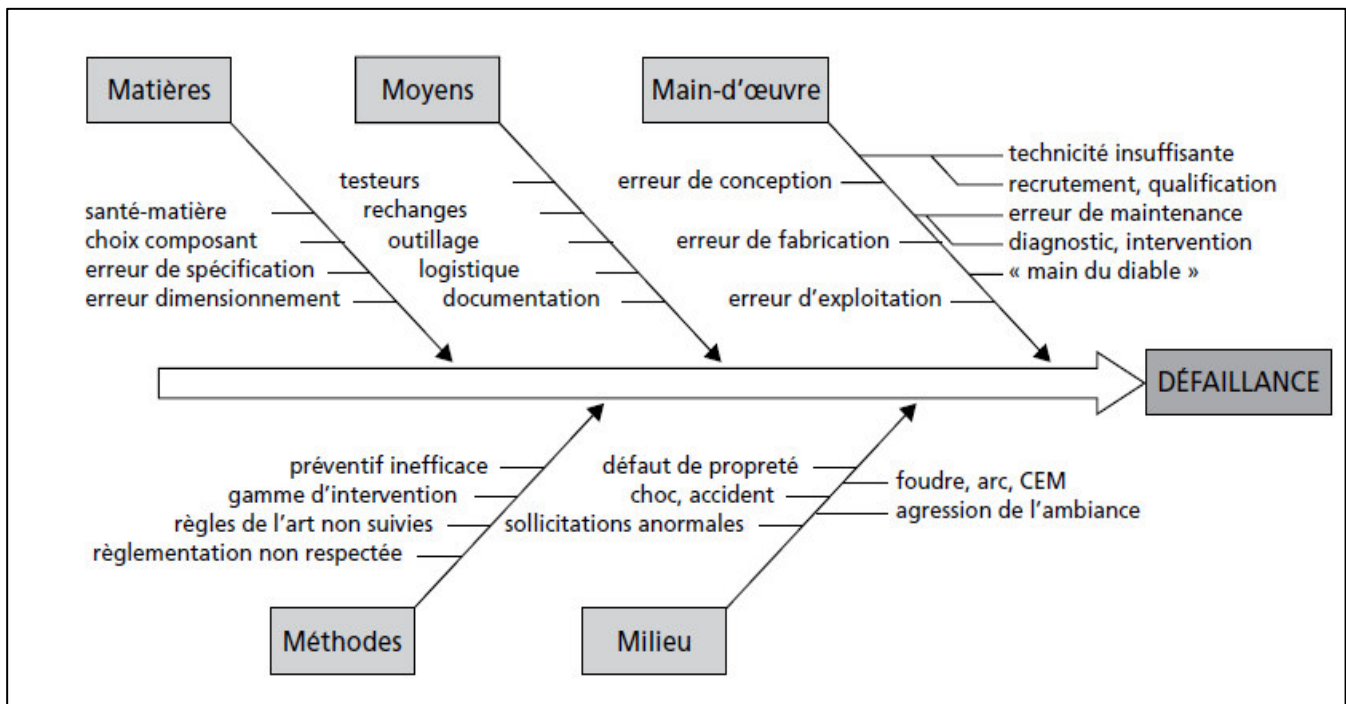


Figure II.4 : Recherche des causes potentielles d'une défaillance.

### II.4.3. Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

#### II.4.3.1. Définition

L'AMDEC est une méthode qualitative et inductive visant à identifier les risques de pannes potentielles contenues dans un avant-projet de produit ou de système, quelles que soient les technologies, de façon à les supprimer ou à les maîtriser. Elle est normalisée par l'AFNOR : norme X 60-510 de décembre 1986.

#### II.4.3.2. Méthodologie de la réalisation d'une AMDEC-moyen de production

##### A- Choix du sous-système à étudier et des objectifs à atteindre

Il s'agit au départ de choisir et de délimiter l'étude à mener, en fonction des objectifs fixés (atteindre une valeur de disponibilité donnée, ou seulement « déverminer » les plus gros problèmes potentiels) et du délai accordé.

Elles se déduisent de la colonne 3, les effets étant envisagés localement au niveau du sous-système étudié (colonne 5), et globalement comme conséquences possibles sur la mission du système et sa sécurité (colonne 6). Elle se déduit de la colonne 3 ; à un mode de défaillance peuvent être associées plusieurs causes.

### C- Analyse de la criticité de chaque mode de défaillance

Colonnes 7, 8 et 9

« **G** » est l'indice de gravité. Il s'évalue à partir des effets (colonne 6) par une note estimée de 1 (mineur) à 5 (catastrophique). Suivant les systèmes, la gravité « relative » peut s'estimer sur plusieurs critères : sécurité des personnes, des biens, défauts de qualité, perte de disponibilité, pénalisation de la production, etc.

✓ Effet sur la dimension d'un produit :

- Note 1 : écart inférieur à 0,5%
- Note 2 : écart inférieur à 1%
- Note 3 : écart inférieur à 5%
- Note 4 : écart supérieur à 5%

✓ Effet sur le temps d'arrêt de production

- Note 1 : inférieur à 4 heures
- Note 2 : inférieur à 24 heures
- Note 3 : inférieur à 1 semaine
- Note 4 : supérieur à une semaine

« **O** » est l'indice d'occurrence. Il s'évalue à partir des probabilités des causes (colonne 4) par une note estimée de 1 (improbable) à 5 (fréquent). Il est parfois possible de faire correspondre ces indices à des valeurs chiffrées. Par exemple, estimer  $O$  en fonction du taux de défaillance  $\lambda$  exprimé en panne/heure suivant le tableau II.2.

- Note 1 : moins d'une fois par an
- Note 2 : moins d'une fois par mois
- Note 3 : moins d'une fois par semaine
- Note 4 : plus d'une fois par semaine



« **D** » est l'indice de non-déteçtabilité. Il s'évalue à partir du mode de défaillance (colonne 3) par une note estimée allant de 1 (la dégradation « qui prévient ») à 4 (défaillance soudaine)

- Note 1 : détection efficace permettant une action préventive
- Note 2 : système présentant des risques de non-détection dans certains cas
- Note 3 : système de détection peu fiable
- Note 4 : aucune détection

Valeur du taux De défaillance $\lambda$	$\lambda < 10^{-6}$	$10^{-6} < \lambda < 10^{-5}$	$10^{-5} < \lambda < 10^{-4}$	$10^{-4} < \lambda < 10^{-3}$	$\lambda > 10^{-3}$
Estimation de l'indice d'occurrence <b>O</b>	1	2	3	4	5
Appréciation	Improbable	Très rare	Assez rare	Peu fréquent	Fréquent

**Tableau II.2** : Indices d'occurrence.

D- Hiérarchisation des problèmes

Colonne 10 : estimation de **Ic** , indice de criticité

Chaque mode de défaillance identifié sera caractérisé par son indice de criticité :

$$\mathbf{Ic} = \mathbf{G} \times \mathbf{O} \times \mathbf{D} \quad \text{III} - 8$$

## II.5. 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.

- Défauts mécanique : arbre tordu, élément rotatif gauchi, jeu trop grand sur l'impulser : corriger.
- Mauvais sens de rotation ou impulser monté à l'envers : corriger.

### III.1.6. Vibrations ou bruits sur la pompe

- Boulons de montage ou d'accouplement desserres
- Air ou gaz dans le liquide : purger et vérifier s'il y a pénétration d'air et resserrer.
- Mauvais alignement : corriger
- Corps étrangers dans l'impulseur causant un déséquilibre : éliminer.
- Défauts mécanique : arbre tordu, palier usé, accouplement mal aligné, parties rotatives gauchies : démonter et corriger
- Pompe fonctionnant en –dessous de la capacité minimale recommandée : augmenter le débit
- Cavitation : vérifier si la pompe est amorcée, vérifier si la pompe est amorcée, vérifier s'il ya une température élevée à la hauteur statistique vérifier s'il ya une obstruction de la ligne d'aspiration et vérifier **NPSH** disponible.

### III.1.7. Boite press-étoupe surchauffe ou fuite excessives de presse -étoupe

- Débit de refroidissement insuffisant vers les boites press-étoupe : vérifier s'il ya obstruction dans la ligne de réfrigérant et éliminer .
- Garniture ne porte pas : press-étoupe non serré de manière égale : corriger .
- Garniture non lubrifiée : lubrifier .
- Garniture trop serrée : corriger .
- Mauvais type de garniture : changer .
- Pas assez de garniture : corriger.
- Joint mécanique endommagé : remplacer .

### III.1.8. Paliers surchauffent ou s'usent rapidement

- Niveau d'huile incorrect : rajouter.
- Graissage inadéquat : changer.
- Huile contaminée : purger et nettoyer réservoir et changer d'huile.
- Pas assez d'eau de refroidissement : ouvrir complètement vannes d'eau de refroidissement.
- Paliers trop serrée ou pré chargés : démonter et corriger.
- Bagues d'huile ne fonctionnent pas : réparer ou remplacer.

### III.2. Exploitation des résultats

L'historique de panne (la pompe centrifuge X5K25)

Pompe	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Hauteur (m)	Vitesse Min (Tr/Min)	Vitesse Max (Tr/Min)	Puissance (Kw)	P.Max (Bars)	T° Max °c	type	MODEL
POMPE DE CIRCULATION EAU INDUSTRIELLE	130	52	2900	2960	30	10	120	LP100-200/210 A	C000058-P2-9204

**Tableau III.1 :** Identification de la pompe

- ❖ 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
1	11/03/2009	23/09/2009	06	2160	36	Fuite au niveau de la garniture mécanique
2	26/09/2009	10/01/2011	07	4320	24	Problème de clapet anti routeur
3	12/01/2011	01/01/2012	12	4825	26	Moteur électrique grille
4	02/01/2012	05/05/2013	10	6721	12	Haut vibration palier avant
5	10/05/2013	21/12/2014	08	5881	30	Problème alimentation électrique
6	23/12/2014	15/10/2016	05	7920	16	Haute température palier arrière
7	29/10/2016	04/03/2017	04	2465	48	Vibration sur palier arrière

**Tableau III.2 :** Dossier historique de la pompe.

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

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.

organes	nombre des pannes	cumule des pannes	%des pannes cumulées	heures des pannes	cumule des heures	%cumule des heures
palier arrière	8	8	25,81	64	64	28,32
garniture mécanique	4	12	38,71	58	122	53,98
alimentation élec	5	17	54,84	47	169	74,78
moteur élec grille	4	21	67,74	26	195	86,28
clapet anti	4	25	80,65	17	212	93,81
palier avant	6	31	100	14	226	100,00

Tableau III.3 : Le temps des arrêts des pannes de lapompe.

### III.2.2. Diagramme de PARETO

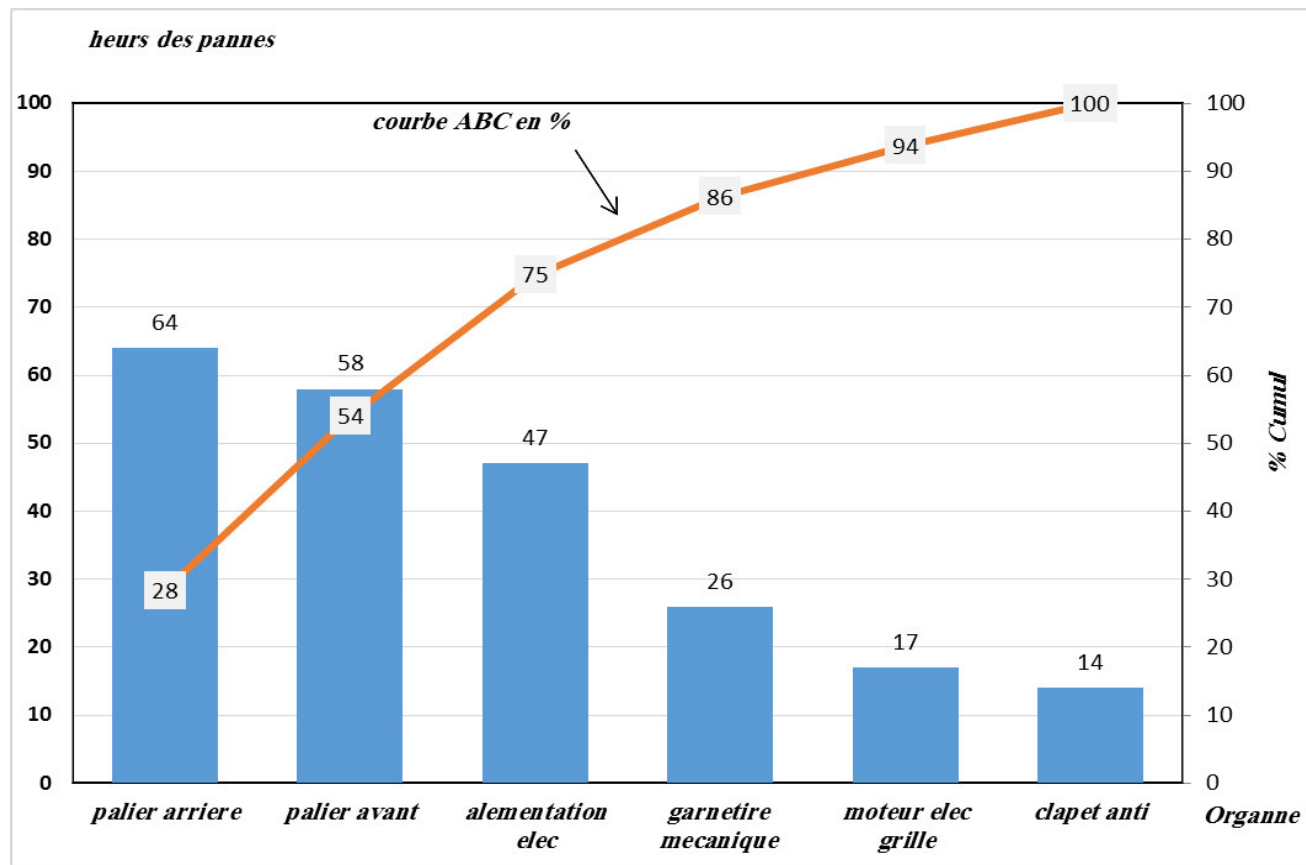


Figure III.1 Histogramme fiabilité et courbe ABC

Ainsi la courbe « ABC » nous a permis de classer les équipements en trois catégories (A, B et C). Vu les résultats obtenus par la courbe ABC, on doit opter pour un suivi particulier des sous-ensembles de la classe « A » et un suivi spécifique pour les sous-ensembles des classes «B» et «C». L'analyse de la fiabilité, seule, nous permet de bien fixer le type de la maintenance à appliquer pour ces équipements.

### **Interprétation des résultats**

#### **La zone A :**

nous montre que 54.84% des organes occasionnent 74.78% des temps de panne; il s'agit des organes: palier arrière, garniture mécanique et alimentation électrique donc une attention particulière devrait être réservée à cette zone.

#### **La zone B :**

Ensuite nous avons la zone B qui indique 25.81% des organes sont à l'origine de 19.03% des temps d'arrêts ; il s'agit de Moteur électrique grille et clapet anti routeur.

#### **La zone C :**

En fin nous avons la zone C constituée de palier avant représente 19.35% des organes, mais occasionnant seulement 6.19% des temps d'arrêts.

**III.2.3. Méthode d'analyse prévisionnelle ISCHIKAWA****III.2.3.1. Diagramme causes-effets**

Appelé diagramme d'ISCHIKAWA ou diagramme de poisson :

Matière	Matériel et Moyens	Main D'œuvre	Milieu	Méthodes
* choix du composant (pièces de rechange non conforme) *qualité et type de lubrifiant *défaut mécanique	*Joints d'étanchée use *filtre colmaté *roue à aubes cavité *conduites percés	*absence de formation *manque de documentation *erreur de conception	*milieu poussiéreux *conditions climat *accidents choc	*manque de maintenance préventive *programme de maintenance non conforme *réglementation non respectés

**Tableau III.4:** Causes et effets

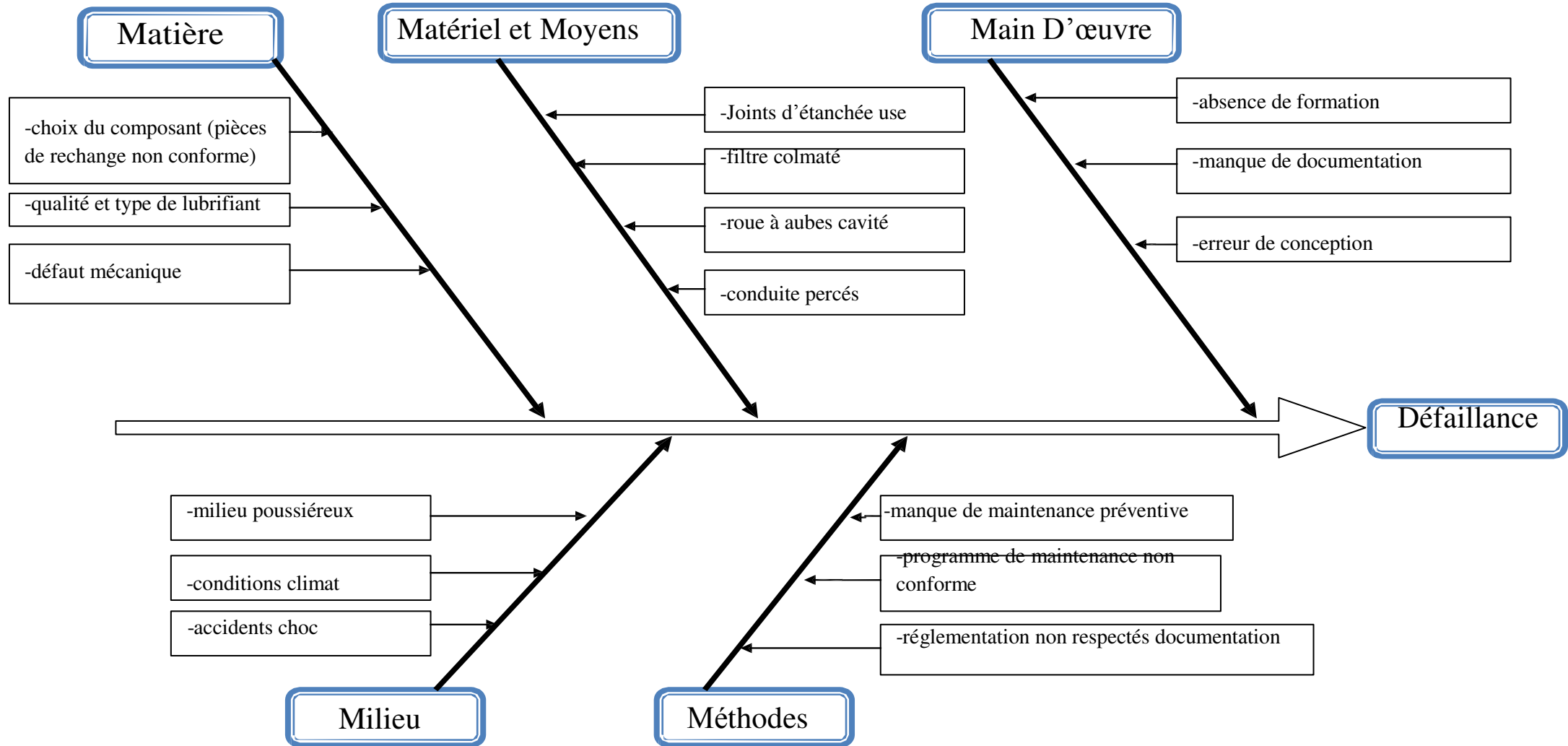


Figure III.2 Diagramme causes-effets Appelé diagramme d'Ishikawa ou diagramme de poisson

**III.2.3.2. Interprétation du diagramme d'Ishikawa**

Selon Ishikawa nous pouvons retenir les points suivants :

**Matière :**

Pour ce qui concerne la matière, type de l'huile, la qualité de lubrifiant et les pièces de rechange non conforme sont facteurs pénibles sur la rentabilité de la machine.

**Milieu :**

Le milieu poussiéreux est le facteur majeur qui augmente les temps d'indisponibilité.

La poussière énorme est due au fait que la machine ne dispose pas un dispositif de poussière.

**Main d'œuvre :**

L'absence de formation et le problème de qualification des employés sont des problèmes majeur qu'il faut impérativement les résoudre .Il y'a également un manque de documentation et l'absence de procédure d'intervention rend les taches plus difficiles.

**Matériel :**

La pompe est en généralement utilisée dans des mauvaises conditions (mauvais graissage, mauvais réglage, climat poussiéreux) qui cause des fuites interne et éclatement des conduites ainsi les usures des joints .L'absence d'étanchéité

**Méthode :**

Le manque d'information sur l'état de l'installation ainsi l'inefficacité de la maintenance curative rend la tâche des maintenances est difficile, il devient nécessaire de positionner une équipe d'intervention plus proche de l'installation.



**III.2.4. Méthodes d'analyse prévisionnelle AMDEC**

Après le recensement et l'identification de toutes les causes qui provoquent les pannes de la pompe, nous passons au calcul de la criticité des défaillances fonctionnelles, à l'aide de produit :

$$I_c = O \times G \times D$$

Prenant en compte la fréquence et la gravité de défaillance, comme indices de calcul. Nous obtenons le tableau suivant :

AMDEC MACHINE -ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE						Phase de fonctionnement				Action Corrective
DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITES										
SYSTÈME "INSTALLATION DE POMPAGE"										
Sous-système " POMPE CENTRIFUGE "										
Eléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de Défaillance	Effet de la Défaillance	Mode de Détection	Critic				
						O	G	D	Ic	
Clapet anti retour	Détermine le sens de circulation	Déformation	Usure	blocage	Non visuel	1	1	2	2	Changement
Bagues d'étanchéité	Limitent le retour du liquide sous pression qui se trouve dans la volute vers l'aspiration	Déformation	Usure	Perte volumétrique	Non visuel	2	1	3	6	Changement
Garniture mécanique	Assure l'étanchéité entre l'arbre et le corps des turbopompes	déformation	Usure	Perte	visuel	2	1	3	6	Changement des garnitures mécaniques
Corps des paliers	Reçoit les roulements est conçu pour permettre leur lubrification et éventuellement leur refroidissement et celui de l'huile.	déformation	Haute température	Bouchage de circuit d'eau	Non visuel	3	2	3	18	Nettoyage, débouchage de circuit d'eau
Roulement	Classes selon la nature des charges qu'ils supportent	Fatigue, Détérioration	Défaut d'alignement des arbres	Augmentation des vibrations	Non visuel	3	3	2	18	Changement les roulements (arrière et avant)
Moteur	Entrainement de la pompe	Alimentation	Défaut disjoncteur	Brûle	visuel	1	3	3	6	Changement disjoncteur
Roue à aube		Erosion du matériau (perçage des aubes)	Pression a l'aspiration faible Pompage à très grandeur >100m nature du liquide véhiculé et du matériau constitutif de la roue,	Cavitation Chut des performances es des pompes (diminution de la hauteur manométrique, débit et rendement)	Vibration	1	1	3	3	Changement.

Tableau III.5: AMDEC machine -analyse des modes de défaillance

### III.2.4.1. Synthèse ou évaluation de la criticité

A partir du tableau AMDEC on a hiérarchisé les défaillances selon le seuil de criticité, les éléments dont la criticité atteint le seuil demande des actions correctives, ainsi ceux qui ont la gravité et la fréquence entre 1 et 3 doivent entraîner une action corrective de conception, même si la criticité n'atteint pas le seuil fixé.

$1 \leq C < 16$ : Aucune modification; maintenance corrective.

Ex: changement d'accouplement ; serrage de système de fixation.

$16 \leq C < 24$  : Acceptable mais surveillance particulière; maintenance préventive conditionnelle et pièces de rechange associées.

$24 \leq C < 64$  : Remise en cause complète de la conception.

Niveau de criticité	Eléments	Criticité	Action corrective
$1 \leq C < 16$	Clapet anti retour	2	Maintenance corrective
	Bagues d'étanchéité	6	
	Garniture mécanique	6	
	Roue à aube	3	
	Moteur	6	
$16 \leq C < 24$	Corps des paliers	18	Amélioration de performance de l'élément Maintenance préventive systématique
	Roulement	18	

**Tableau III.6:** Evaluation de la criticité

### III.3. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre vise en particulier l'amélioration de la maintenance préventive et curative de la pompe centrifuge ; c'est pour cette raison, nous avons effectué une analyse critique de l'état actuel de la machine par la méthode AMDEC, puis un classement basé sur la criticité des éléments qui sont analysés est réalisé et seulement les éléments les plus critiques étant suivi par des actions de maintenances préventive.

### Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé comment faire une gamme d'entretien préventif de la pompe « X5K25 », cette gamme assure pour nous une durée de vie considérable pour notre machine et même temps les outils de coupes dans des bonnes conditions d'utilisation.

Aujourd'hui l'entretien (le service maintenance) est un service essentielle et plus important pour chaque entreprise cherche à une production maximale, synchronisation avec la production abondante et la compétition entre les entreprises actuellement qui nous sont imposées un soin intensifs pour ce secteur pour arrivons à notre objectives.

Lorsque nous parlons de la maintenance préventive nous projetons de l'entretien préventive parce que la maintenance préventive simplement si l'organisation de service d'entretien préventive. Après l'achèvement de ce travail, nous avons conclue que la maintenance, n'est pas que la réparation, et que la maintenance n'est pas forcément un bon homme à combinaison tachés de graisse, mais tout une fonction compliquées qui nécessite une organisation parfaite et une connaissance de la machine-outil.

## Bibliographie

---

- [1] "Pompes Volumétriques", ENPSSPM Formation industrie-IFP Training, 25/07/2005.
- [2] "Les Pompes", TOTAL Manuel de Formation : EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Dernière Révision : 13/04/2007.
- [3] BASCAL BIGOT, "Cours : Les Pompes",
- [4] BERNARD, Techniques d'ingénieur (B 4320) Pompes Volumétriques pour Liquides, PARIS.
- [5]- jean héng ; pratique de la maintenance préventive ; dunod, paris, 2002.
- [6]-banque interaméricaine de développement ; Evaluation des systèmes de pompage d'eau manuel de maintenance ; 1ere édition.
- [7]- Guide De La Maintenance Daniel Boitel Et Claude Hazard Edition Nathan 1990.
- [8]-françois mouchy ; jean pierre vernier ; maintenance méthodes et organisations ; dunod, paris, 3eme édition 2002