

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau

Mémoire de master en Hydraulique

Thème :

Le phénomène de la cavitation au niveau des stations de pompage

Réalisé par :

M^{lle} Drif Imane

Dirigé par :

Mr S. Benziada

Composition de jury :

Président :

Mr A. KETTAB

Professeur à l'ENP

Promoteur :

Mr S. BENZIADA

M.A.A à l'ENP

Examineur

Mr R. MESSAHLI

M.A.A à l'ENP

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau

Mémoire de master en Hydraulique

Thème :

Le phénomène de la cavitation au niveau des stations de pompage

Réalisé par :

M^{lle} Drif Imane

Dirigé par :

Mr S. Benziada

Composition de jury :

Président :

Mr A. KETTAB

Professeur à l'ENP

Promoteur :

Mr S. BENZIADA

M.A.A à l'ENP

Examineur

Mr R. MESSAHLI

M.A.A à l'ENP

ENP 2017

Remerciements

Nous remercions, avant tout, Dieu le tout puissant de nous avoir donné patience, santé et volonté tout au long de nos études.

Nous remercions particulièrement nos parents pour nous avoir réuni des bonnes conditions afin d'effectuer et terminer nos études sereinement.

Nous tenons à remercier chaleureusement et vivement mon encadreur Mr BENZIADA S pour ses orientations fructueuses, et sa franchise au cours de ce travail.

Nos remerciements vont aussi aux messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail .

Nous remercions aussi l'ensemble de nos enseignants qui ont fait de nous ce que nous sommes. Très fière de vous

Nous remercions, avant tout, Dieu le tout puissant de nous avoir donné patience, santé et volonté tout au long de nos études.

Nous remercions particulièrement nos parents pour nous avoir réuni des bonnes conditions afin d'effectuer et terminer nos études sereinement.

Nous tenons à remercier chaleureusement et vivement mon encadreur Mr BENZIADA S pour ses orientations fructueuses, et sa franchise au cours de ce travail.

Nos remerciements vont aussi aux messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail .

Nous remercions aussi l'ensemble de nos enseignants qui ont fait de nous ce que nous sommes. Très fière de vous

Dédicaces

Je dédie ce travail

Á la personne que j'aime le plus au monde, à ma mère qui a tout sacrifié pour sa famille, qui a été la source de mon bonheur et ma réussite à toi ma vie « **MOUATAKID HOUARIA** »

Á mon père, la personne que j'admire le plus au monde, qui été pour moi un guide, un ami à toi mon papa « **HAMOUD**».

Á mes chers parents que j'aime, que dieu me les garde.

Á mes deux chères sœurs HADJER et FATIMA ZAHRAA, que j'aime beaucoup et à qui je souhaite tout le bonheur et la réussite.

Á mon adorable frère MUSTAPHA AHMED que je souhaite une vie pleine de bonheur, de réussite et de succès.

Á la mémoire de ma grande mère « AKROUF ZHIRA » qui m'a tellement aidé à voir claire dans ce monde.

Á ma grande mère Houria que j'aime beaucoup.

Á toute la famille **DRIF** (Oncles, tantes, cousins et cousines) pour leurs encouragements.

Á toute la famille MOUATAKID que j'aime beaucoup (Oncle, tantes et plus précisément **MOUATAKID MERIEM** et **AZIZA** pour leurs encouragements dans mes études et ma vie privé; mes cousins et cousines que j'aime beaucoup) qui m'ont bien entouré.

Á mes amies intimes et mes meilleures amies :AnaneHanaa ; Yakoubi Imane ; Rahiche Siham ; ChéraitiaSouhila, Arrour Hafida ; SarriSoumia ; qui mon ouvert les portes de leurs cœurs avant leurs maisons

A toutes les personnes que je connaisse et que je n'ai pas citées,

A tous ceux que j'aime

DRIF IMANE

الهدف من هذه المذكرة هو تعريف ظاهرة التجويف في محطات الضخ ووصف نظام الحماية ضده وبالتحديد نظام التحليل الاهتزازي الذي يسمح بمحاكاة الضغوط المختلفة على مستوى هذه المحطات, وكذلك تحديد نظام التغذية لصناديق التخزين و ذلك من أجل الاستجابة لبرنامج محدد لتنقل ناقلات النفط التي تختص بنقل البترول الخام

الكلمات المفتاحية: التجويف، التحليل الاهتزازي

Abstract

The aim purpose of this memory is to define the phenomenon of cavitation at the pumping stations and to describe the system of protection against cavitation which is the vibratory analysis. And simulate different pressures on the level of these stations, as well as the identification of the feeding system of the storage tanks in order to respond to a specific program for the mobility of oil tankers,

Keywords:Capitation;vibratory analysis.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est de présenter le phénomène de cavitation à l'entrée de la pompe en citant ces différents types et dégâts qu'elle pourra engendrer à l'entrée de celle-ci; et Pour les éviter, il faut surveiller en permanence ces équipements et tous les signes qui précèdent les défauts avant qu'il ne soit trop tard par les techniques de protection contre la cavitation tell que l'analyse vibratoire

Mots clés : Cavitation, analyse vibratoire.

Table des matières

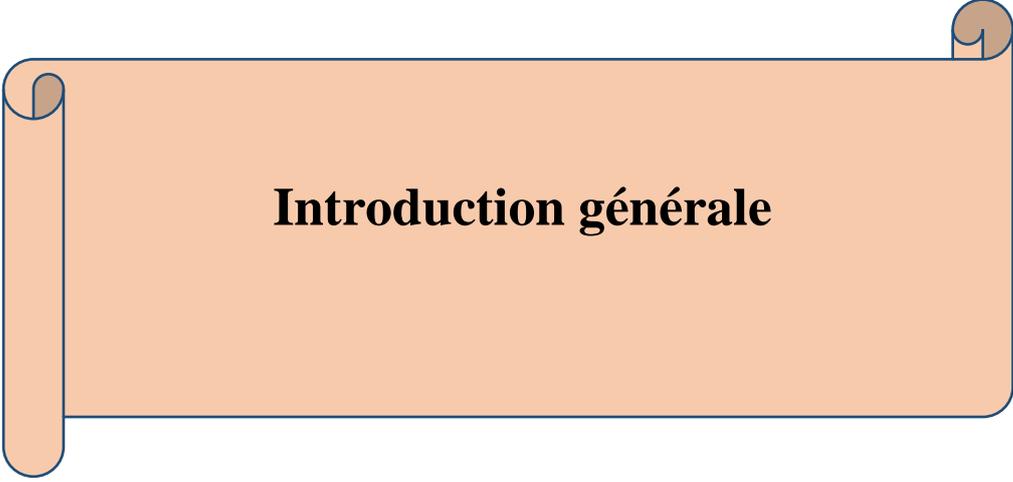
Liste des figures

Introduction générale	9
Chapitre I : station de pompage.....	10
I.1- Introduction	11
I.2-Rôle d'une pompe	11
I.3-Courbes caractéristiques des pompes	12
I.3.1-La courbe caractéristique hauteur-débit $H=f(Q)$	12
I.3.2-La courbe caractéristique rendement $\eta=f(Q)$	12
I.3.3-La courbe caractéristique de puissance $P=f(Q)$	13
I.4-Hauteur manométrique totale HMT	13
I.5-Les différents types de pompes	13
I.5.1 Pompes volumétriques	13
I.5.1.1-Le principe de fonctionnement des pompes volumétriques	13
I.5.2 Turbopompes	14
I.5.2.1- Les pompes centrifuges	14
I.5.2.2-Avantages et inconvénients des turbopompes	15
I.6-Les modes de couplage des pompes	16
I.6 .1-Couplage en série	16
I.6 .2-Couplage en parallèle	17
I.7 Mode de fonctionnement de la pompe	18
I.7.1 Charge nette absolue (NPSH disponible)	18
I.7.2-La puissance absorbé	18
I.7.3-La vitesse de rotation	19
I.7.4 Le point de fonctionnement	19
I.8-Conclusion	20
Chapitre II: Phénomène de cavitation	21
II.1. Définition	23
II.2. Étude du Phénomène dans le cas de l'eau	23
II.3. Types de cavitation	26
II.3.1 : La cavitation par bulles isolées	27
II.3.2. la cavitation par poches (ou par cavités)	28
II.3.3. La cavitation de tourbillons	28
II.3.4. La super cavitation	29

II.4. Conséquences de la cavitation	29
II.4.1. Érosion de cavitation	29
II.4.2. Bruit de cavitation	30
II.4.3. Pertes de performances	30
II.4.4. Vibrations	30
II.5. Utilisation de la cavitation	31
II.6 NPSH requis,	31
II.7. NPSH disponible	32
II.8. Lutte anti cavitation (Protection des pompes)	33
II.8.1.Réduction du bruit et des vibrations	33
II.8.2.Limitation du risque d'érosion	33
II.8.3. Utilisation d'un inducteur	34
II.8.4. Amélioration du NPSH	34
II.9 Conclusion	35
Chapitre III : système de protection contre la cavitation	37
III.1 Introduction	38
III.2 analyse vibratoire	38
III.2.1 Valeur efficace	39
III. 2.2 Valeur crête	39
III.2.3 Le kurtosis	40
III.3 La surveillance vibratoire	40
III.3.1 par mesure directe du déplacement des parties tournantes	41
III.3.2 par mesure de l'accélération subie par les parties fixes de la machine (carters).	42
III.4 L'importance de l'analyse vibratoire pour la détection de la cavitation dans une machine tournante	42
III.5 conclusions	43
Concluions générale	45
Bibliographie	46

Liste des figures

Figure I.1 Image d'une pompe centrifuge	15
Figure I.2 Assemblage de deux pompes en série	16
Figure I.3 Couplage de deux pompes en série	16
Figure I.4 Assemblage deux pompes en parallèle	17
Figure I.5 Couplage de deux pompes différentes en parallèle	17
Figure I.6 Point de fonctionnement	20
Figure II.1 Cavitation dans une pompe hydraulique	23
Figure II.2 Évolution de l'état d'eau en fonction de la température et de la pression	24
Figure II.3 cas de température constante, pression varie. A une certaine valeur de pression ($P_{\text{Cavitation}} (37\text{ °C})$), l'eau passe alors en phase gazeuse, à 37°C.	25
Figure II.4 : formation des bulles de cavitation dans le milieu liquide	25
Figure II.5 Illustration d'une réduction soudaine de la section transversale d'une conduite	26
Figure II.6 Apparition de bulles de cavitation sur les pales de l'hélice	27
Figure II.7 Illustration de cavitation par poches	28
Figure II.8 Illustration de cavitation de tourbillon	28
Figure II.9 Illustration de la super cavitation	29
Figure II.10 Érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge	30
Figure II.11 Influence du diamètre de la roue sur le NPSHr	32
Figure II.12 Variation du NPSH requis et NPSH disponible avec le débit circulé par la pompe	33
Figure II.13 Utilisation d'un inducteur	34
Figure II.14 Forme de l'aube à l'entrée de la roue de pompe centrifuge	35
Figure III.1 Techniques de surveillance des roulements	39
Figure III.2 Signature vibratoire d'un roulement	41



Introduction générale

Introduction générale

Tout le monde a déjà entendu parler de la cavitation et des dommages qu'elle occasionne aux pompes, mais peu de gens savent ce que c'est exactement. Le phénomène de cavitation, reste aujourd'hui encore, un sujet de préoccupation majeure pour celui qui s'intéresse aux pompes, qu'il soit utilisateur, installateur et bien entendu constructeur. L'évolution rapide de l'industrie des pompes et les récents progrès réalisés dans l'étude et la compréhension des nombreux mécanismes qui régissent le phénomène de cavitation, rendent nécessaire la mise à jour des connaissances sur le sujet.

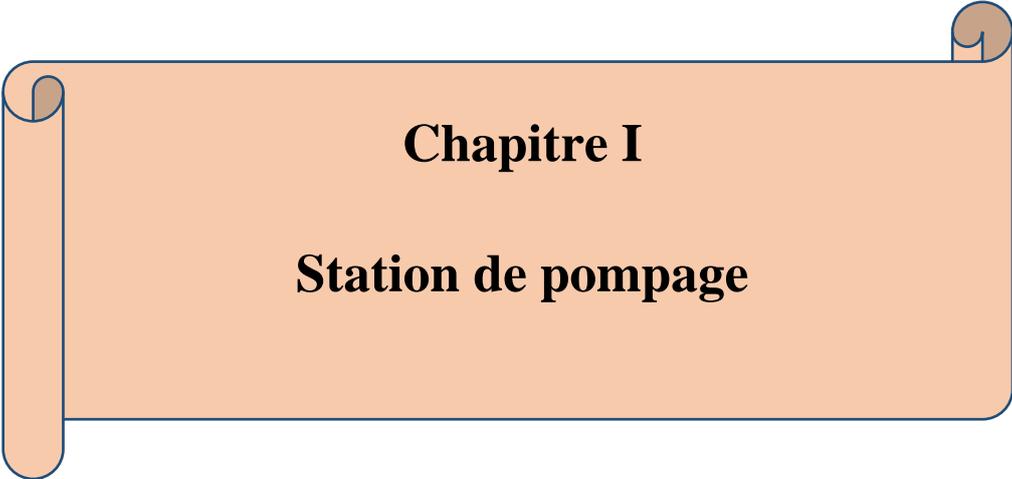
Dans plusieurs cas, le phénomène de cavitation produit quelques défauts dans les pompes. Pour les éviter, il faut surveiller en permanence ces équipements et tous les signes qui précèdent les défauts avant qu'il ne soit trop tard. Pour cela, il existe une grande variété de techniques d'analyse (L'analyse vibratoire, l'analyse des lubrifiants, La thermographie infrarouge, L'analyse acoustique, etc...).

Ces analyses permettent de détecter pratiquement tous les défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes (les pompes). Une cavitation, un balourd, un jeu, un défaut d'alignement, un accouplement usé ou endommagé... se traduisent par une variation des efforts internes que subit la machine, et donc à une modification de son comportement vibratoire. En plaçant des accéléromètres aux endroits où se transmettent ces efforts, on peut alors suivre l'état de santé de l'équipement. Cette technique d'analyse présente trois gros avantages : les mesures sont faciles à prendre, les défauts sont détectés à un stade précoce, et il est possible de réaliser un diagnostic approfondi pour en connaître l'origine.

L'objectif de ce mémoire est de présenter le phénomène de cavitation à l'entrée de la pompe excitant ces différents types et dégâts qu'elle pourra engendrer à l'entrée de celle-ci; et finalement les systèmes de protections de ces pompe

Pour cela, nous organisons notre mémoire de la manière suivante :

- ♣ Introduction générale
- ♣ Le premier chapitre est consacré à quelques généralités sur les pompes, principalement sur ceux de type centrifuges qui sont utilisées au niveau de SONATRACH-TRC.
- ♣ Dans le deuxième chapitre, nous présentons de façon détaillée d'abord le phénomène de cavitation, puis ses effets sur les pompes.
- ♣ Le troisième chapitre est consacré pour l'étude systèmes de protection contre la cavitation 'analyse vibratoire'
- ♣ Finalement une conclusion générale achèverace mémoire.



Chapitre I

Station de pompage

Chapitre I : Station de pompage

I.1- Introduction

L'importance des hydrocarbures dans l'industrie a incité l'homme à réaliser des machines permettant leurs extractions du sol et leurs transports d'un point à un autre .

Ces machines connues sous le nom de pompes, permettent la transformation de l'énergie mécanique en énergie hydraulique. La conception d'une station de pompage dépend de nombreux facteurs tels que :

- Le débit à pomper et la hauteur d'élévation , déterminent le type de pompes à utiliser .
- La nature de fluide dont la viscosité et la température de fonctionnement peuvent imposer la perte de charge dans la conduite .

Les stations de pompage servent à pomper le pétrole d'un point à un autre, de façon continue et sécuritaire en toute sécurité, tout le long d'un oléoduc. Elles comprennent généralement des pompes, des moteurs électriques, des conduites de raccordement et des vannes, une sous-station électrique et de petits bâtiments autonomes servant à abriter l'équipement électrique.

Il existe aussi des facteurs qui peuvent influencer le choix des installations tels que :

- La topographie des lieux .
- La position du plan de fluide à pomper par rapport aux installations des pompes.

I.2Rôle d'une pompe

Une pompe est une machine utilisée pour refouler un fluide situé dans un niveau bas à un niveau plus haut en transformant l'énergie mécanique fournie par le moteur, en énergie hydraulique acquise par le fluide.

Son principe de fonctionnement consiste en premier lieu à créer un vide partiel à l'aspiration, ce qui permet à la pression atmosphérique dans le réservoir à obliger le liquide à monter au niveau de la pompe, elle assure ensuite le transport de fluide jusqu'à l'orifice de refoulement.

La pompe est destinée à élever la charge du liquide pompé, cette charge ou cette énergie est la somme de trois catégories d'énergie :

- ♣ Energie cinétique $V^2/2g$
- ♣ Energie potentielle Z
- ♣ Energie de pression $P/\rho g$

C'est donc un appareil qui génère une différence de pression ΔP entre l'entrée et la sortie de la machine. L'énergie requise pour faire fonctionner une pompe dépend :

- ☒ Des propriétés du fluide : la masse volumique ρ , la viscosité dynamique μ .
- ☒ Des caractéristiques de l'écoulement : la pression P , la vitesse V , le débit Q , la hauteur H .
- ☒ Des caractéristiques de l'installation : la longueur des conduites L , le diamètre D et la rugosité absolue ε ;

I.3 Courbes caractéristiques des pompes

Les courbes principales qui caractérisent une pompe sont au nombre de trois et sont établies par le constructeur:

- La courbe caractéristique hauteur-débit $H=f(Q)$;
- La courbe caractéristique rendement $\eta=f(Q)$;
- La courbe caractéristique de la puissance $P=f(Q)$;

I.3.1-La courbe caractéristique hauteur-débit $H=f(Q)$:

Elle présente les variations de la hauteur manométrique totale d'élévation susceptible d'être fournie par la pompe en fonction du débit Q ; cette courbe est une parabole, elle est utilisée pour trouver le point de fonctionnement.

I.3.2-La courbe caractéristique rendement $\eta=f(Q)$:

Elle présente pour chaque type de pompe un maximum au voisinage duquel il faudra utiliser la pompe. Le rendement tient compte des pertes d'énergie dans les pompes :

Pertes hydrauliques, volumétriques et mécaniques. Le rendement est représenté par une parabole dont la concavité est trouvée vers le haut, pour le rendement d'une pompe spécifique on doit faire l'intersection entre la courbe de η et le débit de cette pompe.

I.3.3-La courbe caractéristique de puissance $P=f(Q)$:

Cette courbe, est fonction du débit, est parabolique. Pour les pompes centrifuges, la concavité de la parabole est tournée vers le bas. Pour obtenir la puissance d'une pompe donnée, on doit faire l'intersection entre le débit de cette dernière et la hauteur manométrique totale puis faire correspondre ce point à l'une des courbes donnant la puissance absorbée.

I.4-Hauteur manométrique totale HMT

La hauteur manométrique totale d'une pompe est la différence de pression de colonne de liquide entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Lors du pompage d'un liquide, la pompe ne doit pas seulement fournir une pression équivalente à la hauteur géométrique d'élévation totale H_g , mais également la pression nécessaire pour vaincre les pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement (respectivement ΔH_{asp} et ΔH_{ref}).

Si les niveaux à l'aspiration et au refoulement sont à des pressions différentes P_1 et P_2 , on a :

$$H_{mt}=H_g+\Delta H_{asp}+\Delta H_{ref}+\frac{(P_2-P_1)}{\rho g}$$

Avec :

ρ :La masse volumique du liquide pompé.

I.5-Les différents types de pompes

Il existe deux grands types de pompes :

- ☞ Les pompes volumétriques qui agissent sur l'énergie de pression.
- ☞ Les turbopompes, qui agissent sur l'énergie cinétique.

I.5.1 Pompes volumétriques :

Ces pompes connaissent une installation bien moins généralisée que celles des turbopompes. Elles sont limitées aux pompages des fluides visqueux. D'une façon générale elles conviennent pour élever de faibles débits à des pressions élevées.

I.5.1.1 Le principe de fonctionnement des pompes volumétrique

Le liquide est d'abord aspiré par l'accroissement d'un volume de liquide puis refoulée par diminution de ce même volume. L'énergie de pression est fournie directement au liquide dans ces pompes et par variation successive d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

I.5.2 Turbopompes

Les turbopompes sont actuellement parmi les plus employées des pompes. Suivant le type de rotor et son mode d'action, on distingue dans la catégorie des turbopompes les trois principaux types suivantes :

- Les pompes centrifuges ;
- Les pompes hélices ou radiales ;
- Les pompes hélico-centrifuges ou semi axiales ;

Il existe un certain nombre de classifications des turbopompes selon les critères suivants :

♣ La disposition :

🌀 De l'axe : horizontal, vertical, incliné

🌀 Du moteur : en surface, immergée

🌀 Sur les canalisations : pompes en ligne

♣ Le nombre et la disposition des rotors: monocellulaires, multicellulaire.

♣ La conception des roues : ouvertes, à canaux, à vortex (pour des liquides plus au moins chargés).

♣ L'utilisation.

♣ Importance de la pression produite: basse pression, moyenne pression, haute pression.

Pour les turbopompes, on utilise essentiellement les pompes centrifuges qui sont aujourd'hui les pompes les plus utilisées. Elles peuvent être radiales, axiales ou mixtes.

I.5.2.1- Les pompes centrifuges

Dans ces pompes le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

Ce sont les pompes les plus utilisées en raison de leur large domaine d'application, de leur prix moins élevé que celui des autres pompes, de leur bon rendement lorsqu'il s'agit de pompes modernes. Elles sont constituées de:

- Une roue à aubes tournant autour de son axe;
- Un distributeur dans l'axe de la roue;

- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.



Figure I.1 Image d'une pompe centrifuge

I.5.2.2-Avantages et inconvénients des turbopompes

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

- ☞ A caractéristique égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques.
- ☞ Leurs rendements sont souvent meilleurs que celui des machines «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.

Du côté des inconvénients :

- ☹ Impossible de pomper des liquides trop visqueux.
- ☹ Production d'une pression différentielle peu élevée (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).

Notre cas se portera sur les pompes centrifuges car elles sont les plus utilisées et possèdent beaucoup d'avantage à savoir :

- Un bon rendement ;
- La simplicité de leur installation et leur fonctionnement;
- Cout réduit ;
- Leur couplage peut se faire en série ou en parallèle ;
- Ne nécessitent qu'une légère maintenance et un entretien très simple;

I.6 Les modes de couplage des pompes

Dans la plus part des cas, les stations de pompages demandent plus d'une pompe à savoir deux, trois ou plus. L'ensemble des pompes dans ces stations peut présenter l'un des deux modes de couplage suivants ou les deux à la fois.

I.6 .1 Couplage en série

Lorsque les pompes sont en série, les hauteurs manométriques s'ajoutent pour un même débit. On retrouve ce cas dans les pompes multicellulaires ;

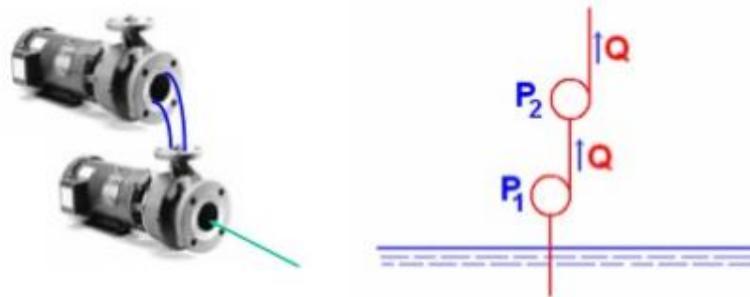


Figure I.2 : Assemblage de deux pompes en série

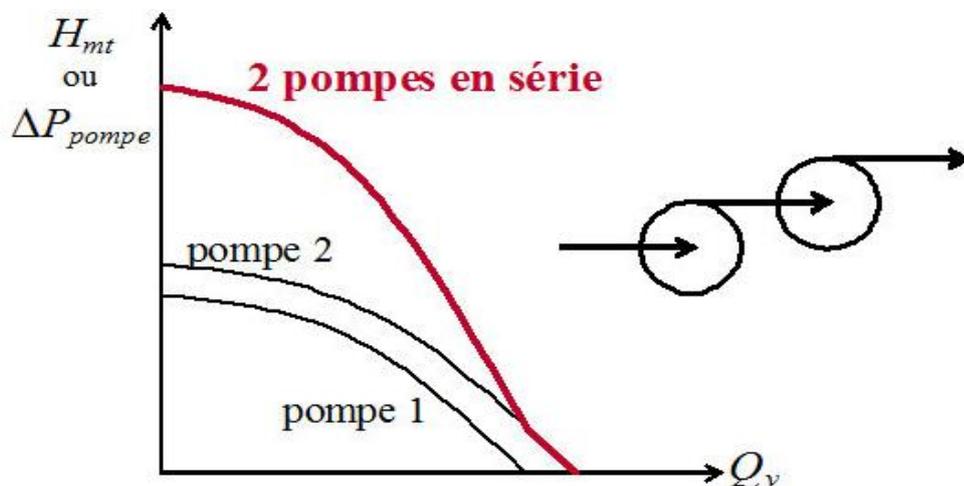


Figure I.3 Couplage de deux pompes en série

I.6 .2-Couplage en parallèle :

Lorsque l'on met deux pompes en parallèle, les débits s'ajoutent. Ainsi, on peut reconstruire la caractéristique de l'ensemble des deux pompes en sommant le débit pour une hauteur manométrique donnée, trois pompes identiques sont mises en parallèles. Les caractéristiques pour une pompe, puis deux et trois pompes en parallèle sont tracées. Il est à noter que le rendement ne change pas.

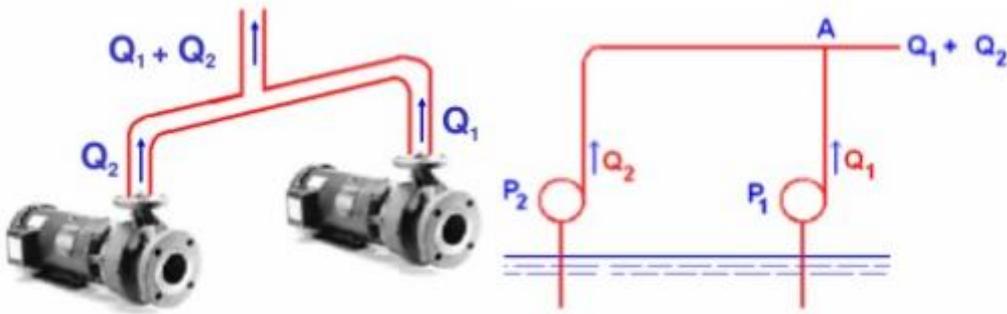


Figure I.4 Assemblage deux pompes en parallèle

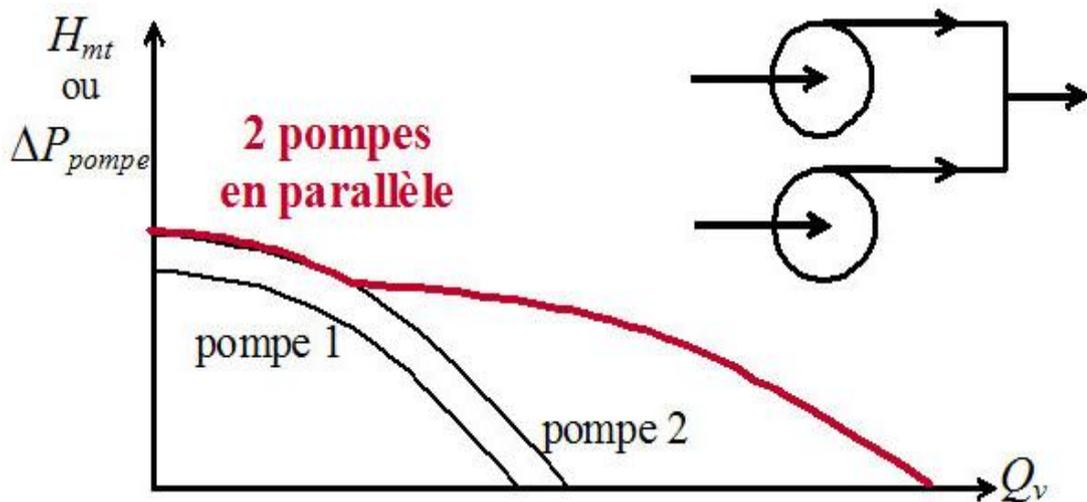


Figure I.5: Couplage de deux pompes différentes en parallèle

I.7 Mode de fonctionnement de la pompe

I.7.1 Charge nette absolue (NPSH disponible)

NPSH (en anglais, Net Positive Suction Head) ou la charge nette à l'aspiration, est simplement une mesure permettant de quantifier la hauteur manométrique d'aspiration disponible pour éviter la vaporisation au niveau le plus bas de la pression dans la pompe. Elle est donnée par la formule suivante:

$$NPSH_{disponible} = H_{asp} - \frac{P_{sat}}{\gamma} = \frac{P_{asp}}{\gamma} + \frac{V_{asp}^2}{2g} + Z_{asp} - \frac{P_{sat}}{\gamma}$$

Où :

h_0 : la pression atmosphérique en (m)

H_{asp} : la hauteur totale de l'aspiration (m)

$H_v = \frac{P_{sat}}{\gamma}$: la tension de la vapeur (m).

Il existe aussi $NPSH_{requis}$ qui dépend de la pompe (donné par le constructeur). Il faut toujours vérifier que $NPSH_{disponible} > NPSH_{requis}$.

Remarque :

La tension de vapeur est la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide à une température donnée dans un système fermé.

I.7.2-La puissance absorbé :

La puissance absorbée des pompes est donnée par la formule suivante :

$$P_{abs} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{mt}}{\eta}$$

Avec :

ρ : masse volumique du fluide (kg/m³):

g : accélération de la pesanteur (m/s²);

Q : débit transporté (m³/s);

H_{mt} : Hauteur manométrique (m) ;

I.7.3 La vitesse de rotation:

La vitesse de rotation N d'une pompe, a une influence appréciable sur son fonctionnement car il est possible de déterminer par calcul les caractéristiques de fonctionnement de cette pompe à partir d'autre vitesse de rotation N' , en appliquant les lois de similitude suivantes :

$$Q' = Q \frac{N'}{N}$$

$$H' = H \left(\frac{N'}{N} \right)^2$$

$$P' = P \cdot \left(\frac{N'}{N} \right)^3$$

On peut ainsi reconstruire point par point les caractéristiques pour la vitesse de rotation N' , en prenant des points différents des caractéristiques établies pour la vitesse N .

On peut aussi définir la vitesse spécifique qui est la vitesse avec laquelle tourne une pompe débitant $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en fournissant au fluide une énergie 1j/kg et semblable à une pompe donnée, l'expression de nq , sera donc :

$$nq = N \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Avec :

N : la vitesse de rotation de la roue de la pompe (tour/min).

Q : le débit de fluide pompé (m^3/s).

H : la hauteur manométrique totale en mètre de colonne d'eau.

On évalue la forme de la roue à l'aide de ce nombre spécifique pris au point de rendement maximal.

I.7.4- Le point de fonctionnement :

Afin d'orienter notre choix, nous devons satisfaire des conditions mécaniques et hydrauliques, et tracer la courbe de la conduite refoulement et celle de la pompe qui est donnée par le constructeur sur le catalogue.

Le point de fonctionnement d'une pompe P, est donné par l'intersection de la courbe caractéristique de la pompe (donnée par le constructeur) et la courbe caractéristique de la conduite de refoulement.

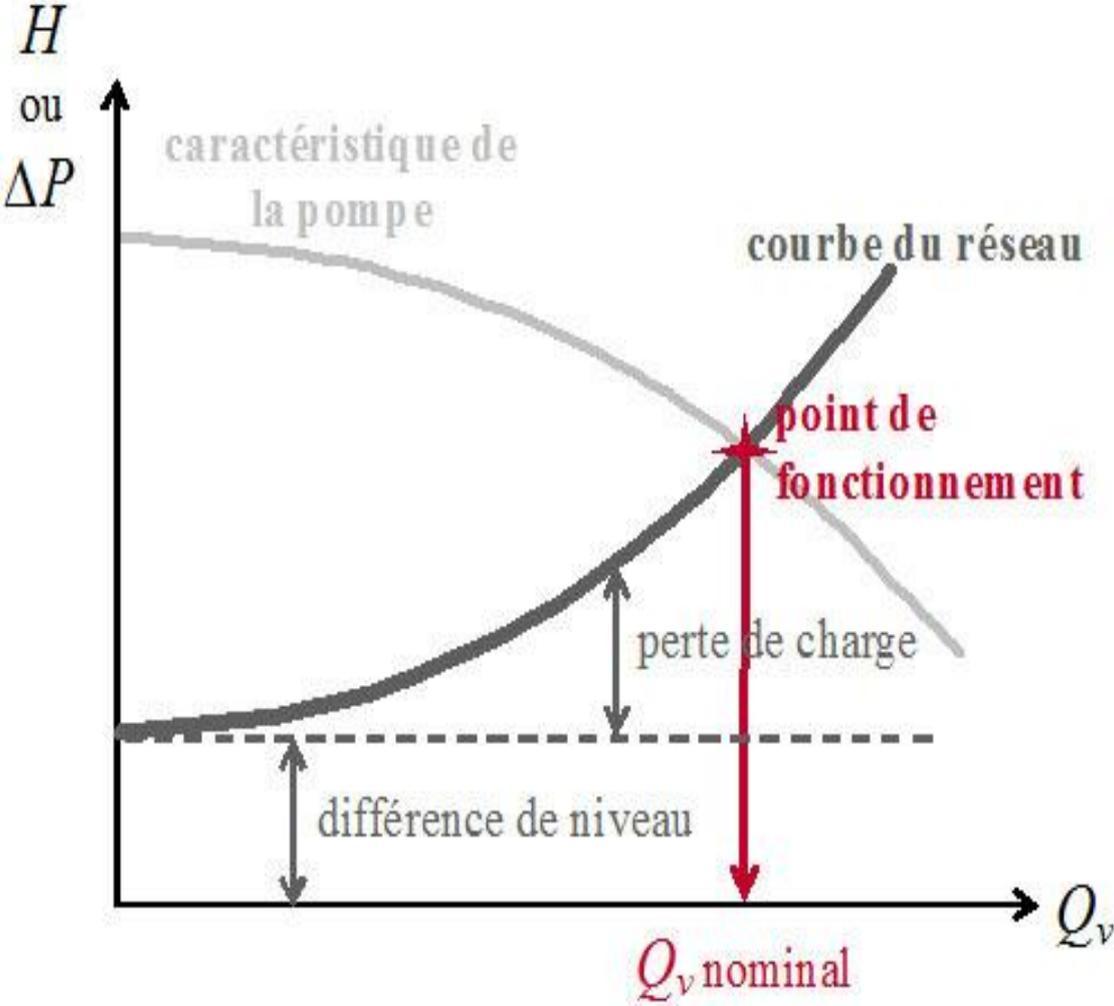
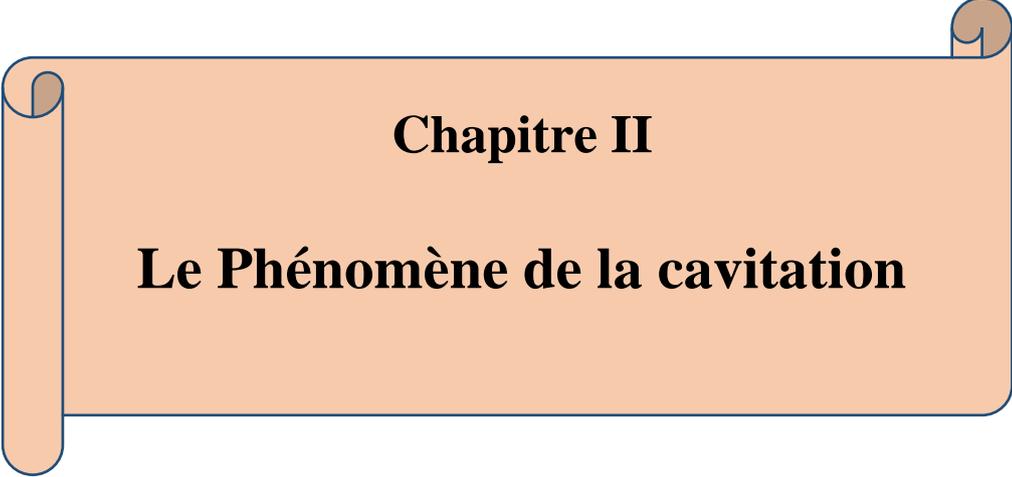


Figure I.6 Point de fonctionnement

I.8-Conclusion :

Les stations de pompage sont des installations qui pompent le pétrole d'un point à un autre, de façon continue et en toute sécurité, tout le long d'un oléoduc. Ces stations fonctionnent selon un régime de fonctionnement biendéterminé, et peuvent rencontrer un phénomène qui va être présenté dans le chapitre suivant permet de diminuer leurs rendements.



Chapitre II

Le Phénomène de la cavitation

Chapitre II: le Phénomène de cavitation

II.1. Définition

Mécaniquement, la cavitation peut être définie par la rupture du milieu continu de liquide sous l'effet de contraintes excessives. Physiquement, la cavitation est la vaporisation d'un fluide soumis à une pression inférieure à sa pression de vapeur. Ce phénomène se manifeste par la formation au sein de l'écoulement, de bulles, de poches, de tourbillons ou de torches de vapeur. Dans les pompes, ces structures de vapeur apparaissent dans les zones de faible pression à l'entrée des aubes de roue, et sont transportées dans les zones à plus haute pression. Sous l'action du gradient de pression, Elles implosent dès que la pression locale dans l'écoulement redevient supérieure à la pression de vapeur. Ces implosions produisent des micro-jets et des surpressions (onde de choc).

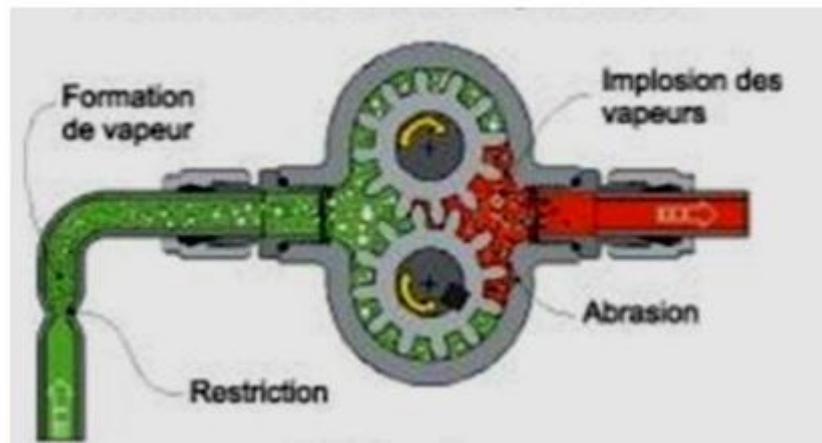


Figure II.1 Cavitation dans une pompe hydraulique.

II.2. Étude du Phénomène dans le cas de l'eau

Si on prend l'exemple de l'eau, et l'on regarde l'évolution de ses états en fonction de la température:

1. A la pression atmosphérique :
 - ▶ L'eau sous forme de glace chauffée atteint son point de fusion à 0°C ; l'eau devient liquide.
 - ▶ Si nous continuons à chauffer l'eau, toujours à la pression atmosphérique, elle passe à l'état de gaz par le phénomène d'ébullition à 100°C .

Cette évolution des différents états s'explique par le diagramme suivant qui montre que, dépendamment de la température et de la pression, un corps peut se retrouver sous la forme solide, liquide ou gazeuse:

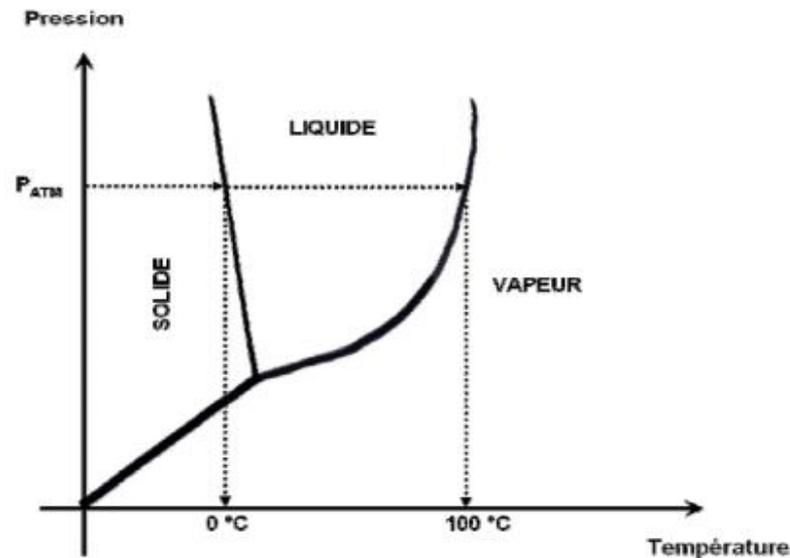


Figure II.2 :Évolution de l'état de l'eau en fonction de la température et de la pression.

Dans le cas de l'eau, dans l'exemple ci-dessus, la pression est constante (pression atmosphérique), et la température varie.

Par exemple, l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, au niveau de la mer. En altitude ($P_{ALT} < P_{ATM}$), on observe un seuil d'ébullition plus faible, du fait d'une moindre pression atmosphérique (proportionnelle à l'altitude). On remarque donc que la pression ambiante influe sur la température de vaporisation.

1. Si on se place désormais à une température donnée (par exemple 37°), l'eau à la pression atmosphérique est à l'état liquide. D'après le diagramme précédent, on observe qu'il existe une manière pour faire passer l'eau de l'état liquide à l'état gazeux à température constante : Il suffit d'abaisser suffisamment la pression.

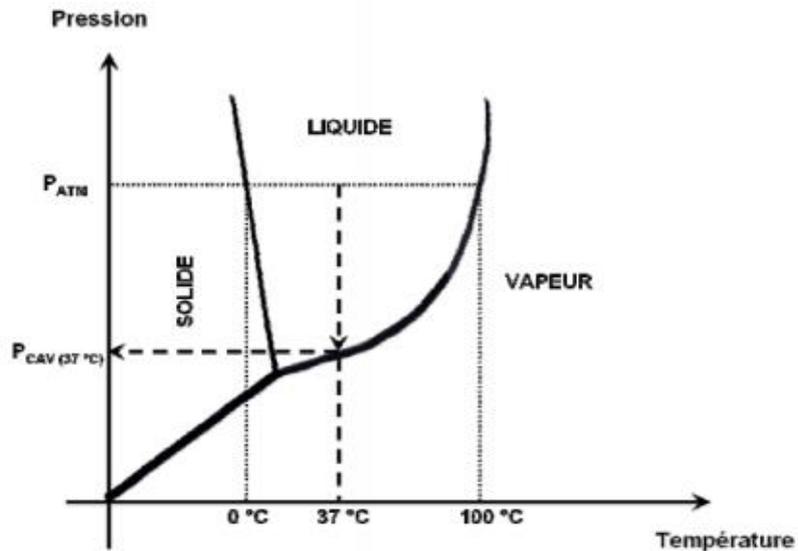


Figure II.3 cas de: température constante, pression varie. A une certaine valeur de pression ($P_{\text{Cavitation}} (37\text{ °C})$), l'eau passe alors en phase gazeuse, à 37°C.

Lorsque cette dépression amenant à la vaporisation du liquide est locale (discontinuité dans le milieu liquide), on parle alors du phénomène de cavitation, qui se manifeste par l'apparition de poche d'air et de bulles.

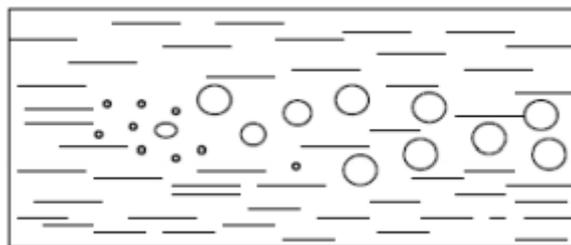


Figure II.4 Formation des bulles de cavitation dans le milieu liquide

Les endroits les plus critiques où peut se produire la cavitation dans un circuit d'eau sont les réductions et les élargissements soudains de la section transversale, et les changements d'écoulement du flux.

La figure suivante montre la distribution de pression dans une buse où p_1 est la pression du fluide en amont, p_2 la pression en aval et p_{vap} la pression de vapeur du fluide.

Les bulles de vapeur se produiront dans la région du tuyau où la pression est inférieure à la pression de saturation. Les bulles s'effondreront plus loin dans le tuyau où la pression augmente au-dessus de la pression de saturation.

Voici quelques exemples d'endroits où peut se manifester la cavitation :

- Les conduites d'aspiration des pompes ;
- Les aubes de pompes centrifuges ;
- Les coudes et les tés prononcés ;
- Les changements soudains de la superficie d'écoulement, par exemple dans les orifices.

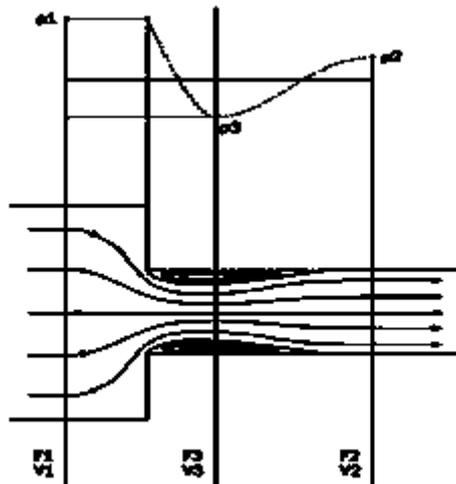


Figure II.5 : Illustration d'une réduction soudaine de la section transversale d'une conduite

II.3. Types de cavitation

On rencontre donc une quantité de type de cavitation, dont certains particulièrement importants, ont fait l'objet de classification plus ou moins admises par la communauté spécialisée.

Parmi les sous-classifications pouvant présenter un certain intérêt, celles qui consistent à considérer ce qui se produisent au sein du liquide et celles qui sont provoqués près des parois. Toutes les cavitations obtenues au sien d'un liquide impliquent la présence de tourbillons permanents ou non. Elles sont particulièrement sensibles au nombre de Reynolds:

- Cavitation à haut nombre de Reynolds : l'inertie du liquide (sa mise en mouvement) ralentit l'expansion de la partie vapeur.
- Cavitation à faible nombre de Reynolds: la viscosité du liquide limite la vitesse d'expansion
- Cavitation élastique: la résistance élastique du milieu et la tension de surface limitent la dilatation de la phase gazeuse.

Un autre sous classification possible, il convient de considérer deux grandes familles d'écoulements cavitants. La cavitation à structures séparées, nécessite la présence de germes pour se développer et la cavitation quasi permanente. La cavitation à poches, par exemple, qui après avoir été initiée, s'auto-entretient par vaporisation du liquide environnant au travers d'une interface assez bien définie.

Nous présentons sommairement dans ce qui suit les types de cavitation les plus couramment admis et leurs formes dégradées éventuelles.

II.3.1 :La cavitation par bulles isolées

Qui sont issues de germes microscopiques contenus dans le liquide. Ces bulles vont exploser dans les régions de basse pression et imploser lorsqu'elles vont rencontrer un gradient de pression adverse :

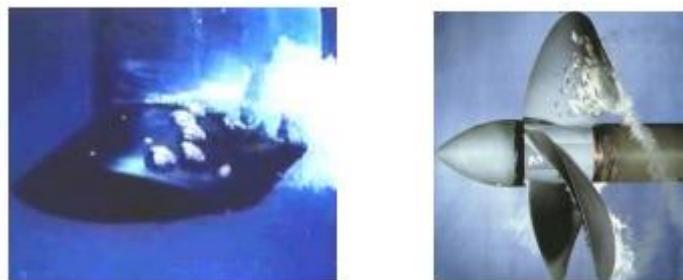


Figure II.6 Apparition de bulles de cavitation sur les pales de l'hélice

II.3.2. la cavitation par poches (ou par cavités)

Accrochées aux parois, spécialement à l'extrados des aubages de machines ou des plans porteurs de l'hydroptère.

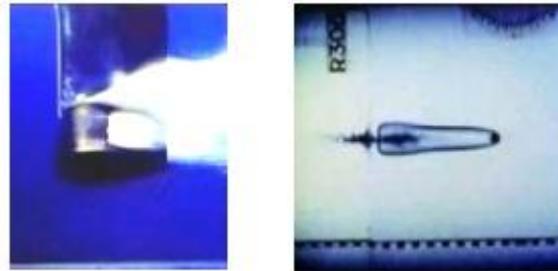


Figure II.7 Illustration de cavitation par poches

II.3.3. La cavitation de tourbillons

Le fluide, en plus de son mouvement d'ensemble, est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe ou d'une ligne courbe, la vitesse de rotation diminuant dès que l'on s'éloigne de l'axe. L'axe du tourbillon est le siège d'une dépression qui, lorsqu'elle est suffisante, provoque la vaporisation du fluide et la formation de tourbillons cavitants. Elle se rencontre avec les hélices et les pompes et turbines hydrauliques.



Figure II.8 Illustration de cavitation de tourbillon

II.3.4. La super cavitation

Ce phénomène se rencontre dans la cavitation par poche lorsque la poche de cavitation s'étend au-delà du bord de fuite. On évite ainsi l'érosion rapide puisque la portion arrière de la poche, très active au point de vue érosion, se trouve reportée en dehors du profil.



Figure II.9 Illustration de la super cavitation

II.4. Conséquences de la cavitation

II.4.1. Érosion de cavitation

Lorsque certaines conditions de fonctionnement de la pompe sont réunies, comme, par exemple:

- Marche à régime partiel ;
- Pompage à très grande hauteur [$H > 100$ m] ;
- Pression de service à l'aspiration faible;
- Nature du liquide véhiculé et du matériau constitutif de la roue, etc...

Les implosions répétées des poches de cavitation, qui se produisent près des parois métalliques, altèrent progressivement la structure cristalline dans le cas des alliages métalliques ou les matériaux d'autres natures (plastiques) et peuvent détruire très rapidement les aubes de la roue: c'est le phénomène d'érosion par cavitation (Figure II-12). Mais avant d'en arriver à ce cas extrême, qui doit bien entendu être évité, la cavitation peut avoir d'autres conséquences néfastes pour le bon fonctionnement des groupes de pompage.



Figure II.10 Érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge.

II.4.2. Bruit de cavitation

La première manifestation d'une pompe qui subit une cavitation est le bruit, qui révèle la présence de microbulles dans l'écoulement. Ce bruit hydraulique généré par la cavitation excite ensuite les parois de la pompe et des tuyauteries proches de celle-ci. Les tuyauteries, à leur tour, rayonnent ce bruit dans le milieu aérien ambiant. De cette façon, lorsqu'une pompe cavite de manière importante, on enregistre un bruit caractéristique de crépitements et claquements quelquefois assimilé au bruit d'agrégats dans une bétonnière ou de concasseur.

Pour des machines de grande taille ou tournant très vite, le bruit aérien généré par la cavitation peut être gênant pour l'utilisateur ou l'environnement. Cependant, la part du bruit qui incombe directement à la cavitation ne représente qu'une faible partie du bruit rayonné par les pompes

II.4.3. Pertes de performances

Pour des poches de vapeur encore plus développées, les pompes subissent une chute de leurs performances (hauteur totale d'élévation, rendement, puissance) qui les rendent inutilisables. Ce phénomène est souvent décrit comme la chute de caractéristiques ou improprement comme le $(NPSH)_{req}$ de la pompe.

II.4.4. Vibrations

Lorsque les poches de vapeur à l'entrée de la pompe atteignent une dimension importante vis-à-vis de la taille de la pompe, du niveau de pression ou du $(NPSH)$ disponible à l'entrée de la roue, une augmentation du niveau vibratoire due à la cavitation peut se rencontrer. Parfois, on peut également avoir des interactions entre la pompe en régime de cavitation et le circuit sur laquelle elle débite.

II.5. Utilisation de la cavitation

La prédiction des effets de la cavitation présente des difficultés dues à la complexité du problème ou un grand nombre de facteurs dont on ne maîtrise pas les effets entrant en jeu:

- Influence de l'évolution de bulles voisines.
- Existence d'ondes de choc.
- Vitesse et turbulence de l'écoulement.
- Influence de la nature des matériaux.

Cependant en dépit de ses aspects négatifs, la cavitation trouve des applications dans certains procédés industriels qui nécessitent la concentration d'énergie sur de petits domaines afin de produire localement des pics de pressions élevés. La cavitation est ainsi utilisée dans:

- Limitation du débit de liquide.
- Aide au forage pétrolier.
- Générateur de microbulles.
- Catalyseur de réaction chimique.
- Le nettoyage des surfaces par ultrasons ou par jets cavitants.
- La production d'émulsion.
- Le massage thérapeutique.
- Le dégazage des liquides.
- Création de jets d'encre.

Notons aussi que la super cavitation est utilisée en marine (hélices marines, pompes de fusée, petites turbines).

II.6 NPSH requis

NPSHr requis, est la valeur minimale de NPSH à partir de laquelle la pompe fonctionne sans cavitation, cette valeur sera donnée par le constructeur. Expérimentalement, comme le montre la Figure (II-13): le NPSH requis augmente avec le débit QV . Le constructeur des pompes donnent la courbe caractéristique du NPSHr [$NPSHr=f(Q)$] correspondant au diamètre nominal de la roue. Si la roue est rognée le NPSHr est modifié. Sa nouvelle valeur peut être approchée graphiquement, comme l'indique la figure suivante:

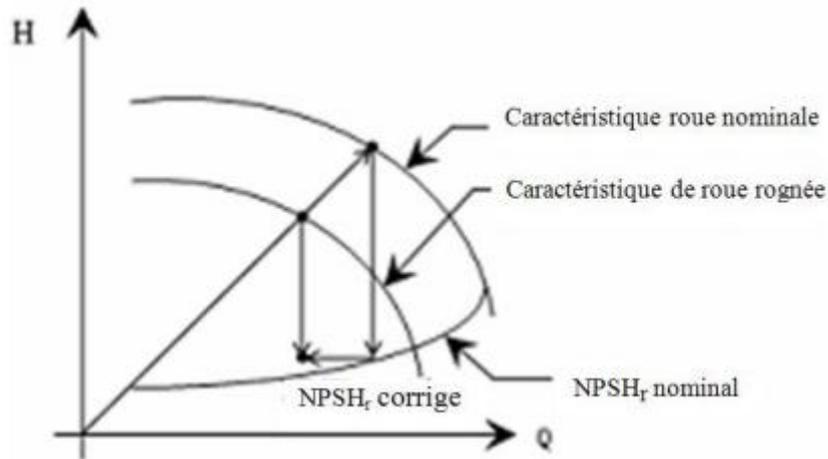


Figure II-11 : Influence du diamètre de la roue sur le NPSHr.

II.7. NPSH disponible

Suivant la configuration de montage et du produit véhiculé, il y a une pression P_a à l'aspiration de la pompe. En conséquence seule la quantité de pression supérieure à P_v sera utile (si cette pression arrive à la P_v on aura du gaz à l'entrée de la pompe).

NPSH disponible ou d'installation, il s'agit de la pression à l'aspiration régnant effectivement à l'entrée d'une pompe. Et que l'utilisateur doit définir pour choisir correctement sa pompe. Il est donc toujours défini. [2]

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g} \quad (Z_a = 0 \text{ côté aspiration})$$

En pratique, pour qu'une pompe puisse fonctionner normalement (sans CAVITATION), il faut calculer le NPSH disponible et vérifier qu'il est bien supérieur au NPSH requis (qu'on aura déterminé à l'aide de la courbe fournie par le constructeur).

On a donc:

- NPSH disponible > NPSH requis → sans cavitation.
- NPSH disponible ≤ NPSH requis → avec cavitation.

Une pompe fonctionne dans des conditions d'aspiration d'autant meilleures que la différence $NPSH_d - NPSH_r$ est grande. On estime nécessaire de se réserver une marge de sécurité d'au moins 0,5 [m] et donc d'avoir : $NPSH_d > NPSH_r + 0,5$.

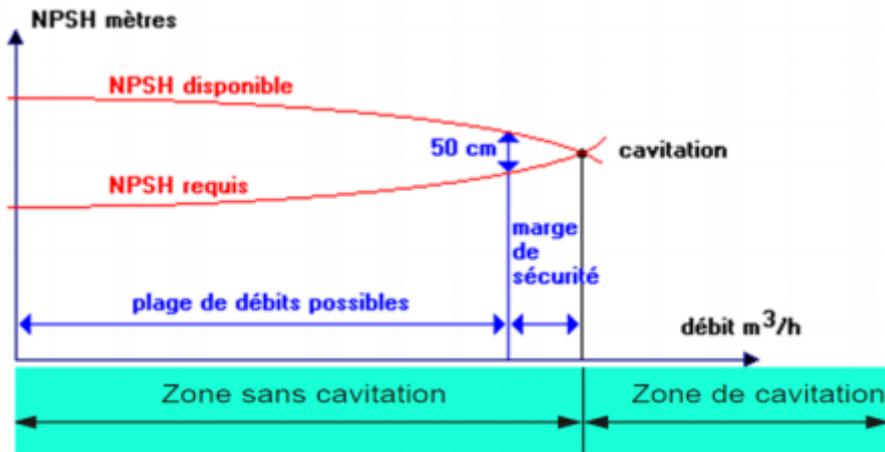


Figure II-12 Variation du NPSH requis et NPSH disponible avec le débit circulé par la pompe

II.8. Lutte anti cavitation (Protection des pompes)

Pour limiter les effets nocifs de la cavitation et améliorer les plages d'utilisation des pompes, on peut agir de plusieurs façons :

- Limiter les conséquences de la cavitation (bruit, érosion, vibrations) par une conception mécanique et un choix de matériaux adéquats ;
- Dans certains cas, utiliser un inducteur ou hélice de gavage installé à l'amont de la roue, principalement dans les pompes centrifuges.
- Il faut satisfaire la condition de $NPSH \text{ disponible} > NPSH \text{ requis}$.

II.8.1. Réduction du bruit et des vibrations

Lors de la conception de la pompe, il est possible de réduire les effets de la cavitation en agissant sur la conception mécanique pour minimiser les risques de vibration et réduire le bruit généré par la cavitation :

- Dimensionnement de l'arbre et des organes mécaniques.
- Choix des matériaux (épaisseur, nature).
- Capotage antibruit.
- Liaison avec les tuyauteries de raccordement.

II.8.2. Limitation du risque d'érosion

C'est principalement par un choix judicieux du matériau constitutif de la roue que l'on peut prétendre réduire les risques d'érosion par cavitation. Les aciers inoxydables présentent une excellente tenue à l'érosion de cavitation.

II.8.3. Utilisation d'un inducteur

Pour augmenter les capacités des pompes centrifuges qui sont limitées à des valeurs de vitesse spécifique d'aspiration pour les roues centrifuges dites aspiratrices, on utilise des pompes avec inducteur.

L'inducteur ou hélice de gavage est une roue de pompe axiale placée devant l'oreillard d'une roue de pompe centrifuge ou hélicocentrifuge de conception tout à fait classique (figure 13). Les deux rotors sont montés sur le même axe, ils sont entraînés à la même vitesse et fonctionnent en série. L'élévation de pression générée par l'inducteur permet à la roue centrifuge de fonctionner sans cavitation. Parallèlement l'inducteur lui-même est soumis à la cavitation, mais les faibles gradients de pression qui règnent dans les canaux de l'inducteur limitent les risques d'érosion par cavitation, la pression générée par l'inducteur représente environ 10 % de la pression totale faite par l'ensemble inducteur-roue centrifuge.



Figure (II-13) Utilisation d'un inducteur [19]

II.8.4. Amélioration du NPSH

En jouant sur les principaux paramètres géométriques des aubes à l'entrée de la roue, on peut concevoir des pompes dont les performances en cavitation peuvent varier dans une très large gamme. Les principaux paramètres géométriques à faire varier sont les suivants :

- D_1 diamètre de roue,
- B_1 angle d'entrée de l'aube,
- Z_r nombre d'aubes,
- e_1 épaisseur de l'aube,

- Forme de l'aube à l'entrée de la roue.

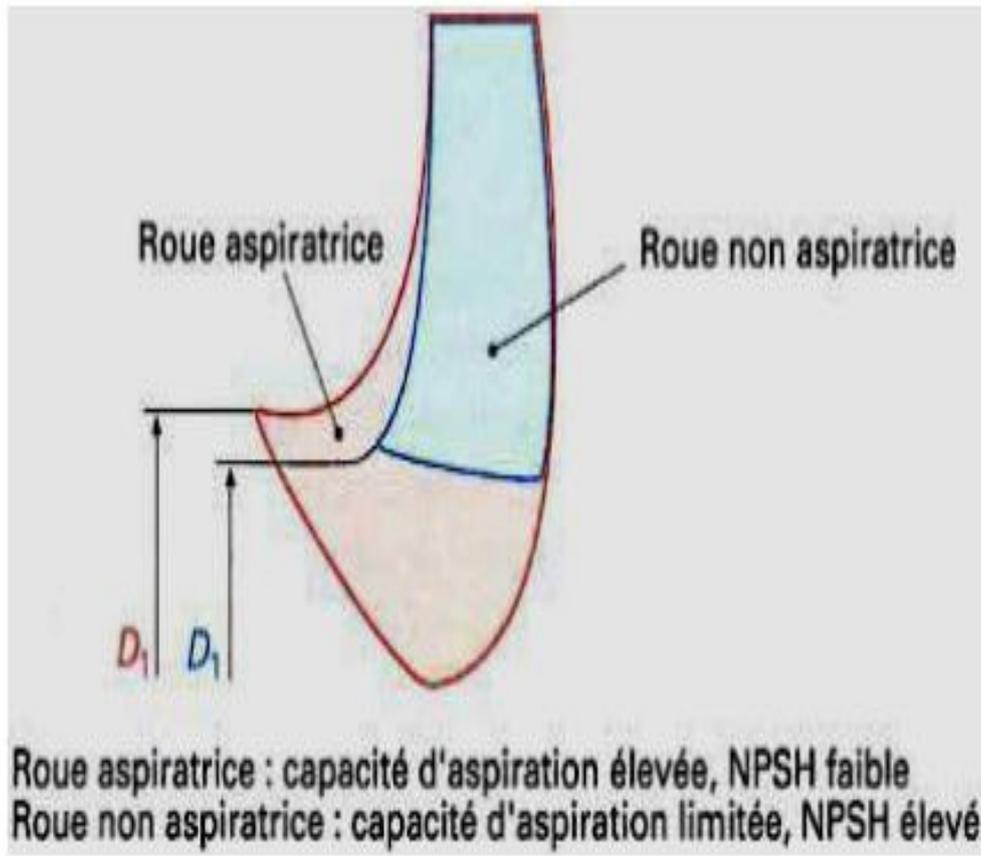
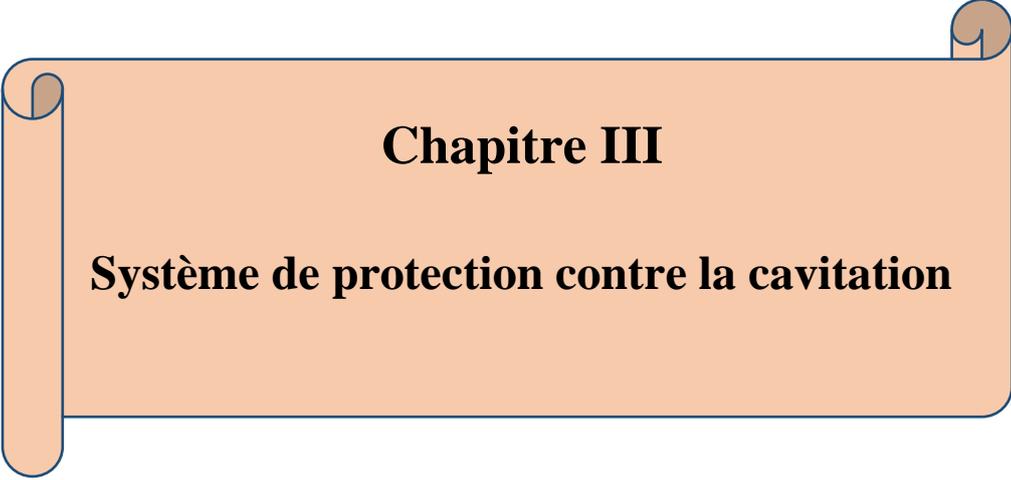


Figure II-14 :Forme de l'aube à l'entrée de la roue de pompe centrifuge

II.9 Conclusion

Dans cette partie, nous avons défini une problématique souvent rencontrée au niveau des stations de pompage qui est la cavitation. Dans ce qui suit, nous présentons le système de protection contre la cavitation qui permet de protéger les installations.



Chapitre III

Système de protection contre la cavitation

Chapitre III : système de protection contre la cavitation

III.1 Introduction

L'une des méthodes les plus utilisées pour détecter la cavitation est l'analyse vibratoire qui est une moyenne utilisée pour suivre la santé des machines tournantes en fonctionnement. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle de l'outil de production industrielle.

Les objectifs d'une telle démarche sont de :

- ✘ Réduire le nombre d'arrêts sur casse ;
- ✘ Fiabiliser l'outil de production ;
- ✘ Augmenter son taux de disponibilité ;
- ✘ Mieux gérer le stock de pièces détachées, etc...

À partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique.

III.2 Analyse vibratoire

L'expérience a montré que parmi les différents phénomènes physiques utilisés pour mettre en évidence des défauts de fonctionnement ou de dégradation d'une machine tournante et donnant une meilleure mesure de son état est la vibration. Les vibrations fournissent des paramètres fondamentaux permettant la détection précoce des causes de défaillance et donc la définition de l'organe défectueux, sans démontage de la machine. Par conséquent, la correction éventuelle et la programmation des opérations de maintenance seront limitées aux seuls maillons et organes défaillants. Toutes les machines vibrent et au fur et à mesure que l'état de la machine se détériore (balourd, usure de roulements, usure d'engrenages, défaut d'alignement, défaut de graissage, desserrage, jeu, fissures, etc.). La signature vibratoire change. C'est la première manifestation physique d'une anomalie, cause potentielle de dégradation et de panne.

Les techniques et les méthodes mises en œuvre pour caractériser et surveiller l'état des roulements dans une machine tournante sont nombreuses et très diverses. Chacune de ces méthodes correspond à des niveaux différents de connaissances du phénomène et à l'utilisation de matériels d'analyse. Ces techniques peuvent être regroupées en trois grandes familles

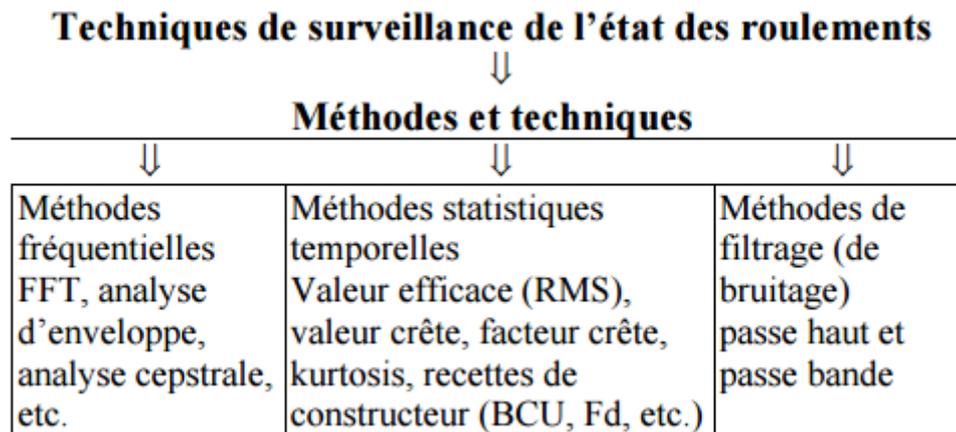


Figure III.1 Techniques de surveillance des roulements.

Nous allons définir les méthodes de traitement de signal associées à des méthodes statistiques appropriées, pour mettre en évidence la détection de la détérioration précoce d'un roulement, utilisant un des différents indicateurs des méthodes statistiques temporelles.

III.2.1 Valeur efficace

La valeur efficace donnée par l'expression suivante : $VRMS = [1/N \sum (x_i^2)]^{1/2}$, permet de contrôler rapidement l'état de la machine et d'indiquer si les conditions de fonctionnement ont évoluées de manière inquiétante depuis la dernière mesure. Ce critère n'évolue pas de manière significative au cours de la 1^{ère} phase de dégradation, il ne commence à croître que pendant la 2^{ème} phase de dégradation. Ceci est un point faible pour la maintenance conditionnelle et rend la détection précoce impossible. De plus le signal vibratoire recueilli par le capteur contient toujours des bruits non seulement de la machine mais aussi de l'environnement, ce qui peut entraîner une mauvaise interprétation de la valeur RMS, surtout dans un espace industriel où les machines ne sont pas isolées, sans toutefois oublier l'effet de masque.

III. 2.2 Valeur crête

La valeur crête, donnée par : $V_c = 20 \log (A_m/\sigma_x)$ est un indicateur qui caractérise l'amplitude maximale des chocs. Il se manifeste dès l'apparition de la première écaillage et donne une information très précoce de la prédiction. Malheureusement, c'est un mauvais indicateur une fois que la dégradation s'accroît. Il faut remarquer aussi, que ces deux indicateurs (V_{RMS} , V_c) dépendent de la vitesse de rotation, des charges de la machine et des dimensions des roulements. Ceci est un inconvénient pour la surveillance des roulements (seuil de la surveillance). Pour pallier à cela, des méthodes équivalentes ont été introduites, telles que :

- le facteur de crête : $F_c = V_c/V_{RMS}$;
- le facteur de défaut : $F_d = a F_c + b V_{RMS}$.

Malheureusement, il est impossible de déterminer si le roulement est en début ou en fin de dégradation, au moins pendant les premières mesures. Un autre indicateur permettant de caractériser le caractère impulsif d'un signal vibratoire, en particulier pour les roulements, fondé sur l'examen de la distribution d'amplitude d'un signal vibratoire: c'est le kurtosis.

III.2.3 Le kurtosis

Le kurtosis, donnée par : $K = 1/N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 / \sigma^4$ est un indicateur adimensionnel permettant de caractériser le degré d'aplatissement d'une distribution d'un signal vibratoire. Il a l'avantage d'être indépendant des variations des vitesses de rotation et des charges de la machine. En effet, le signal vibratoire d'un roulement en bon état génère un signal de distribution gaussienne avec un kurtosis voisin de 3 compris entre (2.75 – 3.25). Par contre, la détection d'un défaut précoce produit un signal transitoire et périodique avec une allure de distribution modifiée avec un kurtosis plus grand. Pour quantifier ce changement de distribution, le kurtosis est le facteur le plus sensible.

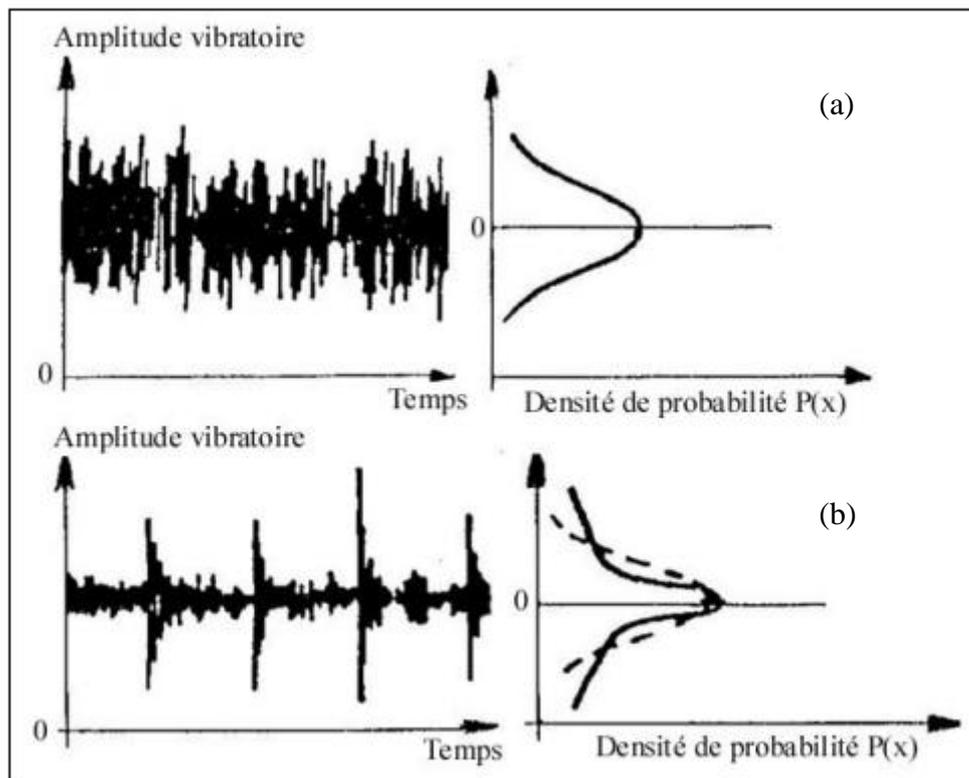


Figure III.2 Signature vibratoire d'un roulement :

a) Roulement en bon état, b) roulement dégradé.

III.3 La surveillance vibratoire

Il existe deux technologies permettant de réaliser une surveillance vibratoire :

III.3.1 Par mesure directe du déplacement des parties tournantes (arbres de machines)

Réalisées à l'aide de capteurs à courants de Foucault. Ces mesures, leur interprétation et leurs applications ne sont pas traitées ici. La technologie mise en œuvre est lourde. Une application courante est la surveillance des machines à paliers hydrauliques (à coin d'huile). Cette surveillance est presque toujours réalisée **on line** c'est-à-dire en temps réel. Les capteurs mesurent en permanence les déplacements des arbres et autorisent ainsi le déclenchement immédiat d'alarmes en cas de dysfonctionnement.

III.3.2 Par mesure de l'accélération subie par les parties fixes de la machine (carters).

Les moyens mis en œuvre sont, dans ce cas, beaucoup plus accessibles aux petites structures. À l'aide d'un accéléromètre relié à un collecteur de données, le technicien recueille les vibrations subies par les carters des machines. Cette technique se prête aussi bien à la surveillance on line qu'à la surveillance périodique effectuée lors de rondes selon un calendrier préétabli.

L'industrie lourde, généralement utilisatrice de turbomachines, a souvent recours à l'ensemble des deux technologies afin de réaliser une surveillance vibratoire performante de son outil de production.

III.4 L'importance de l'analyse vibratoire pour la détecter de la cavitation dans une machine tournante

Les machines réelles ne sont jamais parfaites: défauts de fabrication, jeux de fonctionnement, paramètres de fonctionnement (température, vitesses de rotation).

La vibration dépend des conditions de fonctionnement. Le signal vibratoire contient des informations sur les efforts engendrés par le fonctionnement de la machine, mais aussi sur l'état mécanique des structures. Il permet par conséquent d'avoir une image des contraintes interne et de diagnostiquer un certain nombre de défauts de fonctionnement

Mais en raison même de la richesse des renseignements qu'il peut apporter, il n'est en général pas directement utilisable. Il contient trop d'informations qu'il faut traiter et trier.

Le matériel de mesure enregistre le signal vibratoire. En fonction des besoins de l'analyse, on définit ensuite des indicateurs calculés à partir de ce signal. L'évolution de ces indicateurs renseigne sur l'usure de la machine.

En conclusion, les vibrations et les bruits sont des indicateurs objectifs de l'état de santé des matériels comportant au moins une pièce en mouvement. Ces indicateurs sont en étroite corrélation avec les balourds, les désalignements, les défauts d'engrènement, les usures, les déformations, etc...

Ainsi, le suivi vibratoire apporte la connaissance de l'état réel de la machine. A tout moment, il permet de suivre son évolution donc de programmer l'arrêt du système en tenant compte de la production :

- ☼ De la disponibilité de l'équipe d'intervention
- ☼ De l'approvisionnement des pièces de rechange

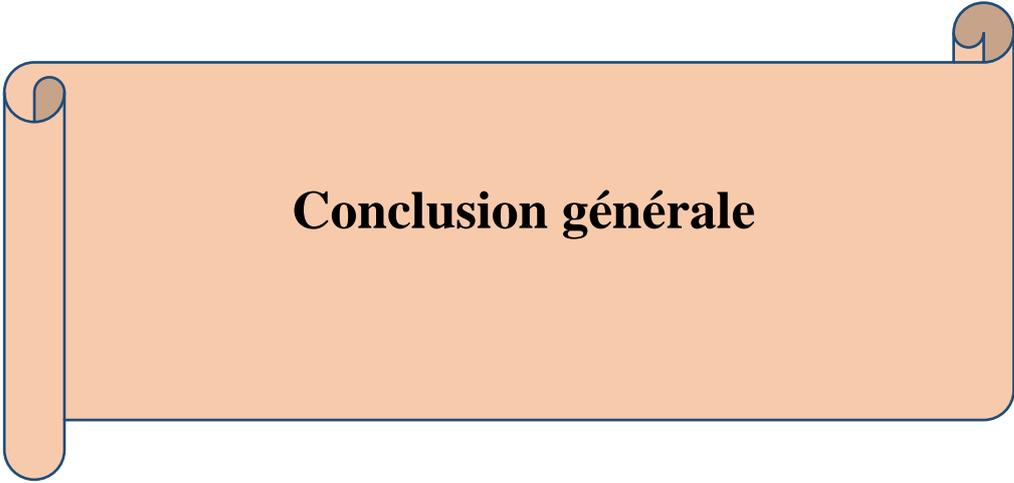
En outre, ce suivi permet :

- ☼ De supprimer les arrêts pour inspections et visites
- ☼ De détecter précocement les risques de défaillance
- ☼ De mieux planifier les interventions
- ☼ De réduire la durée et l'importance des interventions donc l'indisponibilité de l'outil de production.
- ☼ Donc par conséquent de réduire les couts directs et l'indirects de maintenance

III.5 CONCLUSIONS

La détection de la détérioration précoce d'un roulement est mise en évidence par l'utilisation d'un indicateur de défaut statistique temporelle qui est le kurtosis. Dans le cas du roulement traité, l'évolution du kurtosis a été étudiée pour différentes gammes de fréquences de rotation. Cette étude a permis d'arriver aux conclusions suivantes :

- Le kurtosis semble bien adapté à la surveillance de certains éléments de machines tournantes, à condition d'avoir une bonne qualité de mesure (positionnement des capteurs)
- Le kurtosis permet à l'utilisateur de disposer d'un outil particulièrement adapté à la surveillance de chocs périodiques et de quantifier le caractère impulsionnel d'un signal ;
- Il permet aussi de détecter les problèmes de lubrification des machines. Lors d'une augmentation de ce paramètre.



Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce mémoire, une présentation des différents types de pompe et des stations de pompage. Par la suite, une définition du phénomène de la cavitation a été énoncé en précisant ce phénomène est problème majeur au niveau des stations de pompage. Finalement, des solutions à ce sérieux problème, par la déclinaison de différents systèmes de protection contre la cavitation. La méthode mettant en œuvre l'analyse vibratoire a été finement décrite et précisée. En effet, elle s'avère l'une des méthodes les plus utilisées pour détecter le dysfonctionnement des machines et à suivre de leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique.

La détection de la détérioration précoce d'un roulement est mise en évidence par l'utilisation d'un indicateur de défaut statistique temporelle qui est le kurtosis. Dans le cas du roulement traité, l'évolution du kurtosis a été étudiée pour différentes gammes de fréquences de rotation. Cette étude a permis d'arriver aux conclusions suivantes :

Le kurtosis semble bien adapté à la surveillance de certains éléments de machines tournantes, à condition d'avoir une bonne qualité de mesure

Références bibliographiques

[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] "Instruction pour Expérience PT 500.17 Jeu d'Accessoires: Cavitation dans les Pompes", par Équipement pour l'Enseignement Technique G.U.N.T. GerätebauGmbHFahrenberg 14

D-22885 Barsbüttel Germany, Allemagne, 10/2004.

[4] Rasolofondraire L., "Mise en œuvre des méthodes paramétriques adaptatives pour la surveillance d'une machine de production par analyse vibratoire", Thèse de doctorat de l'université de Reims Champagne-Ardenne, Déc. (1995).

[5] Nelias D., "Contribution à l'étude des roulements. Modélisation globale des roulements et avaries superficielles dans le contact EHD pour des surfaces réelles ou indentées", Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées de Lyon. Université Claude Bernard-Lyon I, déc. (1999).

[6] SKF, assistance technique. Les lubrifiants et les outils SKF. Pour un fonctionnement sans problème, avril (1999).

[7] des Forges X., "Méthodologies de surveillance en fabrication mécanique. Application de capteur intelligent à la surveillance d'axe de machine outil", Janv. (1999).

[8] Chaïb R., Meziani S., Verzea I., "Management de la maintenance conditionnelle. Etude de cas : surveillance des roulements par analyse vibratoire", Buletinul Institutului Politehnic Iasi, Tomul XLVII, Sectiunea VIII, Fasc.1-2, Iasi, Romania, (2002).

[9] Boulenger A., Pachaud C., "Surveillance des machines par analyse des vibrations. Du dépistage au diagnostic", AFNOR, 2ème Tirage, (1998).

[10] Morel J., "Vibration des machines et diagnostic de leur état mécanique", Eyrolles (1992).

[10] Poizat Framatone Ph., "Diagnostic, le facteur défaut pour la surveillance des roulements", Maintenance & entreprise, N° 458, janv.- fév. (1993).