

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

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR :

ADDAJ Faouzi

BELLOUFA Abdelouafi

Thème

Etude des défaillances des pompes centrifuges

Encadré par : Mr A.BELAMRI

Soutenu le2020 devant le jury composé de:

Mr.	Président
Mr.	Rapporteur
Mr.	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Remerciement

Nous remercions Dieu qui nous a donné le pouvoir et nous a aidé à terminer ce modeste travail.

Pour cette occasion, nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près à la réalisation et à la mise au point de ce travail, en particulier

Merci l'encadreur : Belamri

Tous les étudiants du département de génie mécanique

À tous les enseignants du département de génie mécanique

Nos vifs remerciements vont également à nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous

DEDICACE

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

À mes amis pour leur appui et leur encouragement,

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien,

Résumé

Les pompes centrifuges sont des types des pompes hydrauliques qui servent à transformer l'énergie mécanique de la turbine, en énergie cinétique ou de pression d'un fluide incompressible. Donc, la pompe centrifuge convertit cette énergie avec laquelle elle est activée, dans ce cas mécanique, en énergie hydraulique

La cavitation étant un problème interne à la pompe qu'il faut éviter, vu les risques qu'elle produit à savoir, l'érosion de la matière de la roue, chute du rendement et détérioration de la pompe, et pour cela il faut vérifier la pompe visuellement de façon régulière a fin de détecter au plus tôt le besoin de la maintenance et respecter les données techniques lors de l'installation.

Abstract

A centrifugal pump is a type of hydraulic pump that is used to transform the mechanical energy of the turbine, into kinetic energy or pressure of an incompressible fluid. So the centrifugal pump converts this energy with which it is activated, in this case mechanical, into hydraulic energy

Cavitation is an internal problem in the pump that must be avoided, given the risks it produces, namely the erosion of the material of the impeller, drop in efficiency and deterioration of the pump, and for this it is necessary to check the pump visually on a regular basis in order to detect the need for maintenance as early as possible and to comply with the technical data during installation.

ملخص

مضخة الطرد المركزي هي نوع من المضخات الهيدروليكية التي تستخدم لتحويل الطاقة الميكانيكية للتوربين ، إلى طاقة حركية أو ضغط سائل غير قابل للضغط. لذا فإن مضخة الطرد المركزي تحول هذه الطاقة التي يتم تنشيطها بها ، في هذه الحالة الميكانيكية ، إلى طاقة هيدروليكية

التجفيف مشكلة داخلية في المضخة يجب تجنبها ، نظرا للمخاطر التي تنتج عنها ، وهي تآكل مادة المكره ، وانخفاض الكفاءة وتدهور المضخة ، ولهذا من الضروري التحقق المضخة بصريًا بشكل منتظم من أجل الكشف عن الحاجة إلى الصيانة في أقرب وقت ممكن والامتثال للبيانات الفنية أثناء التركيب

Liste des abréviations

D: Diamètre [m]

n : La vitesse de rotation [***tr/min***]

n_s : Vitesse spécifique [***tr/min***]

η_h : Rendement hydraulique [%]

η_v : Rendement volumétrique [%]

η_m : Rendement mécanique [%]

P_{ab} : Rendement global [W]

P_m : P_{ab} Puissance consommée par la pompe [W]

P_m : Puissance du moteur d'entraînement. [W]

P_{hyd} : puissance hydraulique [W]

H: Hauteur manométrique [m] μ : coefficient de correction

k : Coefficient de réserve

Q: Débit de circulation dans la pompe [m^3/s]

Pr : Pression refoulement pompe [bar]

Pa : Pression aspiration pompe [bar]

P : Masse volumique du liquide [kg/m³]

Pc: Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

Sommaire

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

Chapitre 01

généralité sur les pompes

1.1	Introduction	3
1.2	Définition des pompes	3
1.3	Classement des pompe	4
1.4	Les avantages et les inconvénients de la pompe volumétrique	5
1.5	Avantages et inconvénients des pompes roto-dynamique	6
1.6	Définition de pompe centrifuge	7
1.7	Généralité sur les pompes centrifuges	7
1.8	Théorie fondamentale de la pompe centrifuge	8
1.9	Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	11
1.10	Classification des pompes centrifuges	12
1.10.1	Disposition del'axe	12
1.10.2	Nombres des roues.....	12
1.10.3	La forme de la roue.....	12
1.10.4	La pression engendrée.....	12
1.10.5	Moyend'accouplement.....	12
1.10.6	Moyend'entraînement	13
1.10.7	Type du récupérateur	13
1.10.8	Usage.....	13
1.11	Composition d'une pompe centrifuge.....	13
1.11.1	La roue	14
1.11.2	Le distributeur	15
1.11.3	Le diffuseur	15
1.11.4	Volute.....	16
1.11.5	Le divergent.....	16
1.12	Critères de choix d'une pompe centrifuge	16
1.13	Les problèmes des pompes centrifuges.....	16
1.13.1	La pompe ne débitepas.....	16

Sommaire

1.13.2	Le débit est insuffisant ou intermittent	16
1.13.3	La pression est insuffisante	17
1.13.4	Echauffement des paliers	17
1.14	Conclusion.....	18

Chapitre 02

étude tribologique

2.1	Introduction	20
2.2	Etude tribologique des pompes	20
2.2.1	Contact des surfaces.....	20
2.2.2	Lois et mécanismes du frottement.....	21
2.2.3	Mesure du frottement	22
2.3	Définition de l'usure	23
2.4	Les principaux facteurs d'usure	23
2.5	Les types d'usure	24
2.5.1	L'usure par laminage	24
2.5.2	L'usure par adhérence	24
2.5.3	L'usure par corrosion	25
2.5.4	L'usure par abrasion	25
2.6	Conclusion.....	26

Chapitre 03

méthode de protection

3.1.	Introduction	28
3.2.	Définition de jeu fonctionnel.....	28
3.3.	Le type d'ajustement	30
3.4.	Méthode du choix de l'ajustement :	30
3.5.	Les problèmes des pompes centrifuges.....	32
3.5.1.	Définition de la cavitation	32
3.5.2.	Les types de cavitation.....	33
3.5.2.1.	Cavitation à bulle	33
3.5.2.2.	Cavitation a poche	33

Sommaire

3.5.2.3.	Cavitation de tourbillon marginal	34
3.5.2.4.	Cavitation de tourbillon d'ogive	34
3.5.2.5.	Cavitation du tourbillon de coque	35
3.6.	Méthode de protection les pompes	36
3.6.1.	Contrôle de pompe	36
3.7.	La maintenance	38
3.7.1.	Généralités sur la maintenance	38
3.7.2.	Types de maintenance	39
3.7.3.	Maintenance corrective	39
3.7.4.	Maintenance préventive systématique	40
3.7.5.	Maintenance préventive conditionnelle	40
3.8.	Programme de maintenance	40
3.9.	La maintenance sur la pompe centrifuge	43
3.9.1.	Maintenance de corps de pompe	43
3.9.1.1.	Maintenance prédictive	43
3.9.1.2.	La maintenance préventive	43
3.9.1.3.	La maintenance curative	44
3.10.	Méthodes de récupérations des pièces usées	44
3.10.1.	Projection thermique	44
3.10.1.1.	Historique	44
3.10.2.	Principe de la projection thermique	45
3.10.3.	Procédés de la projection thermique	46
3.10.3.1.	La projection à la flamme	46
3.10.3.2.	Projection à flamme-poudre	46
3.10.3.3.	Projection à flamme-fil	47
3.10.4.	Comparaison des procédés	48
3.11.	Les coussinets	49
3.11.1.	La structure de coussinet	49
3.12.	Rechargement à l'arc avec électrode enrobée	51
3.12.1.	Principe du procédé	51
3.13.	Conclusion	52

Conclusion générale

Bibliographie



Introduction générale

L'histoire des pompes hydrauliques a commencé au 1er siècle en Chine. Et au XVIIe siècle les pompes modernes ont été développées. De nos jours, l'utilisation des pompes diesel et électriques peuvent avoir des débits très élevés et des pressions très élevées plus de 400 bars suivant les besoins de l'utilisateur.

Le principe de la pompe est apparu lorsque le besoin en eau nécessaire à la survie de l'homme l'obligea à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat. L'homme utilisa d'abord l'énergie musculaire pour le transport de cette eau. Plus la distance et la quantité en eau augmentaient, il avait besoin de beaucoup d'énergie.

Les techniques de pompage ont dépassé les limites initiales de leur domaine d'application.

Les pompes sont passées du simple transport de l'eau et des divers fluides liquides à la transmission de la puissance mécanique. Leurs caractéristiques principales sont entre autres le débit et la pression.

Le monde actuel vit un progrès technologique considérable grâce à l'industrie énergétique selon différentes formes (hydraulique, nucléaire, solaire ; thermique, pétrolier ...). Parmi les machines ayant un rôle primordial dans les domaines d'activité pétrolier, on peut citer les turbomachines.

Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Chapitre 1

Généralités sur les pompes

1.1 Introduction

Dans un circuit hydraulique, la pompe joue un rôle tout aussi important, lequel s'apparente à celui joué par le cœur chez l'être humain.

La pompe permet de faire circuler, par l'intermédiaire de canalisations, un fluide hydraulique qui déplacera des charges grâce à des vérins ou à des moteurs hydrauliques.

La pompe joue un rôle de premier plan, car c'est elle qui fournit l'énergie dans un circuit hydraulique.

L'augmentation de la pression du fluide véhiculé par la pompe a lieu à la suite de la transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant cette pompe en une augmentation de l'énergie hydraulique qui est acquise par le liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe[1].

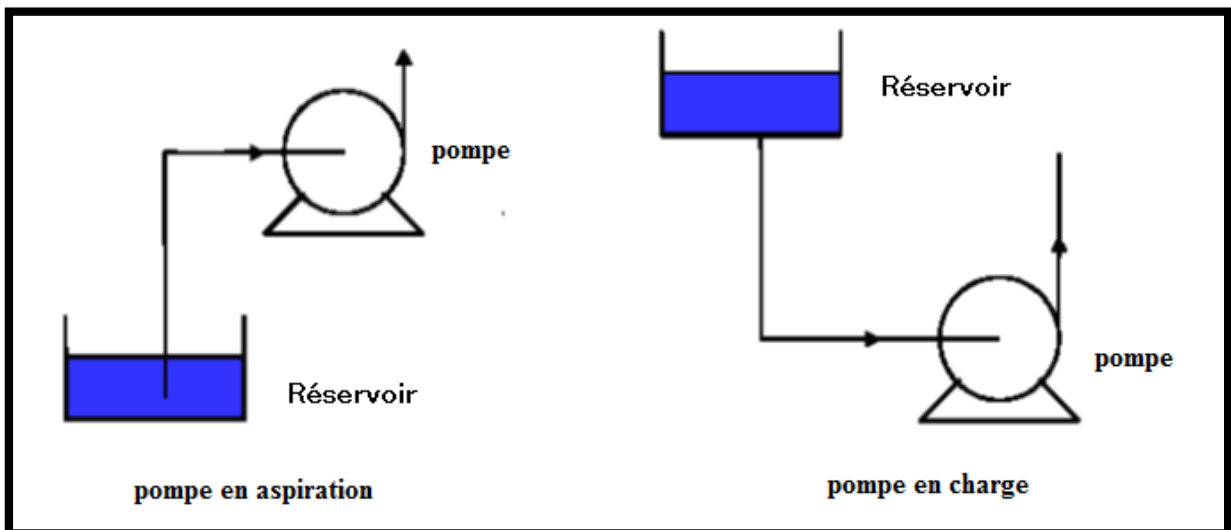


Figure 01 : Montage d'une pompe en aspiration et en charge

1.2 Définition des pompes

Une pompe est une machine hydraulique qui sert à transporter un liquide en augmentant sa pression. L'augmentation de la pression du liquide est due à la transformation d'une énergie mécanique en une énergie hydraulique.

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.

1.3 Classement des pompe

Au sens large, on définit une pompe comme étant tout appareil qui a pour fonction d'accroître l'énergie hydraulique du liquide pompé. A partir de cette définition, on peut classifier les pompes en deux grandes catégories (Figure 02) :

- Les pompes volumétriques ;
- Les pompes roto-dynamiques.

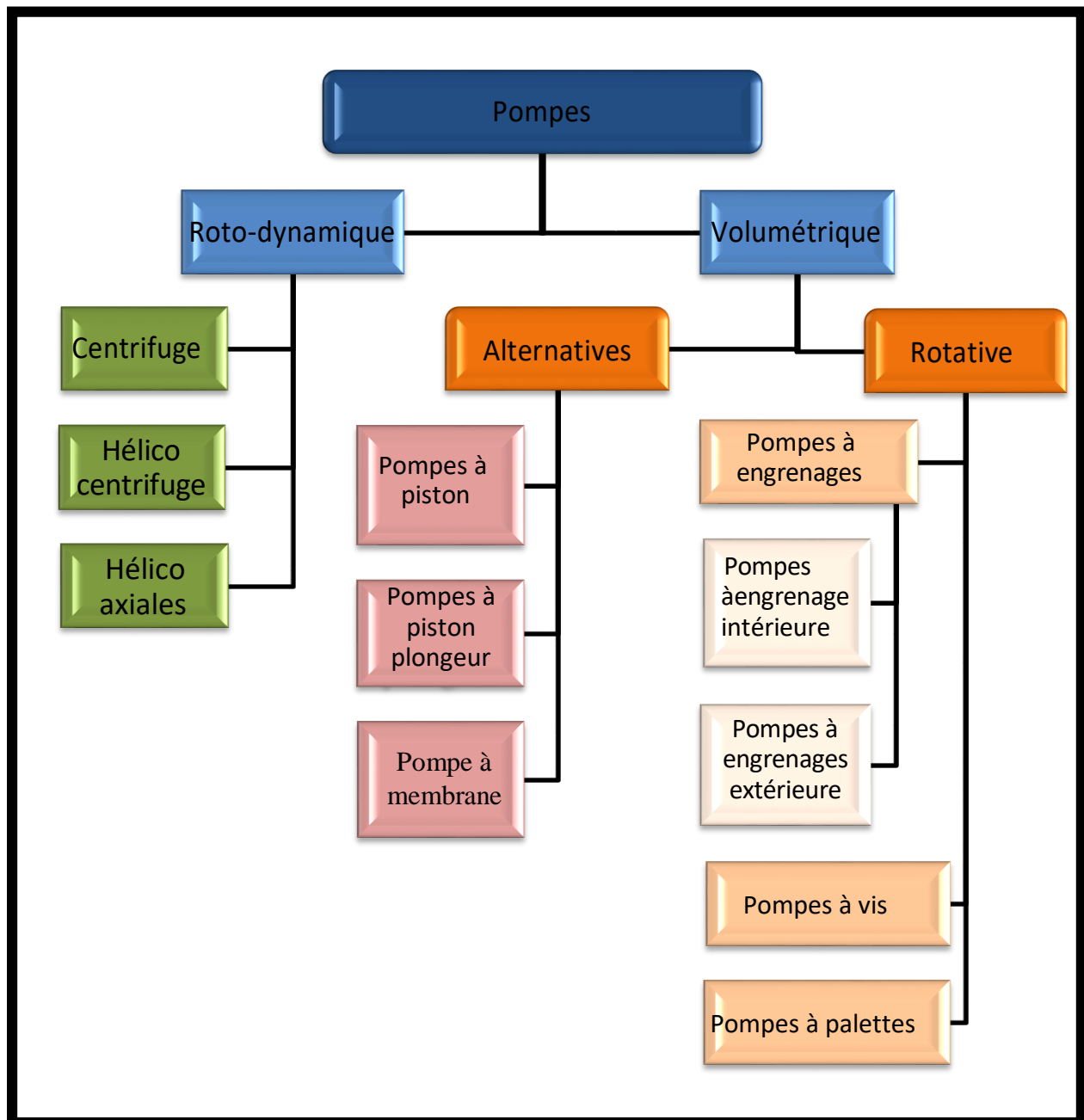


Figure 02 : Classification des pompes

1.4 Les avantages et les inconvénients de la pompe volumétrique

Tableau (01) : Des avantages et des inconvénients des pompes

Types des pompes	Avantages	Inconvénients
Pompes à piston	Bon rendement (>90%) Pressions élevées au refoulement - débit réglable	-Très encombrantes Pour des liquides de viscosité faible Pompage de particules solides impossible Débit pulsatoire (nécessité d'un dispositif anti-bélier)
Pompes à membrane	Pompage de liquides corrosifs, volatils Propreté absolue du liquide pompé Fonctionnement à sec sans dommage	Limitée en température Débit limité Pour des liquides de viscosité faible Débit pulsatoire (nécessité d'un dispositif anti-bélier)
Pompes à engrenages	Débit régulier Pompe réversible	Les pièces d'usure sont nombreuses Ne supportent pas les liquides abrasifs
	- Pompage de liquides de viscosité élevée	Pompage de particules solides impossible Fonctionnement à sec à éviter
Pompes à palette	Il n'y a ni brassage, ni laminage, ni émulsionnage du liquide pompé. Le débit est régulier. La pompe est réversible.	Les palettes usent le corps par frottements. - Le pompage des fluides visqueux est difficile.

<p>Pompes à vis</p>	<p>-Silencieuse.- Grande vitesse. - Bon rendement. -Pas de contact si les paliers sont entraînés par des pignons. -Étanchéité par joint torique, tresse ou garniture mécanique. Possibilité d'une enveloppe de réchauffage.</p>	<p>-Pas de particules solides. -Pas de produits abrasifs. -Si on utilise des pignons d'entraînement, il faut au moins deux boîtiers d'étanchéité. Nombreuses pièces d'usure</p>
----------------------------	---	---

1.5 Avantages et inconvénients des pompes roto-dynamique

Tableau (02) : Les avantages et les inconvénients des pompes roto-dynamique

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ impossibilité de pomper des liquides trop visqueux ➤ production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bar) ➤ elles ne sont pas autoamorçantes ➤ à l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir....)

- | | |
|---|--|
| <p>➤ refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater. La pompe se comporte alors comme un agitateur</p> | |
|---|--|

1.6 Définition de pompe centrifuge

Est un système ouvert, en quelque sorte un trou ou encore un conduit, dans lequel est mis en place un champ de forces centrifuges. Cette machine n'est plus basée sur le transport du fluide dans un godet ou sur la variation, dans le temps, d'un volume d'emprisonnement. Le fluide n'est plus poussé par une paroi matérielle, mais mis en mouvement et équilibré par un champ de forces.

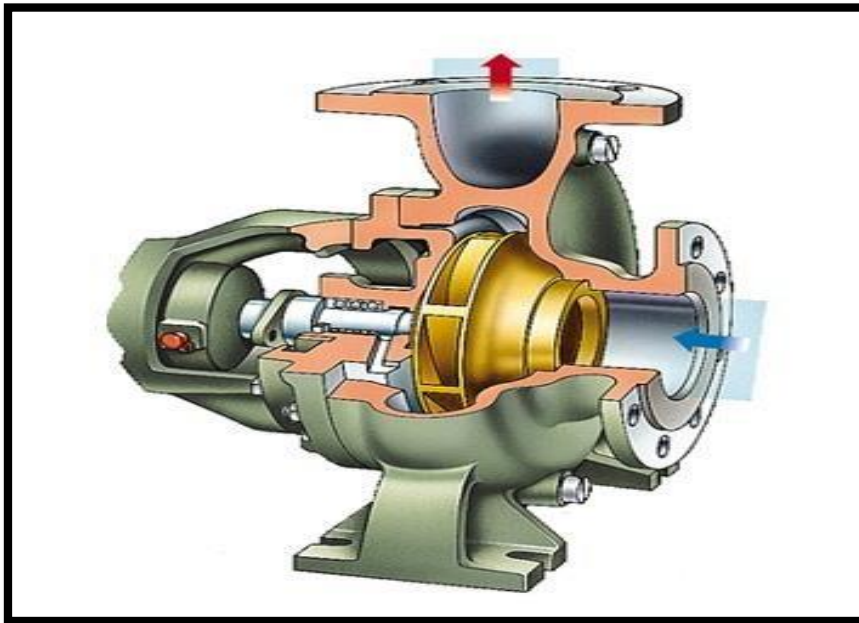


Figure 03: Pompe centrifuge

1.7 Généralité sur les pompes centrifuges

Elles sont munies d'une turbine ou rotor, immergées dans le liquide. Le liquide pénètre dans la pompe par un orifice situé à proximité de l'axe du rotor. Ce dernier chasse le liquide sous haute pression vers les extrémités des aubes. Le rotor donne une vitesse relativement importante au liquide. Cette énergie cinétique est convertie en force de pression dans la partie fixe de la pompe ou diffuseur. Dans les pompes à haute pression, de nombreux rotors peuvent être montés en séries et les diffuseurs successifs peuvent être munis d'ailettes, afin de réduire progressivement la vitesse du liquide. Dans les pompes à

faible pression, le diffuseur est souvent un conduit en spirale, la volute, qui réduit efficacement la vitesse. Le rotor doit être amorcé avant de pouvoir fonctionner : il doit être rempli de liquide lorsque la pompe est lancée.

On peut réaliser cela en plaçant un clapet de retenue dans le tuyau d'aspiration. Ce clapet retient le liquide dans la pompe lorsque le rotor est à l'arrêt. S'il n'y a pas de clapet, la pompe doit être amorcée par un apport extérieur de liquide, par décharge à partir d'un réservoir. Une pompe centrifuge est souvent munie d'une valve placée dans le tuyau d'évacuation pour contrôler le débit et la pression.

Pour les faibles débits sous haute pression, la turbine agit par force centrifuge. Pour les gros débits sous faible pression, le sens de l'écoulement à l'intérieur de la pompe est pratiquement parallèle à l'axe de l'arbre. On utilise alors une pompe hélio centrifuge ou axiale. Le rotor agit alors comme un propulseur.

Les pompes centrifuges présentent de nombreux avantages sur les pompes volumétriques : prix de revient inférieur, couplage direct avec un moteur, absence de vibrations. Les turbopompes sont souvent utilisées pour injecter de l'eau dans une chaudière à vapeur. Elles servent également à la propulsion des navires, en particulier en eau peu profondes, les moyens classiques de propulsion pouvant alors être endommagés. Voir Propulsion à réaction[2].

Dans toutes les pompes décrites, le liquide est évacué par une série d'impulsions et non de manière continue. Il faut donc prendre des précautions pour éviter les phénomènes de résonance dans les tuyaux d'évacuation, ce qui pourrait endommager l'installation. Dans les pompes à piston, des chambres à air sont souvent placées sur les écoulements, afin de réduire l'amplitude de ces pulsations et pour uniformiser le débit.

1.8 Théorie fondamentale de la pompe centrifuge

Les principaux paramètres qui caractérisent une pompe sont :

- La hauteur manométrique H_m
- Le débit volumique Q_v
- Le rendement η

Débit volumique Q_v

Le débit volumique « Q_v » caractérise la quantité de liquide qui passe à

travers une section donnée (section de refoulement) « S » par unité de temps « t ».

Cette

quantité de liquide est aussi caractérisée par la vitesse de passage à travers cette section.

$$Q_v = V.S$$

Hauteur manométrique H_m

On appelle hauteur manométrique H d'une pompe, l'énergie fournie par la pompe à l'unité de poids du liquide qui la traverse. Si H_{TA} est la charge totale du liquide à l'aspiration et H_{TR} la charge totale du fluide à l'orifice du refoulement, la Hauteur manométrique de la pompe est:

$$H_m = H_{TA} - H_{TR}$$

La hauteur varie avec le débit et est représentée par la courbe caractéristique

$$H = f(Q_v)$$

Cette différence de pression entre la pression amont et la pression en aval en

fonction du débit constitue la caractéristique de la pompe. La hauteur manométrique est généralement exprimée en hauteur de colonne d'eau (mètre de colonne d'eau : mCE). Pour déterminer la hauteur manométrique il faudra bien faire attention de considérer les pressions totale PA (avant la pompe) et PR (après la pompe).

H_m est calculé à partir de la formule suivante :

$$H_m = (PR - PA) / \rho g$$

Remarque

Lorsqu'on ferme progressivement la vanne, le débit Q dans le circuit diminue mais la différence de pression H_m augmente, et on remarquera aussi que l'augmentation d'un débit dans une conduite cause ce qu'on appelle des pertes de charges qui sont dues aux frottements, singularités (vannes, clapets...) et dissipations liées à l'écoulement.

Donc, plus le débit est important, plus les frottements sont élevés et les pertes de charges aussi.

Puissance P

La puissance utile est la puissance absorbée : la puissance disponible au

niveau de l'arbre d'entraînement de la roue de la pompe est la puissance absorbée P_a de cette pompe. La puissance transmise au fluide est appelée puissance hydraulique utile P_u . Le rapport de la puissance utile P_u et la puissance absorbée P_a est le rendement global de la pompe η_g .

Types de pertes

1. Pertes mécaniques

- Pertes dans paliers radiaux.
- Perte dans paliers axiaux.
- Pertes d'accouplement.
- Pertes dans la garniture mécanique.
- Pertes par frottement des surfaces immergées en rotation :
- Pertes par frottement de disque.
- Pertes par frottement sur un cylindre.

2. Pertes par fuites

- Fuite au piston d'équilibrage.
- Fuite à l'extrémité des aubes.
- Fuites externes.

3. Pertes hydrauliques

Les pertes hydrauliques sont constituées par:

- Les pertes dans le conduit d'amenée.
- Les pertes dans les roues.
- Les pertes dans les diffuseurs lisses.
- Les pertes dans les canaux de retour.
- Les pertes dans la volute.

Rendement η

Le rendement η d'une pompe est le rapport de la puissance totale utile P (puissance hydraulique) communiquée au liquide pompé à la puissance P_a absorbée par la pompe (en bout d'arbre) ou par le groupe (aux bornes du moteur).

Si Q_v est le débit volumique du liquide, ρ sa masse volumique, et H la hauteur manométrique de la pompe, la puissance P et le rendement η sont donnés par :

$$P = Q_v \cdot \rho g H$$

et

$$\eta = Q_v \rho g H / P_a$$

1.9 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.

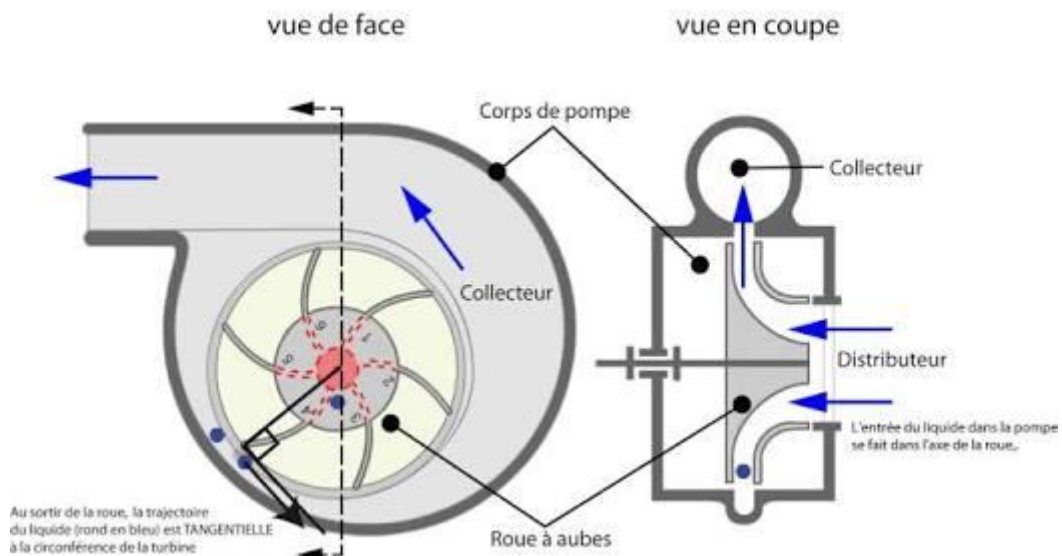


Figure 04 : fonctionnement d'une pompe centrifuge

1.10 Classification des pompes centrifuges

On classe les pompes centrifuges d'après le principe de fonctionnement.

1.10.1 Disposition de l'axe

- les pompes à axe horizontale
- les pompes à axe vertical (pompes immergées)

1.10.2 Nombres de roues

-Le nombre des roues correspondant au nombre d'étages.

1.10.3 La forme de la roue

-Simple aspiration

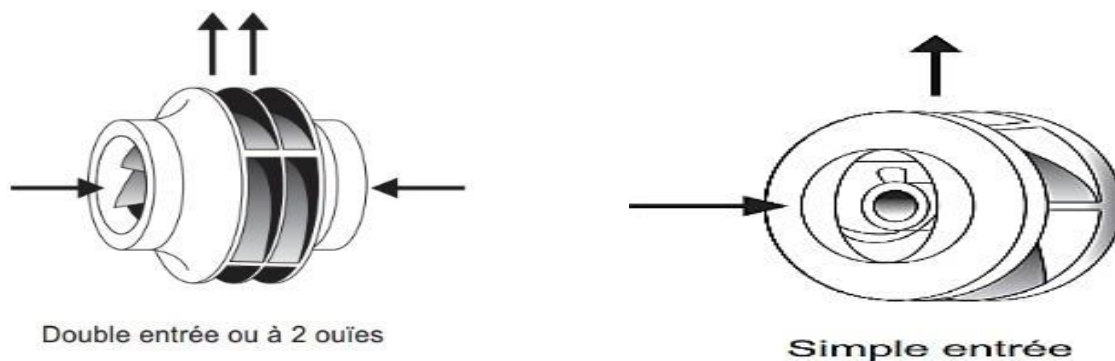


Figure 05 : Roue à double aspiration et roue à simple aspiration

1.10.4 La pression engendrée

- Faible pression
- Forte pression

1.10.5 Moyens d'accouplement

- Parchaine
- Parengrenage

- Par bride
- Par courroie

1.10.6 Moyens d'entraînement

- Par moteur électrique
- Par moteur diesel ou essence
- Par turbine à vapeur ou à gaz

1.10.7 Type de récupérateur

- Volute
- Diffuseur

1.10.8 Usage

- Pompe à usage normale
- Pompe à boue
- Pompe à acide
- Pompe à mazout et essence.

1.11 Composition d'une pompe centrifuge

Les organes essentiels d'une pompe centrifuge sont les suivants :

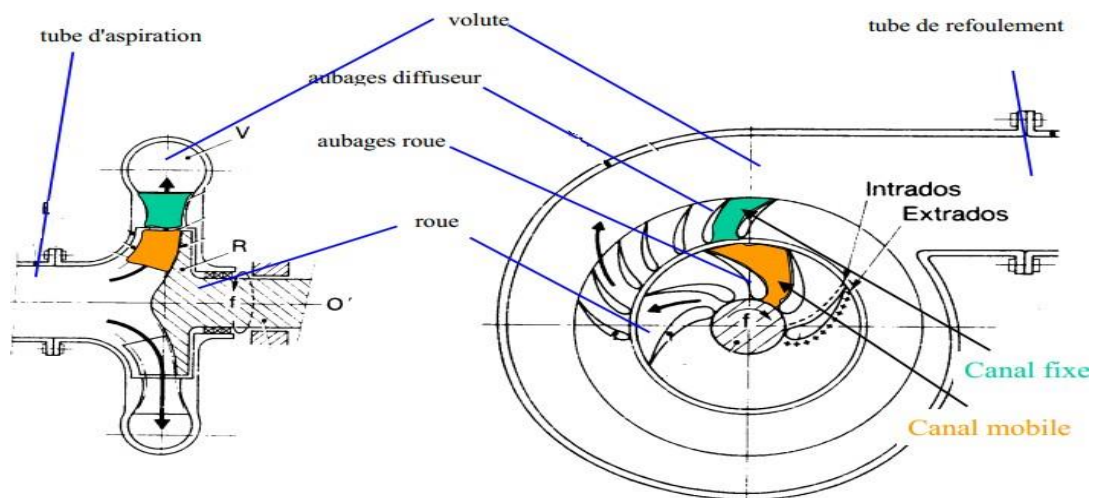


Figure 06 : Constitution d'une pompe centrifuge

1.11.1 La roue

C'est l'organe principal dans les pompes centrifuges. On l'appelle encore turbine, impulsor, rotor, cellule, mobil ou rouet. Elle communique au liquide à pomper une partie de l'énergie transmise à l'arbre dont elle est solidaire par le moteur d'entraînement. La transmission de l'énergie de la roue au liquide se fait par l'intermédiaire des aubes.

Ces dernières sont de simples palettes incurvées, libres ou fixes sur des plaques métalliques. Outre le transfert d'énergie, le rôle des aubes est aussi de guider l'eau dans la direction voulue.

Les roues des pompes centrifuges destinées à véhiculer de l'eau sont généralement en bronze. C'est un matériau facile à couler à travailler et à polir. La fonte, l'acier, l'acier inoxydable et des alliages des mêmes métaux sont aussi utilisées à cause de leur résistance à la corrosion, à l'érosion et à la décomposition électrolytique [2].

Tableau(03): Les différents types de roue

Type de roué	Hauteur de refoulement
Centrifuge	25 à 120 m
Hélico centrifuge	8 à 35 m
Hélice	2 à 10 m

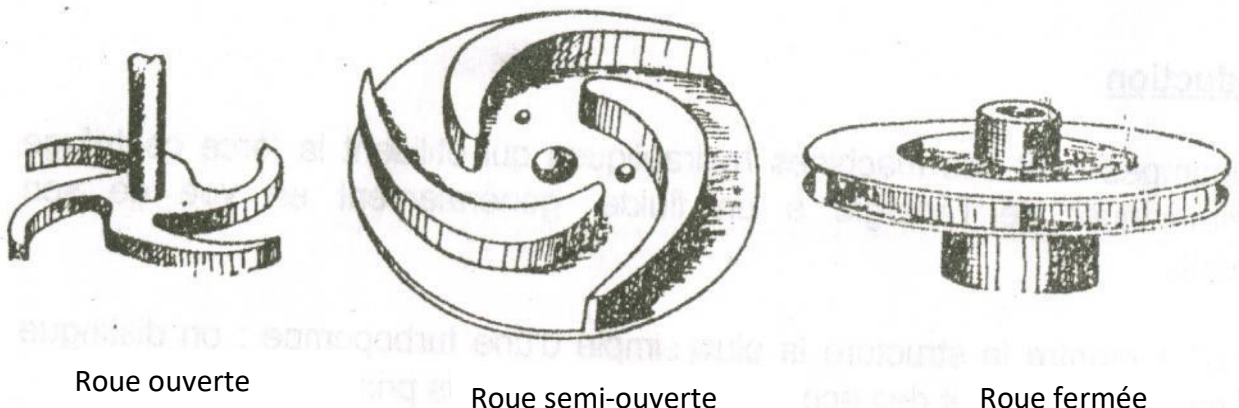


Figure 07 : Types des roues

On distingue :

- Les roues ouvertes : sont constituées de simples palettes incurvées semblables aux pales d'une hélice. Elles équipent les pompes pour liquides chargés, car elles laissent passer facilement les corps étrangers.
- Les roues semi-ouvertes : les pales sont accolées d'un côté sur une plaque pleine appelée flasque. Ce type de roue se rencontre fréquemment sur les pompes monocellulaires pour liquide chargé.
- Les roues fermées : ont leurs pales en séries entre deux flasques. Elles sont employées dans toutes les sortes de pompes, à l'exception de celles pour liquide chargé[1].

1.11.2 Le distributeur

Sorte de tubulure profilée qui, comme son nom l'indique, sert à conduire l'eau avec une vitesse et une direction convenables dans l'axe de la pompe ou « ouïe », « oeuillard » de la roue.

Le distributeur est généralement constitué par un cône convergent qui permet de réaliser une meilleure disposition des files liquides en améliorant le parallélisme et l'égalité des vitesses. Il est précédé, à l'amont, par la canalisation de l'aspiration.

1.11.3 Le diffuseur

C'est une roue fixe munie d'aubes directrices dont la courbure est inverse aux sens de rotation de la roue, Cet élément donne à la pompe une pression supérieure, par ralentissement progressif de la vitesse du liquide.

1.11.4 Volute

Appelée aussi colimaçon, elle forme le corps de la pompe. C'est une bache en forme de spirale qui joue le rôle de diffuseur.

1.11.5 Le divergent

C'est le canal de sortie, il présente un élargissement progressif, et achève le travail du diffuseur[1].

1.12 Critères de choix d'une pompe centrifuge

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de

l'installation.

Les données nécessaires pour un dimensionnement correctes sont:

- Le débit et la pression désirée.
- La hauteur géométrique.
- Le diamètre de la conduite [4].

1.13 Les problèmes des pompes centrifuges

1.13.1 La pompe ne débite pas

- a) Amorçage incomplet : la pompe n'est pas complètement remplie d'eau, après durée normale d'amorçage.
- b) Vitesse de rotation insuffisante.
- c) Hauteur manométrique trop forte (indication du manomètre sur le refoulement).
- d) Hauteur d'aspiration trop forte (indication du manomètre sur l'aspiration).
- e) Poche d'air dans la conduite d'aspiration (sifflamment d'air à l'ouverture de tout orifice sur le point haut de la conduite).
- f) Sens de la rotation inversé [5].

1.13.2 Le débit est insuffisant ou intermittent

- a) Prises d'air.
- b) Vitesse insuffisante.
- c) Hauteur manométrique exigé.
- d) Hauteur aspiration trop forte.
- e) Incidents mécaniques [4].

1.13.3 La pression est insuffisante

Dans le cas où la pression n'est pas suffisante et que la pompe tend à barboter, les diagnostics et remèdes sont présentés dans le tableau ci-dessous [4].

Tableau (04) : Les diagnostics et les solutions de la pression

DIAGNOSTIC	SOLUTION
Prises d'air	Vérifier qu'il n'y a pas formation de vortex
Pression insuffisante => vous tous les cas avant toute autre action.	S'assurer que le manomètre sur le refoulement est bien placé: il ne doit pas être au sommet du corps de la pompe.
a) Vitesse insuffisante	Vérifier la vitesse, ne pas oublier que la pression varie comme le « carré » de la vitesse
b) Introduction d'air dans l'eau (la pompe donne une émulsion d'air et d'eau)	Vérifier immersion de la tuyauterie d'aspiration. Vortex. Prises d'air
c) Incident mécanique.	Vérifier état de la roue

1.13.4 Echauffement des paliers

Les paliers sont des systèmes entourant l'arbre de pompe, permettant un guidage en rotation. Ils évitent que l'arbre ait un jeu. Ils peuvent être de plusieurs types (voir le tableau 05).

Tableau (05) : Les types des paliers

TYPE DE PALIER	SOLUTION
Paliers lisses ou à bague Température maximale de l'huile : 60°C	S'assurer que la provision d'huile est suffisante, que les bagues ne sont pas bloquées, que l'huile n'est pas trop vieille. Vérifier le montage et le partage de l'arbre, s'il n'y a pas de bridage par suite de centrage défectueux des paliers. Changer l'huile après un échauffement important. Dans le cas d'un palier de butée et si l'échauffement provient des cannelures, c'est que l'équilibrage du mobile est défectueux.
Paliers à billes	Manque ou excès de lubrifiant Roulements HS : les changer Efforts anormaux (calage de l'accouplement par exemple)

1.14 Conclusion

Les pompes sont des machines qui réalisant l'écoulement d'un fluide en utilisant une certaine quantité d'énergie fournie par un moteur électrique, leurs caractéristiques de débit et de pression permettant de choisir leur dimensions.

A decorative scroll frame with a light orange border and rounded corners. The frame is open on the left and right sides, with small grey circular accents at the top and bottom of the opening. The text is centered within the frame.

Chapitre 2
Etude tribologique

2.1 Introduction

Le mot tribologie a été proposé par Peter Jost en 1966 et est basé sur le mot grec "tribos" qui signifie frotter. Il s'agit donc de la science du frottement. Son but est de regrouper sous une seule terminologie l'ensemble des sciences du frottement :

- Contact des surfaces ;
- Usure ;
- Frottement ;
- Lubrification ;
- etc.

Une définition plus précise de la tribologie est l'étude des interactions entre surfaces solides en mouvement relatif.

Lorsque deux solides sont mis en contact sous l'action d'une force normale F , une force tangentielle T apparaît et s'oppose au déplacement relatif des deux solides (figure 1). Le frottement est très utile lorsque l'on cherche à immobiliser deux solides l'un par rapport à l'autre. Par exemple il facilite nos déplacements en nous permettant d'exercer, sans glisser, des forces de poussée tangentielle sur le sol pour nous propulser. En revanche, il présente un inconvénient dès lors que l'objectif est de mettre en mouvement relatif deux solides [7].

2.2 Etude tribologique des pompes

2.2.1 Contact des surfaces

Un contact est dit localisé lorsque la zone de contact est un point ou une ligne. Ce type de contact est très courant en mécanique (figure 01). On trouve des contacts ponctuels entre les billes et les bagues d'un roulement. Le contact entre une came et le poussoir d'une soupape de moteur se fait suivant une ligne. Dans l'hypothèse où les solides sont rigides et de forme parfaite, l'aire de contact est nulle et donc la pression de contact infinie. Bien évidemment, cette conclusion n'est pas réaliste. Nous verrons dans ce chapitre comment calculer les aires et pressions de contact dans le cas d'un contact ponctuel.

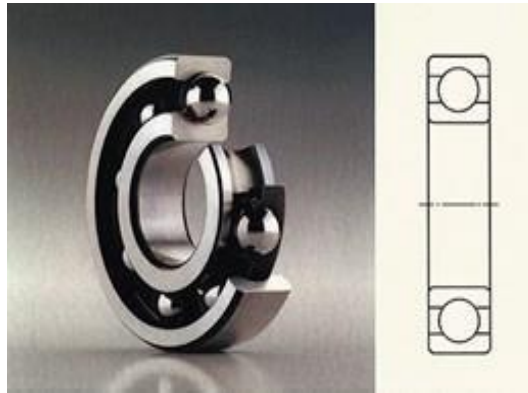


Figure 01 : Exemples de contacts localisés (Roulement à bille)

2.2.2 Lois et mécanismes du frottement

Lorsque deux solides 1 et 2 sont mis en contact par une force F , une force tangentielle T apparaît naturellement si on cherche à déplacer les solides l'un par rapport à l'autre. Cette force tangentielle est appelée force de frottement. Sur la figure 2, la force T correspond à $T_{2 \rightarrow 1}$ et la vitesse de glissement V à $V_{1/2}$.

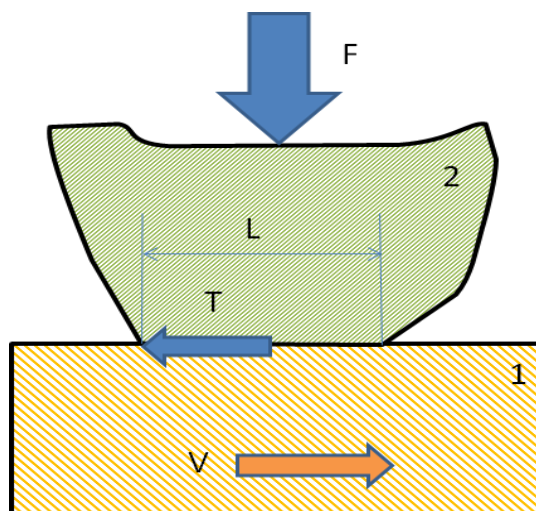


Figure 02 : Contact entre deux solides en présence de frottement

2.2.3 Mesure du frottement

Le facteur de frottement se mesure au moyen d'un tribomètre (la figure 03) Présente un tribomètre pion-disque qui est parmi les appareils les plus couramment utilisés.

Il se compose d'un arbre en rotation à vitesse variable sur lequel se fixe un disque constituant le premier matériau à tester. Un pion réalisé avec le deuxième matériau du couple tribo- logique se monte sur un support équipé d'un capteur de force normale et tangentielle. Une force normale est appliquée au support de manière à presser le pion sur le disque. Puis le disque est mis en rotation et la force tangentielle est mesurée [7].

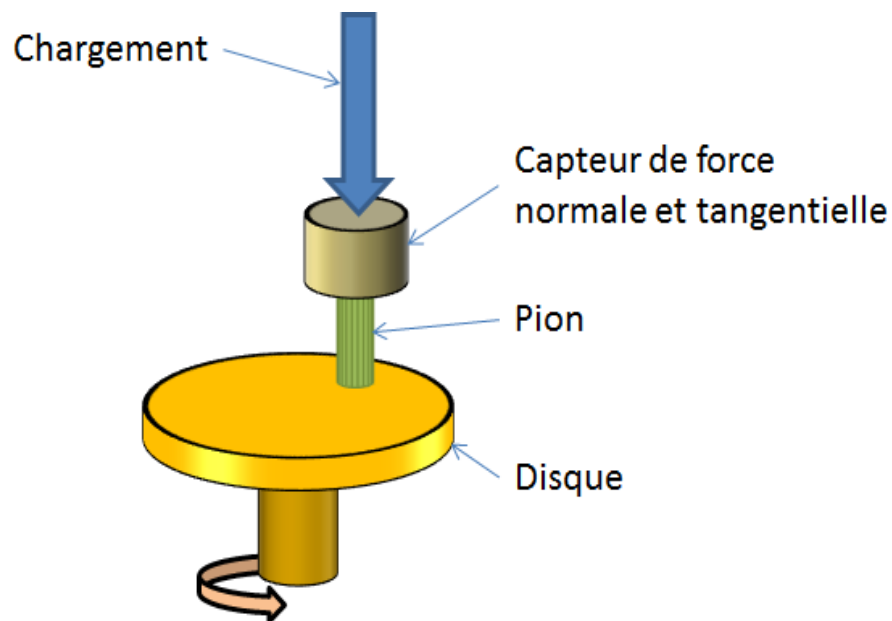


Figure 03 : Tribomètre de type pion-disque

Le tableau 04 présente des valeurs de coefficient de frottement pour les couples de matériaux usuels. Ces valeurs sont à utiliser avec précaution car elles peuvent varier sensiblement avec l'environnement, la vitesse de glissement, la charge.

Tableau (06) : Valeurs indicatives de coefficients de frottement statique et dynamique de matériaux usuels en frottement à sec

Matériaux	f_s	f_d
Acier / Acier	0.2 -	0.2 -
Aluminium / Acier	≥ 0.8	≥ 1
Aluminium / Aluminium		0.8
Cuivre / Acier	0.5	0.45
Chrome / Acier dur	0.4	0.4
Garniture de frein / Acier	0.3- 0.4	0.25 - 0.35
Graphite / Acier (dans l'air)	0.1	0.1
Laiton / Acier	0.5	0.45
PTFE / Acier	0.05 -	< 0.1
Caoutchouc / Metal	0.1 ≈ 1	$\approx 0.5 -$ 1.5

On définit le **coefficient de frottement statique** par le nombre sans dimension $\mu_s = F_{stat} / N$.

On définit le **coefficient de frottement dynamique** par le nombre sans dimension $\mu_d = F_d / N$

2.3 Définition de l'usure

Dans la science des matériaux, l'usure des surfaces désigne le phénomène de dégradation des couches superficielles d'un solide sous l'action mécanique du milieu extérieur. Cette dégradation est souvent associée aux phénomènes chimiques dus à la corrosion, elle peut prendre la forme d'une perte de masse, de cote, de forme, ou encore d'une modification de la structure. L'étude des phénomènes d'usure est un des domaines de la tribologie.

2.4 Les principaux facteurs d'usure

- la nature des matériaux en contact.
- les conditions de fonctionnement (pression, température, lubrification, ambiance corrosive, etc.).

2.5 Les types d'usure

2.5.1 L'usure par laminage

Appelé aussi fatigue superficielle, elle est produite par des sollicitations périodiques dues au laminage entre deux surfaces en contact. Ces contraintes provoquent des criques qui peuvent se produire en surface ou sous la couche de surface.

Ces criques peuvent être accentuées par hydrogène ou l'eau contenus dans les lubrifiants ou par le lubrifiant même, quand sa viscosité lui permet de pénétrer à l'intérieur des criques.

Dans le cas d'une pièce cémentée irrégulièrement, il peut se produire un phénomène d'écaillage superficiel à la suite de la formation de craque (cas des cages de roulement à billes).



Figure 04 : L'usure par laminage

2.5.2 L'usure par adhérence

L'usure par adhérence intervient entre deux surfaces métalliques en mouvement où le frottement engendré détache de microscopiques fragments de matière qui agissent comme abrasif (exemple : les paliers lisses).

La lubrification résout ce problème en empêchant l'adhérence ou/et par l'emploi, pour l'un des éléments, d'une matière plus tendre comme pour les coussinets en bronze.

Dans le cas de la fonte grise, les lamelles de graphite qui la compose assurent la lubrification.



Figure 05 : L'usure par adhérence

2.5.3 L'usure par corrosion

Une surface est dite oxydée lorsque l'on peut enlever des particules par un simple toucher ou provoquer une oxydation sur la surface frottée par simple contact physique. Un cas particulier est le phénomène de frittage corrosif : les points de contact entre deux surfaces comprimées se soudent, puis lors d'un mouvement, des particules microscopiques se détachent et deviennent abrasives par frottement et élévation de température.



Figure 06 : L'usure par corrosion

2.5.4 L'usure par abrasion

Entre deux surfaces en contact et en mouvement l'une par rapport à l'autre, des particules dures (provenant de l'une ou l'autre des surfaces ou de l'extérieur) qui s'imprègnent dans la surface la plus tendre raie celle plus dure, qu'elles soient lubrifiées ou non. Cette usure se produit par éraillure, choc ou érosion.

Pour éviter ce phénomène abrasif (grippage), les surfaces doivent subir un traitement augmentant la dureté superficielle par transformation martensitique, cémentation, nitruration, écrouissage.



Figure 07 : L'usure par abrasion

2.6 Conclusion

La tribologie s'intéresse à l'étude et à l'interprétation scientifique des faits expérimentaux, mais elle a également un but très concret dans tous les domaines qui touchent à la technologie : rechercher et codifier les méthodes qui permettent de donner un bon comportement aux contacts mécaniques, sachant que les organes qui constituent les machines lâchent aujourd'hui bien plus souvent par leurs surfaces que par leur volume. La connaissance de la tribologie est devenue une nécessité pour de multiples raisons assurer le bon fonctionnement et la fiabilité des machines, diminuer le coût d'obtention des surfaces frottant.

Chapitre 3

Méthodes de protections

3.1. Introduction

Dans ce chapitre on définit le jeu fonctionnel et l'ajustement des pièces mécanique, les différentes méthodes de protection contre l'usure et les méthodes de récupérations des pièces usées, en plus on va voir les procédés de projection thermique.

Les pompes centrifuges étant l'un des types de pompes les plus utilisés au monde, leurs paramètres de fonctionnement, ainsi que leurs vulnérabilités, sont bien connus.

Les pannes de la pompe entraînent des modifications de fonctionnement qui réduisent l'efficacité. Dans les pompes centrifuges, la cavitation provoque des dommages aux composants (érosion du matériau), des vibrations, du bruit et une perte de rendement.

3.2. Définition de jeu fonctionnel

Le jeu est l'espace laissé entre deux pièces assemblées imparfaitement. Comme il est impossible de réaliser des pièces avec une géométrie parfaite, le jeu est une nécessité dans l'assemblage des éléments d'un mécanisme. La considération industrielle du problème a produit la notion de tolérance, qui définit les classes de qualité d'assemblage et fixe les règles de l'emploi du jeu mécanique.

La maîtrise de cette différence de dimensions réelles entre une pièce contenant et une pièce contenue, par exemple, relève des talents du concepteur (pour la décision) et du fabricant.

L'assemblage de deux pièces s'emboîtant par des formes complémentaires est appelé ajustement. C'est le cas des gonds d'une porte. La coïncidence parfaite de ces formes complémentaires ne peut pas être envisagée, même dans le cas d'un travail unitaire (artisanat). Le défaut existe de toute façon, même à très petite échelle. Il existe donc une différence de dimension qu'on appelle le jeu mécanique.

Derrière cette appellation se dégage cependant une connotation industrielle, et c'est dans ce contexte que les différentes notions liées au jeu, et plus particulièrement à la tolérance, prennent leur sens entier.

Ajustement unitaire : Avec deux pièces unitaires, si on exclut le cas improbable de l'égalité des dimensions, on observe deux cas d'assemblage:

- avec jeu (positif) : la pièce contenant est, dans l'absolu, plus grande que la pièce contenue; le montage est alors possible. C'est le cas du tiroir de commode, ou plus précisément d'un piston de moteur dans sa chemise.
- avec serrage: lorsque la pièce contenant est plus petite que la pièce contenue, le montage ne peut se faire qu'après déformation locale des pièces. C'est le cas du bouchon de liège dans le goulot de bouteille, ou de la frette.

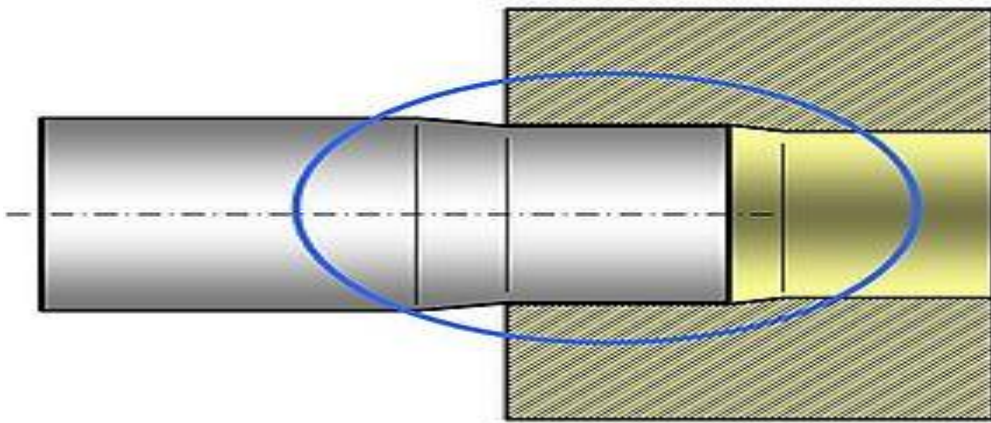


Figure01 : Cas du jeu négatif ou serrage

Ajustement de deux séries de pièces : Si on considère à présent deux séries de pièces, le problème diffère légèrement : chaque pièce admissible a une dimension réelle appartenant à un intervalle de tolérance. De ce fait le montage de deux pièces prises au hasard dans les deux séries (ou population au sens statistique) dépend de la position relative des intervalles de tolérance.

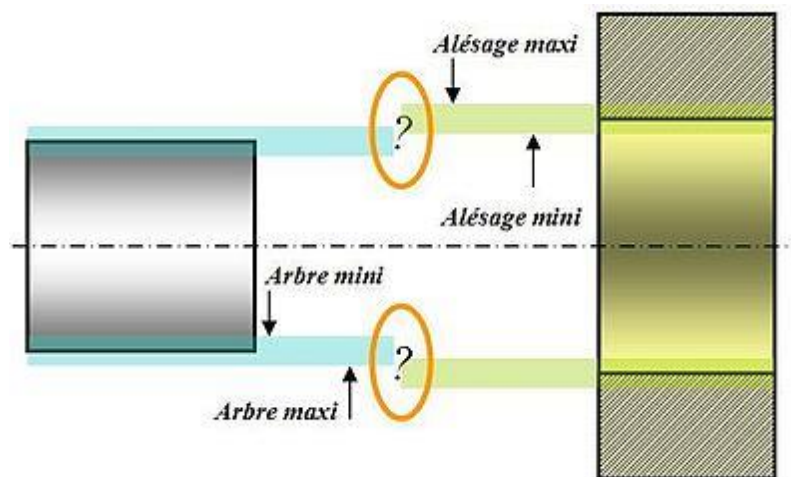


Figure02 : Comparaison des intervalles de tolérance

3.3. Le type d'ajustement

Le type d'ajustement est déterminé par les positions relatives des zones de tolérance des pièces à assembler. Si la différence entre la cote effective de l'alésage et celle de l'arbre est :

- positive ($C_{\text{eff alés}} - C_{\text{eff arb}} > 0$) est dit avec jeu ;
- au contraire si la différence est négative ($C_{\text{eff alés}} - C_{\text{eff arb}} < 0$) nous avons le serrage.

Il existe trois types d'ajustement dont le choix est déterminé par des impératifs de construction:

A- Ajustement avec jeu garanti (s'ils pénètrent librement).

B- Ajustement avec serrage garanti (s'il faut recourir à un procédé dynamique, mécanique ou thermique pour assembler les deux éléments).

C- Ajustement incertain ($C_{\text{eff arb}} > C_{\text{eff alés}}$ ou $C_{\text{eff arb}} < C_{\text{eff alés}}$).

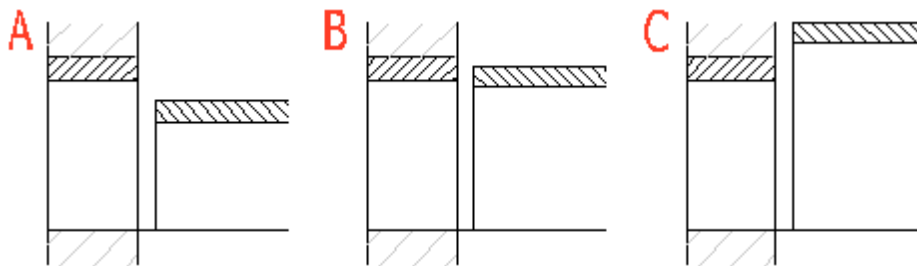


Figure 03 : les types de l'ajustement

L'intervalle de tolérance de l'arbre (i_t) est toujours positif quelque soit sa position par rapport à la cote nominale. Pour cet ajustement toute la zone de tolérance se trouve au dessus de celle de l'arbre et la cote effective de l'alésage est toujours supérieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi l'arbre pénètre librement et sans résistance dans l'alésage.

- **Jeu maxi** = $C_{\text{max}}(\text{alésage}) - C_{\text{min}}(\text{arbre}) = (C_n + ES) - (C_n + ei) = ES - ei$
- **Jeu mini** = $C_{\text{min}}(\text{alésage}) - C_{\text{max}}(\text{arbre}) = (C_n + EI) - (C_n + es) = EI - es$
- **Jeu mini** \leq **Jeu réel** \leq **Jeu maxi**

Le jeu désiré ne peut pas être assuré parfaitement exact par suite de l'imprécision de l'exécution des pièces à assembler c'est pourquoi il existe la notion de tolérance d'ajustement (TA) pour n'importe quel type d'ajustement.

3.4. Méthode du choix de l'ajustement :

Les jeux limites (ou serrages limites) étant connus, il faudrait déterminer les dimensions normalisées de l'arbre et de l'alésage qui doivent former l'ajustement demandé.

Données :

- Cote nominale (Cn)
- s'il s'agit d'un jeu garanti
- jeu maxi (Jmax)
- jeu mini (Jmin)
- s'il s'agit d'un serrage garanti
- serrage maxi (Smax)
- serrage mini (Smin)
- si l'ajustement est incertain
- jour maxi (Jmax)
- serrage maxi (Smax)

Les phases successives pour permettre la détermination d'un ajustement se résume en cinq étapes comme suit :

Etape 1 :

D'après les tableaux des tolérances, ou calcule la tolérance totale de l'ajustement TA en utilisant la formule :

- s'il s'agit d'un jeu : $TA = J_{max} - J_{min}$
- s'il s'agit d'un serrage : $TA = S_{max} - S_{min}$
- si l'ajustement est incertain : $TA = S_{max} - J_{max}$

Etape 2 :

Partager la valeur de la tolérance TA entre l'alésage et l'arbre de telle façon que la somme des intervalles de tolérance de l'arbre et de l'alésage soit inférieure ou au plus égale à TA tel que :

$$IT + it < TA$$

Généralement on adopte la valeur de tolérance de l'alésage supérieure à celle de l'arbre ($IT > it$). Si l'alésage est d'une certaine qualité X, la qualité correspondante à l'arbre devrait être de (X - 1) ou (X - 2). L'arbre doit être plus précis parce qu'il est relativement plus facile à usiner qu'un alésage.

Etape 3 :

Choisir la position de tolérance pour l'alésage d'après la valeur reçue de son intervalle de tolérance IT. Pratiquement on adopte généralement l'alésage normal H de telle façon que $ES = IT$ et $EI = 0$.

Etape 4 :

Après avoir choisi l'alésage, on détermine l'arbre correspondant en calculant ses écarts es et ei :

- sil s'agit d'un jeu :

On sait que $es = - J_{min}$

Et puisque $it = es - ei$

On calcule $e_i = e_s - i_t = -J_{\min} - i_t$

- s'il s'agit d'un serrage :

On sait que $e_s = S_{\max}$

Et puisque : $i_t = e_s - e_i$

Ou calcule $e_i = e_s - i_t = S_{\max} - i_t$

- sil s'agit d'un ajustement incertain

On sait que : $e_s = S_{\max}$

Et puisque $i_t = e_s - e_i$

On calcule $e_i = e_s - i_t = S_{\max} - i_t$

Etape 5 :

Chercher dans les tableaux l'arbre normalisé qui se rapproche le plus de l'arbre déterminé ci-dessus et vérifier bien sil satisfait les conditions

- des jeux :

$$ES - e_i \leq J_{\max}$$

$$EI - e_s \geq J_{\min}$$

- des serrages :

$$e_s - EI \leq S_{\max}$$

$$e_i - ES \geq S_{\min}$$

- du jeu et serrage (ajustement incertain) :

$$ES - e_i \leq J_{\max}$$

$$EI - e_s \geq S_{\max}$$

Si au moins l'une des deux conditions pour le type d'ajustement en question n'est pas satisfaite, on recommence la procédure en repartageant la tolérance d'ajustement totale TA entre l'alésage et l'arbre d'une autre façon. Dans d'autres proportions et l'on revivifie les conditions jusqu'à ce qu'elles soient satisfaites.

3.5. Les problèmes des pompes centrifuges

3.5.1. Définition de la cavitation

Est un phénomène qui concerne généralement les installations, notamment les machines hydrauliques comme les pompes.

La cavitation est une vaporisation instantanée du fluide, localisée essentiellement dans les zones où la pression absolue est très basse, suivie d'une rapide condensation, Les bulles qui se

forment, au moment où elles éclatent, créent des micro-jets à hautes pressions s'accompagnant d'une érosion des composants mécaniques atteints.

3.5.2. Les types de cavitation

3.5.2.1. Cavitation à bulle

Les bulles ont pour origine des germes de cavitation contenus dans le fluide. Ces germes de cavitation sont des microbulles et il n'y a pas de milieu liquide qui n'en contienne. La teneur en germes (le nombre de germes de cavitation par unité de volume fluide) caractérise la qualité de l'eau. Un exemple de la cavitation à bulles sur une hélice est présenté à la (figure 04)[14].



Figure 04 : Cavitation à bulle

3.5.2.2. Cavitation à poche

La cavitation à poche (figure 05) est moins bruyante et moins destructive que la cavitation à bulles (pas d'implosion). Un des effets néfastes de la cavitation à poche est la perte de performances du propulseur. De plus, la cavitation à poche peut être à l'origine de problèmes de vibration dont les conséquences peuvent aller jusqu'à l'endommagement de la structure.



Figure 05 : Cavitation à poche partielle

3.5.2.3. Cavitation de tourbillon marginal

La cavitation de tourbillon marginal est le type de cavitation qui apparaît généralement en premier. Le tourbillon marginal existe à cause de la portance développée sur la pale. Ce tourbillon s'explique assez facilement. Reprenons le cas d'une aile portante. Les pressions sous l'aile, soit à l'intrados (pression Side), sont généralement supérieures à la pression de référence alors qu'au-dessus de l'aile, à l'extrados (sectionSidé), elles sont inférieures à la pression ambiante. De plus, on peut voir la trajectoire des pales d'hélice en observant la cavitation de tourbillon marginal (figure 06)[14].

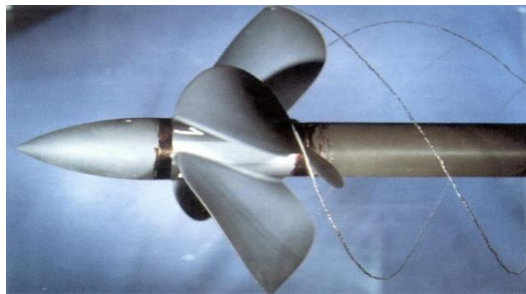


Figure 06 : la cavitation de tourbillon marginal

3.5.2.4. Cavitation de tourbillon d'ogive

Le tourbillon d'ogive (Voir figure 07) est le fruit de conjonction en rotation du tourbillon en emplanture de chaque pale. Le tourbillon d'emplanture est dû au fait que deux couches limites d'épaisseurs différentes, celle de la ligne d'arbre et celle de la pale, se côtoient avec un angle vif (90°). L'intersection des efforts de cisaillement cause l'enroulement de l'écoulement et la formation d'un tourbillon. Vient se combiner aux tourbillons des autres pales en extrémités de l'ogive qui peut alors cavités si la dépression est importante. Une des manières de limiter les risques d'apparition et de développement de ce type de cavitation est de relier les pales au moyeu par un congé de raccordement [14].

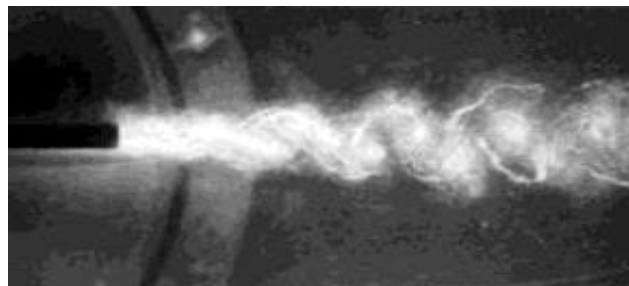


Figure 07 : La cavitation d'ogive

3.5.2.5. Cavitation du tourbillon de coque

Ce type de cavitation est moins souvent observé mais s'il se manifeste il s'avère très dérangeant. Le tourbillon de coque (voir la figure 08) prend son origine au sommet de l'hélice et va interagir avec la couche limite développée sur la voute de la coque. Le mécanisme n'a pas été étudié en détail mais on est sûr que le tourbillon ne se développe que si la couche limite de la voute est relativement proche de l'hélice. La dépression au sommet de l'hélice peut aspirer la couche limite si elle est assez proche. Le sens du tourbillon est alors probablement aléatoire mais une fois enclenché il se stabilise.



Figure 08 : la cavitation du tourbillon de coque

Autre défaut des pompes (voir le tableau suivant)

Tableau(07): Défauts; causes et remèdes de la pompe

Defaults	Causes	Remèdes
Surchauffe et grippage de la pompe	-Pompe non amorcée. -Fonctionnement à très faible débit. -Pièce rotative frottant sur une pièce fixe à l'intérieur. -Roulements usés.	-Vérifier le remplissage. Aérer et/ou amorcer. -Mesurer la valeur et vérifier le minimum autorisé. -Remplacer les roulements
Faible durée de vie des roulements	-Fonctionnement à débit élevé. -Désalignement due aux contraintes des tuyauteries. -Arbre courbé.	- Mesurer la valeur et vérifier le maximum autorisé. - Vérifier que les faux ronds d'arbre sont dans les limites acceptables
La pompe vibre et est bruyante	-Fonctionnement à très faible débit. -Pièce rotative frottant sur une pièce fixe à l'intérieur.	- Mesurer la valeur et vérifier le minimum autorisé. - Vérifier la conception du circuit.

Faible durée de vie de la garniture mécanique	-Roulements usés. -Désalignement dû aux contraintes des tuyauteries -Arbre courbé.	- Remplacer les roulements - Vérifier que les faux ronds d'arbres sont dans les limites acceptables
Fuite excessive de la garniture mécanique	-Roulements usés. -Désalignement dû aux contraintes des tuyauteries -Arbre courbé.	- Remplacer les roulements - Vérifier que les faux ronds d'arbres sont dans les limites acceptables
Désamorçage de la pompe à près de démarrage	-Hauteur d'aspiration trop importante ou niveau trop bas. -Quantité excessive d'air ou de gaz dans le liquide. -Poche d'air ou de vapeur dans la ligne d'aspiration.	- Vérifier $NPSHA > NPSHR$, submersion correcte, perte au niveau des filtres/raccords. - Vérifier et purger les tuyauteries et le circuit. - Vérifier la conception de la ligne d'aspiration pour les poches de vapeur.
Débit insuffisant	-Hauteur d'aspiration trop importante ou niveau trop bas -Vitesse trop faible.	- Vérifier $NPSHA > NPSHR$, submersion correcte, perte au niveau des filtres/raccords.
Débit nul	-Entrée de la tuyauterie d'aspiration insuffisamment submergée.	- Vérifier la conception du circuit.

3.6. Méthode de protection des pompes

3.6.1. Contrôle de pompe

La courbe caractéristique d'une pompe est l'interaction de deux variables qui en décrivent le comportement:

- HAUTEUR MANOMÉTRIQUE: l'énergie par unité de masse que la pompe parvient à fournir au fluide
- DÉBIT: la quantité de fluide qui traverse une section dans un certain laps de temps

Ci-dessous, un exemple.

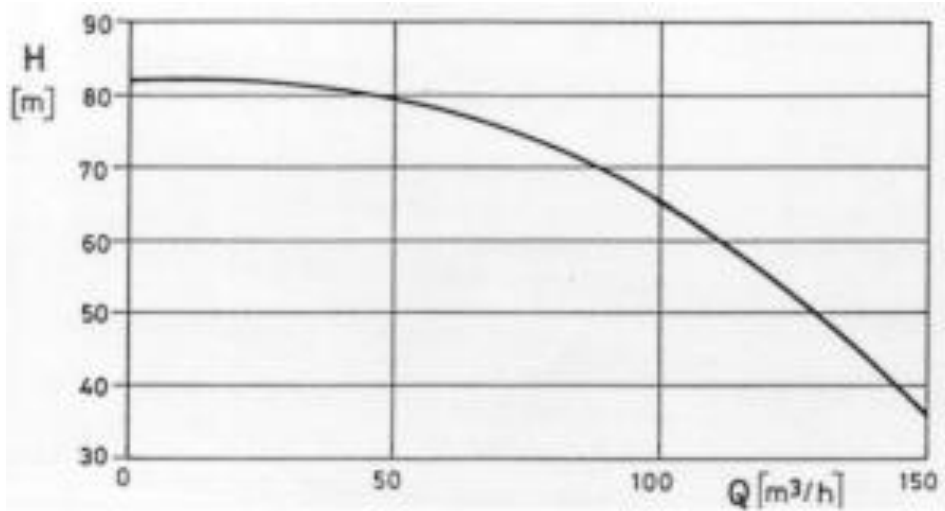


Figure 09 : La hauteur manométrique en fonction de débit

Sur l'axe des ordonnées se trouve la hauteur manométrique, sur l'axe des abscisses le débit.

Il est possible de fournir deux autres courbes, comme la courbe de rendement

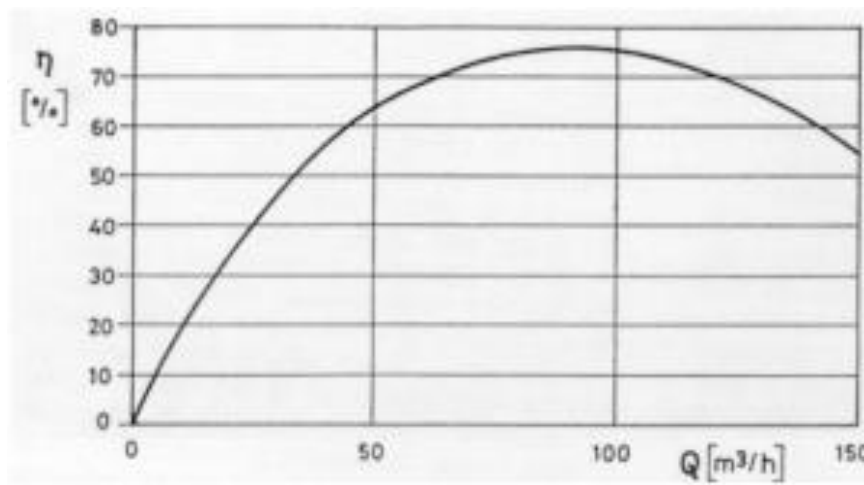


Figure10 : Le rendement en fonction de débit

sur laquelle est représenté le rapport entre puissance utile et puissance absorbée, relativement au débit volumétrique, et la courbe de puissance absorbée

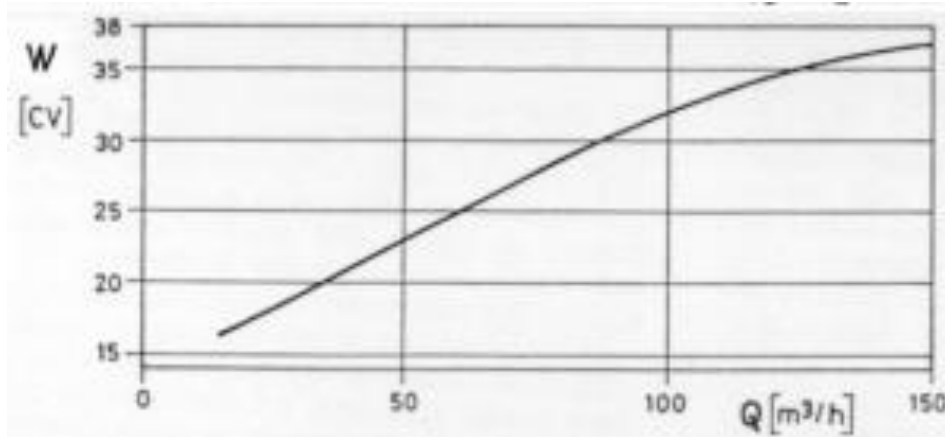


Figure 11 : La puissance en fonction de débit

À noter que la pompe centrifuge est un élément mécanique actionné par un moteur électrique, et chaque courbe caractéristique se réfère à une rotation précise du moteur, qui dépend, dans le cas des moteurs asynchrones, de la fréquence d'alimentation et du nombre de pôles du moteur lui-même (par ex. 50 hertz, moteur 2 pôles: 2900 t/min).

Sur certains modèles de pompes centrifuges, il est par ailleurs possible de trouver des indications sur le NPSH, à savoir la hauteur d'aspiration maximale admissible avant tout phénomène de cavitation, destructifs pour les parties mécaniques de la pompe.

3.7. La maintenance

est un ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Maintenir un bien est considéré comme étant une action à long terme contrairement à l'action rétablir, considérée à court terme [17].

3.7.1. Généralités sur la maintenance

Le concept maintenance, considéré encore comme une fatalité éprouvée par les gestionnaires, est une approche ou plus une adéquation d'un ensemble d'activités visant à maintenir à un degré convenable les moyens de production à un prix optimum pour satisfaire la disponibilité et la sécurité des équipements.

La maintenance s'impose impérativement dans la fonction de la gestion de la production même et exige des décisions pour que ses objectifs, préalablement définis, soient atteints.

La maintenance est l'ensemble des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, ...) qui permettent de conserver le potentiel du matériel donc en état de stabilité pour assurer la continuité du matériel et la qualité de la production dans les conditions de sécurité. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimum.

La tendance scientifique que les technologues sont contraints de pratiquer pour maintenir à un degré appréciable et avancé la disponibilité quasi permanente des équipements industriels de production à des prix toniques s'oriente vers le défi zéro panne et zéro stock de pièces de rechange.

3.7.2. Types de maintenance

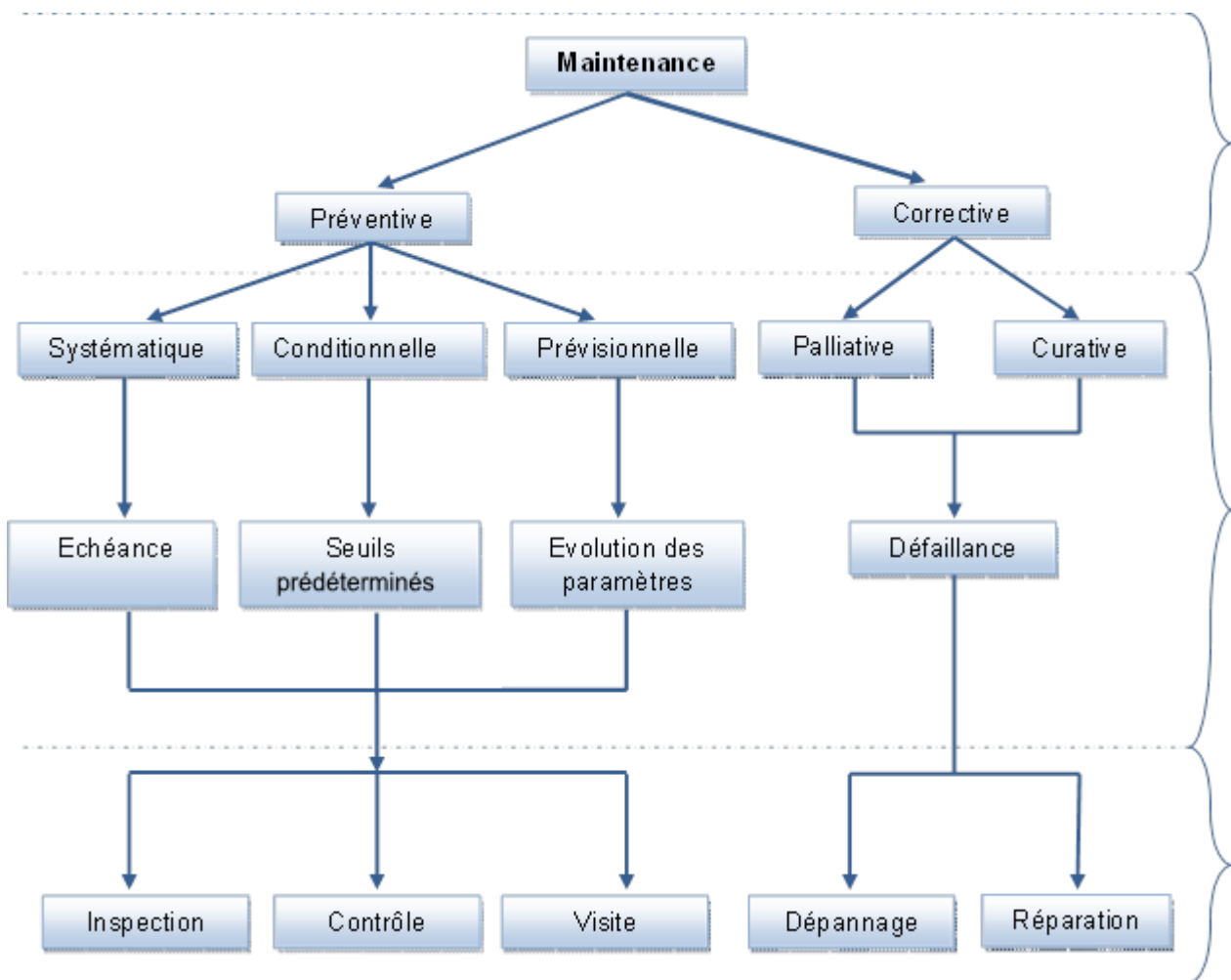


Figure 12: Types de la maintenance

3.7.3. Maintenance corrective

- Aucun suivi de matériel n'est mis en place

- Symptômes d'un grippage inadmissible : échauffement, chute de performances, vibration excessives, etc.
- Intervention corrective : échange, reprise de surface, recharge de matière, traitement de surface, etc

3.7.4. Maintenance préventive systématique

- Des visites périodiques permettent de déterminer la loi d'usure et le seuil d'admissibilité
- On fixe la date d'intervention périodique correspondant au seuil
- On réalise l'intervention préventive au seuil d'admissibilité.

3.7.5. Maintenance préventive conditionnelle

- Des visites périodiques permettent de déterminer la loi d'usure et le seuil d'admissibilité
- Il existe un paramètre mesurable par un capteur significatif de l'usure
- Une alarme déclenche l'intervention lorsque le seuil est atteint par le paramètre suivi.

3.8. Programme de maintenance

➤ Inspections d'entretien

Un programme d'entretien comprend ces types d'inspections :

- Entretien courant
- Inspections de routine
- Inspections au trois mois
- Inspections annuelles
- **Entretien courant**
 - Lubrifier les roulements.
 - Contrôler la mécanique.
- **Inspections de routine**
 - Vérifier le niveau et l'état de l'huile par le voyant d'huile du corps de palier.
 - Être à l'affût des bruits inhabituels, des vibrations et vérifier la température des roulements.
 - Vérifier s'il y a des fuites dans la pompe ou la tuyauterie.

- Analyser les vibrations.
- Vérifier la pression de décharge.
- Vérifier la température..

➤ **Inspections au trois mois**

- La vérification des boulons de fondation et de maintien sont serrés.
- La vérification de la garniture mécanique de la pompe est intacte. La remplacer au besoin
- Changement de l'huile au minimum tous les trois mois (2000 heures de fonctionnement).
- Vérifier l'alignement de l'arbre et le réaligner au besoin.

➤ **Inspections annuelles**

- Vérifier la capacité de la pompe.
- Vérifier la pression de la pompe.
- Vérifier la puissance de la pompe.

Si les performances de la pompe ne répondent pas aux exigences d'utilisation, sans que celles-ci aient changé, exécuter ces étapes :

- Démontez la pompe.
 - La vérifier.
 - Remplacer les pièces usées.
- **Vérification Avec l'œil**

● 1. CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES	● Vérifier les caractéristiques : tension - intensité - puissance.	● Comparez avec les données du constructeur (Voir plaques signalétiques).
● 2. LUBRIFICATION GRAISSAGE	● Vérifier les paliers de guidage de la pompe et du moteur.	● Lubrification ● A l'huile ● A la graisse Vérifier le débordement hors du palier.
● 3. ETANCHEITE	● Vérifier le suintement du presse-étoupe. ● Vérifier l'état des garnitures l'état des joints.	
● 4. ACCOUPLEMENT	● Vérifier la présence du cache protecteur : risques d'accidents graves en cas d'absence.	● Pour vérifier la présence d'un jeu, d'une usure anormale, d'un désalignement, enlever périodiquement, puis remettre le cache.
● 5. CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES	● Vérifier le débit, la pression d'aspiration, la pression de refoulement.	● Cela suppose que votre installation soit équipée d'appareils de contrôle. ● Comparez avec les données constructeurs.
● 6. NIVEAU FUITES	● Vérification de la crépine : Vérification de : ● l'absence d'entrée d'air à l'aspiration ; ● l'absence de fuites au refoulement.	
● 7. ALARME	● VOYANT ROUGE	ARRÊT IMMEDIAT DE L'INSTALLATION

Figure 13 : Inspection Avec l'œil

➤ Avec l'oreille et la main

LIEU	PHENOMENE			CAUSES POSSIBLES / REMEDES
TUYAUTERIE D'ASPIRATION	Vibrations, chocs	●	●	Niveau d'eau par rapport à la crépine. Crépine encrassée. Entrées d'air à l'aspiration. Scellements et liaisons: A + B.
POMPE 	Vibrations, chocs Elévation de température	●	●	Cavitation. Vérifier les conditions d'aspiration les scellements l'état des roulements Vérifier la presse-étoupe Vérifier roulements (lubrification-graissage)
MOTEUR 	Vibrations, chocs Température élevée	●	●	Scellements Lubrification, graissage. Etat des roulements Réglage et état de l'accouplement C
TUYAUTERIE DE REFOULEMENT	Vibrations, chocs		●	Scellements et liaisons: A + B Organes pou fluides. Clapet, anti-bélier. Débit pulsé. Cavitation (voir page 32).
ALARMES SONORES	TOUT DECLENCHEMENT D'UNE ALARME SONORE = ARRÊT IMMEDIAT			

Tableau 14 : Inspection Avec l'oreille et la main

3.9. La maintenance sur la pompe centrifuge

3.9.1. Maintenance de corps de pompe

Trois types de maintenance peuvent être envisagés pour ce type de machine :

- Maintenance prédictive.
- Maintenance préventive.
- Maintenance curative.

3.9.1.1. Maintenance prédictive

Elle consiste à analyser l'évolution des phénomènes physiques générés par la pompe et ses auxiliaires :

- Pression.
- Température.
- Temps de manœuvre.
- Vibrations.
- Bruits.

On vérifie, à intervalles réguliers, les tendances des valeurs données par les différents capteurs et détecteurs installés sur les machines.

Un changement significatif d'une ou plusieurs valeurs peut signifier une lente et progressive dégradation des organes concernés.

Dans ce cas, une opération de maintenance préventive doit être planifiée pour : démonter les éléments en question, les inspecter et le cas échéant, procéder à leur remplacement

La maintenance prédictive s'effectue lorsque la machine est en fonctionnement [17].

3.9.1.2. La maintenance préventive

Des opérations de maintenance préventive doivent être réalisées à intervalles réguliers. Certaines de ces opérations sont simplement visuelles :

- Vérification de l'absence de fuites.
 - ✓ Sur toutes les canalisations (huile et eau).
 - ✓ Aux joints des trous d'hommes;
 - ✓ Aux appareils, instruments, et capteurs de mesures.

- ✓ Vérification de la fixation des appareils, instruments, et capteur de mesures.
- ✓ Contrôle de la température des moteurs.
- ✓ Vérification de l'affichage des instruments de mesure.

La maintenance préventive s'effectue, lorsque la machine est en fonctionnement.

- D'autres opérations de maintenance préventive requièrent une vérification plus approfondie, voire, des certains cas, une analyse par un laboratoire spécialisé:
 - ✓ Contrôle de la propreté de l'huile du bac.
 - ✓ Vérification du couple de serrage des éléments les plus sollicités.
 - ✓ Nettoyage des filtres.
 - ✓ Graissage des paliers et autres éléments dotés de points de la lubrification.

Pour des raisons de sécurité, ces opérations de maintenance préventive s'effectue machine à l'arrêt et consignée [17].

3.9.1.3. La maintenance curative

- Il s'agit des opérations effectuées sur le groupe lorsque survient un défaut au une alarme.
- Il peut s'agir d'une simple vérification, niveau, vibrations, bruit, etc ... qui ne provoque pas un arrêt ou une manque de disponibilité de la machine.
- Mais il peut s'agir également d'une panne qui nécessite une réparation:
 - ✓ Rupture d'un joint d'étanchéité;
 - ✓ Panne d'un instrument de mesure;
 - ✓ D'une sonde de température;
 - ✓ Détérioration d'un élément mécanique;

La maintenance curative coute cher, car elle provoque une perte de production [17].

3.10. Méthodes de récupérations des pièces usées

3.10.1. Projection thermique

3.10.1.1. Historique

La projection thermique occupe une place considérable dans le monde des traitements de surface. Son apparition date de 1909 grâce à l'invention de l'ingénieur suisse Schoop, portant sur la projection de plomb fondu à l'aide d'un vaporisateur, puis de plomb en poudre à travers une

flamme. Les premières applications industrielles sont apparues en 1914 dans le domaine militaire (projection d'étain sur la face arrière d'obus), dans celui de l'anticorrosion (dépôts d'Aluminium), ou encore en décoration (dépôts de bronze). Dès 1914 également des essais de projection par arc électrique furent réalisés [8].

Les techniques de projection thermique se développent suivant trois axes :

- L'augmentation de l'énergie cinétique des particules;
- L'amélioration de la productivité de projection;
- Le meilleur contrôle d'atmosphère de projection;

3.10.2. Principe de la projection thermique

La projection thermique regroupe l'ensemble des procédés grâce auxquels un matériau d'apport est fondu ou porté à l'état plastique à l'aide d'une source de chaleur, puis est projeté sur la surface à revêtir sur laquelle il se solidifie[13].

La matière à déposer sous forme de poudre, de fil, de cordon ou de baguette est fondue totalement ou partiellement dans une source de chaleur (flamme, arc électrique, plasma) .

Un gaz vecteur permet une pulvérisation de la matière, et le transport des gouttelettes ainsi formées jusqu'à la surface à revêtir (figure 14).

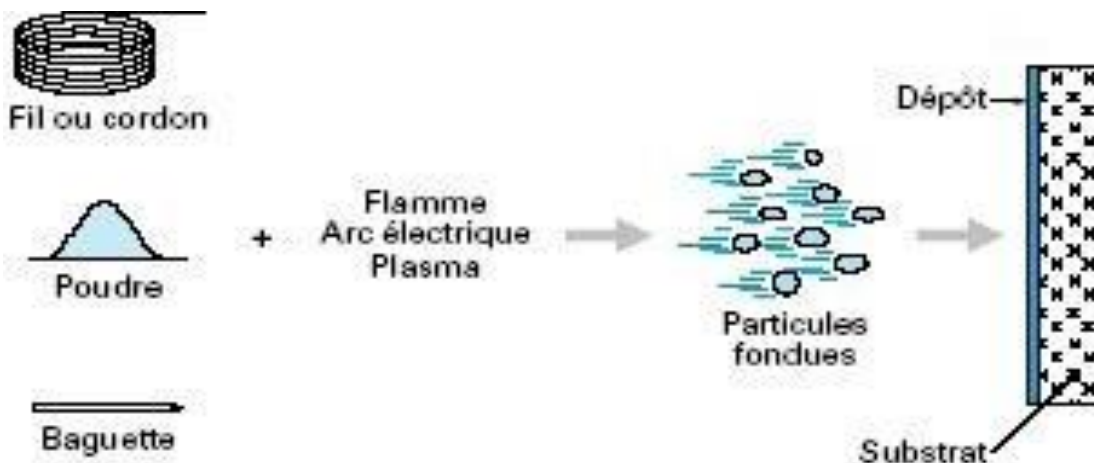


Figure 15 : Principe fondamental de la projection thermique

3.10.3. Procédés de la projection thermique

3.10.3.1. La projection à la flamme

Dans ce type de projection thermique (figure16), une réaction chimique est utilisée comme source d'énergie. Les matériaux à projeter sont introduits soit sous forme de poudre soit sous forme de fil, de tige ou de cordon (pour les céramiques dans ces deux derniers cas). Dans le premier cas, la température de fusion ne peut dépasser 0,7 à 0,8 fois la température de la flamme alors que dans le second, il est possible de fondre des matériaux dont le point de fusion est de 0,95 fois la température de flamme. Les matériaux déposés par cette technique sont usuellement des métaux, des alliages, des cermets ou des céramiques à basse température de fusion [9].

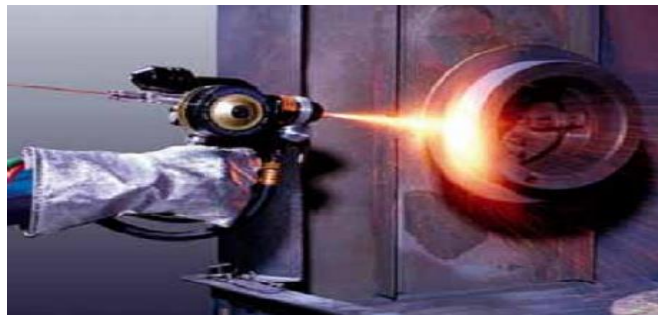


Figure 16 : Projection à la flamme

3.10.3.2. Projection à flamme-poudre

La projection flamme poudre est certainement le procédé le plus simple de tous les procédés de projection thermique. Il consiste à introduire une poudre à travers l'orifice central d'une buse-brûleur, la poudre fond et est entraînée par les gaz oxygène-carburant (généralement oxygène-acétylène ou oxygène-hydrogène) sur la pièce à revêtir. Ce système de projection est peu énergétique. Les revêtements réalisés par ce procédé contiennent un taux d'oxydes élevé ainsi qu'une forte porosité pouvant approcher 20%. La qualité des revêtements dépend aussi de la qualité des poudres. Le principe de fonctionnement d'un tel pistolet est illustré sur la figure 16 suivante.

L'utilisation de débit-litres pour contrôler les débits de gaz est un facteur important [11].

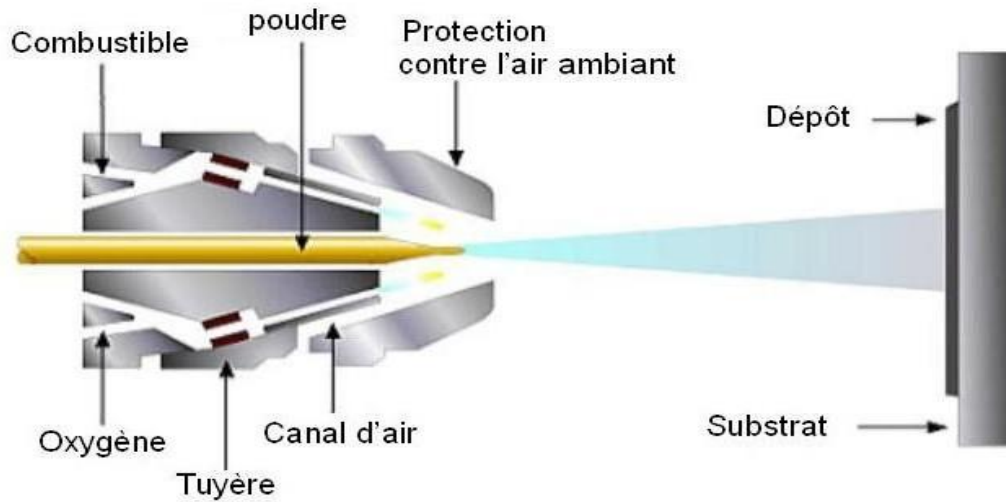


Figure 17 : Schéma du procédé de projection par flamme

3.10.3.3. Projection à flamme-fil

Dans ce procédé, le matériau d'apport est sous forme de fil, de baguette ou de cordon. Il utilise les mêmes gaz que ceux utilisés en projection flamme-poudre (oxygène gaz combustible) auxquels s'ajoutent de l'air comprimé servant à l'atomisation de l'extrémité fondue des fils [12].

Les épaisseurs déposées peuvent aller de quelques dixièmes de millimètre à quelques millimètres (figure18).

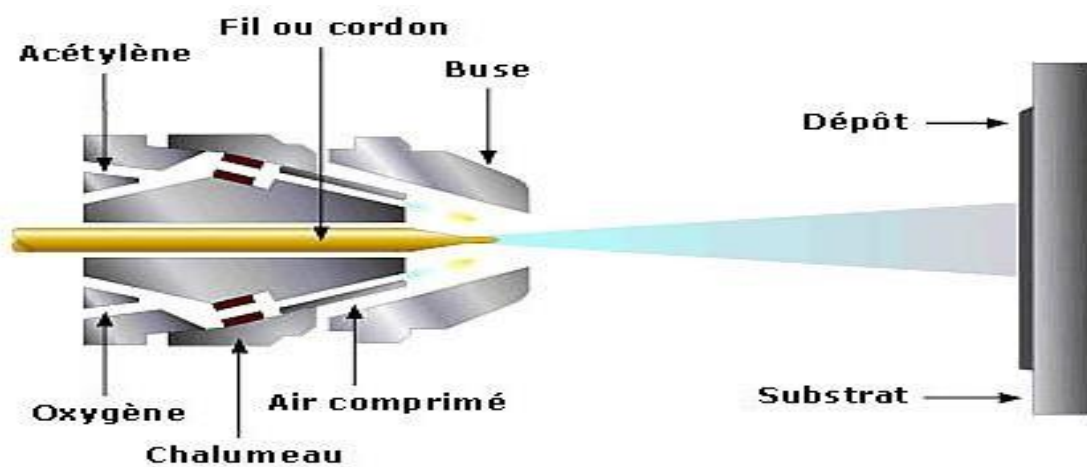


Figure 18 : Principe de la projection à flamme par fil

3.10.4. Comparaison des procédés

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques particulières à chaque procédé de projection, sachant que le choix doit se faire en tenant compte du résultat à obtenir et des paramètres énoncés [13].

Tableau(08) : Les caractéristiques particulières des procédés de projection thermique

Caractéristiques	Flamme Poudre	Flamme fil-Cordon	Arc électrique	Plasma ASP*	HVOF	Canon à détonation
Source de chaleur	Flamme	Flamme	Arc électrique	Plasma	Flamme	Flamme
Température de la source chaude (°C)	3000	3000	6000	12000	3000	3000
Vitesse d'écoulement (m/s)	80 – 100	100 – 300	200 – 300	300 – 1200	400 – 2000	900 – 2000
Transport des Particules	Gaz Flamme	Air Comprimé	Air comprimé	Gaz Flamme	Gaz flamme	Gaz Flamme
Vitesse des particules (m/s)	40	150	150	200	700	950
Forme du produit d'apport	Poudre	Fil-cordon	Fil	Poudre	Poudre	Poudre
Taux horaire de dépôt (kg/h)	1 à 3	1 à 20	5 à 30	1 à 4	3 à 5	3 à 5
Taux d'oxyde (%)	6 – 12	4 – 8	1 – 10	1 – 5	0,5 – 2	0,1 – 0,5
Rendement moyen* (%)	50	70	80	70	70	70
Force d'adhérence (MPa)	20 à 40	20 à 40	40	30 à 70	50 à 80	50 à 80
Taux de porosité (%)	10 à 20	10 à 20	8 à 15	1 à 10	0,5 à 2	0,5 à 2

Épaisseur déposée (mm)	0,1 à 1,5	0,1 à 1,5	0,2 à 3	0,05 à 1,5	0,05 à 1	0,05 à 1
Exemples de matériaux d'apport	Métaux Cermets Céramiques	Métaux Cermets Céramiques	Métaux Fils fourrés	Métaux Alliages Céramiques	Métaux Alliages Cermets	Cermets Céramiques
ASP = Air Plasma Spraying, (projection dans l'air ambiant).						
* Rendement moyen = Pourcentage du matériau d'apport projeté qui adhère au substrat.						

3.11. Les coussinets

Les coussinets peuvent être d'une seule pièce ou en deux parties pour faciliter le montage. La matière employée est fonction de l'usage et du prix de revient.

Économiques, souvent utilisés, les coussinets sont des bagues cylindriques, de forme tubulaire, avec ou sans collerette, interposés entre un arbre et son logement pour faciliter le mouvement de rotation, construits à partir de matériaux présentant de bonnes qualités (bronze, étain, plomb, graphite, Téflon, PTFE, polyamide), ils peuvent, suivant les variantes, être utilisés à sec ou avec lubrification.



Figure 19 : un coussinet

3.11.1. La structure de coussinet

1. **Mélange à base de PTFE de 0,01 à 0,03 mm** : Offre un excellent film de transfert initial qui recouvre de manière efficace la surface de contact du palier en formant un vernis de glissement de type oxyde.
2. **Poudre de bronze fritte de 0,2 à 0,35 mm** : Offre une conductivité thermique maximale en-dehors de la surface de contact et sert également de réservoir pour le mélange à base de PTFE.

3. **Acier doux** : Offre une capacité de charge exceptionnelle.
4. **Cuivrage et étamage de 0,002 mm** : Offre une bonne résistance à la corrosion.

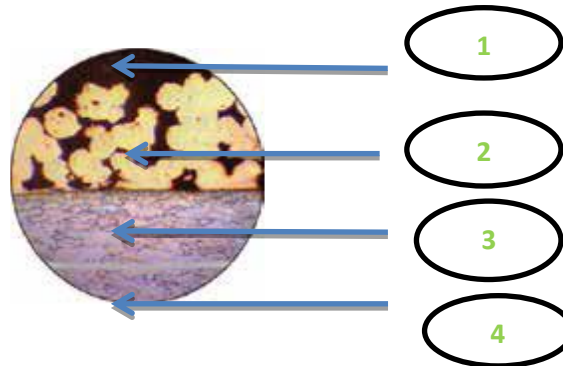


Figure 20 : Structure de coussinet

Il existe de nombreuses familles aux dimensions normalisées et de nombreux produits dérivés : rondelles, rotules, bandes de frottement, pièces sur mesure.

Métallique : fonte douce (ou fonte grise) ou bronze phosphoreux, pour les faibles charges et vitesse réduite.

Métallique antifriction : Bronze ou fonte avec revêtement antifriction ; Régule, alliage de plomb, étain et/ou Antimoine, utilisé surtout dans la grande série comme l'automobile (montage bielle-manivelle ou paliers d'arbre à cames), excellent rapport qualité-prix.

Matière frittée : avec des poudres métalliques imprégnées de lubrifiant ou des céramiques. Permet d'obtenir des formes complexes et d'épaisseur réduite.

Matière plastique : elle présente, par rapport au bronze, un faible coefficient de frottement, une meilleure résistance à l'usure, l'absence de grippage et une simplification de la lubrification qui peut même être réalisée avec de l'eau. Ces coussinets ont leur utilisation aussi bien dans les très petites mécaniques que dans les grosses applications telles que les paliers de laminoir ou les paliers d'arbre porte hélice qui travaillent dans l'eau.

Bois compressé : généralement pour des coussinets auto-graissés par injection d'huile dans la matière.

À film d'huile : pour les paliers de grands diamètres d'arbre où on veut réduire la température due au frottement, en lubrifiant avec un film d'huile total obtenu par la vitesse de rotation et des coussinets

spécifiques (paliers Mitchell). Ils permettent des charges très élevées et une plus grande vitesse de rotation tout en réduisant les pertes d'énergie dues au frottement.

Le coussinet est pourvu de petites gorges où la vitesse de rotation vient « coincer » l'huile entre celui-ci et l'arbre, qui est automatiquement centré sur le palier.

3.12. Rechargement à l'arc avec électrode enrobée

Le rechargement consiste à déposer, par fusion, une ou plusieurs couches de métal d'apport, sur des pièces afin de reconstituer leurs parties usées ou rompues.

Il est aussi utilisé pour former une couche protectrice à la surface des pièces contre la corrosion et l'usure, plusieurs métaux d'apport sont utilisés pour le rechargement, tels que l'acier doux, l'acier allié, l'acier inoxydable, etc.

Dans ce module, on se limitera au rechargement en position à plat de l'acier doux à l'aide des électrodes en acier doux.



Figure 21 : Procède de soudage à l'électrode enrobée

3.12.1. Principe du procédé

Le métal d'apport est transféré par un arc électrique jaillissant entre l'âme de l'électrode enrobée et la pièce.

La chaleur générée par l'arc électrique provoque la fonte simultanée du métal de base (pièce à souder), de l'âme métallique et de l'enrobage de l'électrode, créant ainsi le bain de fusion recueillant des gouttes du métal d'apport et de laitier fondus et transférées dans le plasma de l'arc.

Une partie des composants de l'électrode est volatilisée, contribuant à créer l'atmosphère dans laquelle l'arc jaillit. L'enrobage fondu de faible densité recouvre le bain de fusion constituant le laitier, lequel protège le métal déposé pendant et après la solidification.

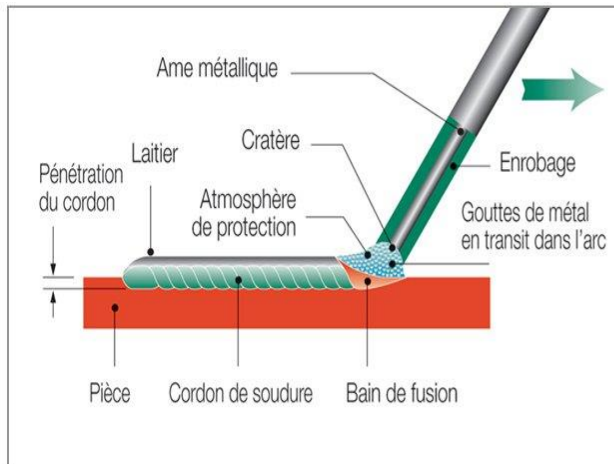


Figure 22 : Schéma de procédure de soudage à l'arc enrobée

3.13. Conclusion

Les pompes centrifuges sont des turbo machines qui nécessitent beaucoup de maintenance et de réparation, la cavitation et leurs problèmes qui causent beaucoup de dégâts au niveau des allaites, tels que ; l'érosion, arrachement métallique.

Pour éviter la cavitation il faut :

- ✓ Réduire l'aspiration de la pompe et augmenter la pression d'aspiration.
- ✓ Réduire la perte de charge dans la tuyauterie d'aspiration.
- ✓ Réduire le débit de la pompe.
- ✓ Augmenter la hauteur d'aspiration.
- ✓ La bonne fixation de pompe.
- ✓ Graissage des roulements.



Conclusion générale

Conclusion générale

Dans notre travail nous avons essayé de comprendre la structure et le principe de fonctionnement d'une pompe. Dans sa considération étant que machine génératrice d'énergie hydraulique de ce point de vue, elle diffère d'une turbine, elle étant une machine réceptrice.

On a fait une recherche générale sur la cavitation été présentée afin de définir de façon détaillée l'effet de ce phénomène sur les différentes performances des pompes.

La cavitation étant un problème interne à la pompe qu'il faut éviter, vu les risques qu'elle produise à savoir, l'érosion de la matière de la roue, chute du rendement et détérioration de la pompe.

On a parlé de différentes méthodes de récupérations des pièces usées comme la projection thermique, les coussinets et le soudage avec un l'arc enrobée.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] LENCASTRE, Armando. Hydraulique générale. Paris : Eyrolles, 1999.P : 28.
- [2]REY, Robert. POULAIN, Jean. Pompes roto dynamiques. Paris : Techniques de l'Ingénieur, 1996.P :58.
- [3] A gueule bée : se dit des écoulements dans les conduites qui se font librement et sans obstacle (vanne, robinet, etc.)
- [4] Documentation Sonatrach HassiR'mell .
- [5] Office International de l'Eau, (2006), Cahier technique n°1 : Les pompes centrifuges, entretien et maintenance.
- [6] Office International de l'Eau, (2012), Hydraulique des réseaux d'eau et des pompes centrifuges.
- [7] Introduction à la TRIBOLOGIE Noël Brunetière Institut Pprime – Futuroscope 2016
- [8] A. PRONER, <<Revêtement par projection thermique>>, Technique de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques, M1645.
- [9] M. Fadhel BEN ETTOUIL [Modélisation rapide du traitement de poudres en projection par plasma d'arc]. Université de Limoges, thèse de doctorat 2008.
- [10] <http://tss.asminternational.org/pertal/site/TS>.
- [11] S. NOUROUZI, <<Contribution à l'étude du procédé arc-fil pour la réalisation des dépôts métalliques durs résistants à l'usure abrasive>>, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'université de LIMOGES, Thèse N° 49, Année 2004.
- [12] G. ENGLAND, <<Nature of thermal spray coatings>>, Journée Scientifique, ONERA, 2003.
- [13] MAICHI MAAMAR [fabrication d'outils de coupe par projection thermique et la boruration] Université Saad Dahleb Blida, Mémoire de Master 2012.
- [14] thèse doctorant développement d'un modèle de cavitation à poche sur hydrofoils et hélice en régime transitoires. Implémentation sur codes

Bibliographie

potentiels et validation expérimentale.

- [15] Etude et Maintenance des pompes centrifuges industrielles. Université de Annaba MOUMENE SALAH EDDINE 2019.
- [16] Rasovska, Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme de maintenance, Thèse de Doctorat, L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, (2006).
- [17] BENI HAROUN -formation maintenance mécanique (ALSTOM)