

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Etude de la formation des poches d'air dans la cavitation.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0022-14

APA Citation ( APA توثيق ):

Ziane, Takieddine (2014). Etude de la formation des poches d'air dans la cavitation[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option : Alimentation en Eau Potable**

**THEME DU PROJET :**

**ETUDE DE LA FORMATION DES POCHEs D'AIR DANS  
LA CAVITATION**

**PRESENTE PAR :**  
**ZIANE Takieddine**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M <sup>r</sup> KHODJET-KESBA Omar	Professeur	Président
M <sup>r</sup> HADJSADOK Ahmed	M.C.B	Examineur
M <sup>me</sup> AMMOUR Fadila	M.A.A	Examinatrice
M <sup>r</sup> HEBBOUCHE Abdelhamid	M.A.A	Examineur
M <sup>me</sup> MOKRANE Wahiba	M.A.A	Promotrice

**Décembre - 2014**

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier avant tout DIEU le tout puissant de m'avoir donné le courage et les moyens nécessaires d'accomplir ce modeste travail en vue de l'obtention de mon diplôme.

Par la même occasion, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont chère et qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail à savoir :

- ✧ Ma promotrice M<sup>me</sup> MOKRANE.W, qui m'a beaucoup aidé par sa disponibilité quotidienne, ses orientations et ses précieux conseils, et qui m'a proposer ce sujet et m'a apporter beaucoup de détails nécessaires pour son élaboration;
- ✧ Tous les membres de jury qui me feront l'honneur d'examiner et de juger mon travail ;
- ✧ Tous les enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique qui ont participé à ma formation ;
- ✧ Tous les personnels de la bibliothèque qui m'ont beaucoup aidé et orienté durant ma recherche au prés de leur service ;
- ✧ Tous les ami(e)s de l'ENSH, et de la cité soumma N°3 qui vont beaucoup me manquer ;
- ✧ Tous les membres de ma famille qui m'ont tant encouragé et soutenue tout au long de mon cursus scolaire et universitaire, particulièrement à mon cher père et ma cher mère, qui sans eux je n'aurai pas eu l'énergie nécessaire pour parvenir à la fin de mon cycle.

## *Dédicace*

Du fond du cœur, je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

- A ma très chère mère qui est ma protection de toujours.
- A mon père qui a consacré sa vie pour que je gagne la mienne.
- A mes frères.
- A toute la famille *ZIANE et BENHAOUA*.
- A mon meilleur ami, le frère de toujours, Rabi3.
- A tous mes amis : Mostefa, Wahab, Massi, Anis, Amine, Seifou, Chocho, Abderrahmane, Yousef, Yassine, Piqué, Sofiane, Messoud, Idris, Djaloul, Chamso, Issa, Zaki, Pato, Latif, et à tous les autres sans exception.

## ملخص

نهدف من خلال هذه المذكرة دراسة تشكل كريات الهواء أثناء ظاهرة التجويف ومدى تأثير هذه الكريات على آلات ضخ المياه وكذلك الأنابيب حيث قمنا بدراسة عامة عن ظاهرة التجويف والنتائج المترتبة عنها ثم تعرفنا على كيفية و حالات تشكل كريات الهواء أثناء هذه الظاهرة كذلك قمنا بتجارب مخبرية عن ظاهرة التجويف وتحليل نتائج هذه التجارب و في الأخير أعطينا بعض الطرق والحلول المناسبة لتفادي الأخطار الناجمة عن هذه الظاهرة

## Résumé

Nous visons par ce mémoire à étudier la formation des bulles d'air durant le phénomène de cavitation, et à quel point ces bulles peuvent affecter les machines du pompage d'eau ainsi que les tubes.

Dans ce sens nous avons commencé par une étude générale du phénomène de cavitation ainsi que ces conséquences , pour aborder ensuite la façon et les cas de formation des bulles d'air durant ce phénomène.

Parallèlement nous avons effectué des expériences sur le phénomène tout en analysant leurs résultats pour donner enfin un ensemble de manières et des solutions pour éviter les dangers émergeant de ce phénomène.

## Abstract

This paper aims to study the air bubbles formation during the phenomenon cavitations, and how much these bubbles have an effect on the water pumping machines as well as tubes. That is why we started with a general study of the cavitations phenomenon and its resulted consequences, then we treated the manner and the cases in which air bubbles constitute. Besides that, we experimented the cavity phenomenon in the laboratory, and we analysed the results in order to give manners and solutions that aim to avoid the dangers of this phenomenon

## **Chapitre I : Généralités sur le phénomène de cavitation**

Figure I.1 : Evolution de l'état de l'eau en fonction de la température et de la pression.

Figure I.2 : Evolution de l'état de l'eau en fonction de la température et de la pression.

Figure. I.3 : Dispositif de mise en évidence de la cavitation

Figure I.4 : Apparition de bulles de cavitation sur les pales de l'hélice

Figure I.5: Illustration de cavitation par poches

Figure I.6: Illustration de cavitation de tourbillon

Figure I.7: Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge

Figure I.8: Influence du diamètre de la roue sur le NPSHr

Figure I.9 : Variation du  $NPSH_{requis}$  et  $NPSH_{disponible}$  avec le débit circulé par la pompe

Figure I.10: Détérioration de pièces mécanique soumises à une exposition prolongée de la cavitation

Figure I.11: Érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge.

## **Chapitre II : Etat de connaissance sur la formation des poches d'air**

Figure II.1 : Schéma de formation des poches cavités

Figure II.2 : Condition de développement d'une poche de cavitation

Figure II.3 : Illustration du régime stable

Figure II.4 : Illustration du régime instable

Figure II-5: Formation des bulles de cavitation dans le milieu liquide

Figure II-6:: Illustration d'une réduction soudaine de la section transversale d'une conduite

## **Chapitre III : Les essais expérimentaux**

Figure III.1-Appareil de démonstration de la cavitation EH505

Figure III.3 : sections transverse et longitudinale du rota mètre.

Figure III.4 : graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du premier essai.

Figure III.5 : graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du deuxième essai

Figure III.6: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du troisième essai

Figure III.7: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du quatrième essai.

Figure III.8: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du cinquième essai.

Figure III.9: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du sixième essai.

Figure III.10: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du septième essai.

Figure III.11: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du huitième essai.

Figure III.12: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du neuvième essai.

Figure III.13: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du dixième essai

Figure III.14: augmentation de la longueur de cavitation en fonction de pression

Figure III.15: augmentation de la longueur de cavitation en fonction de pression

#### **Chapitre IV : Les moyennes de protection**

Figure IV.1: Utilisation d'un inducteur

Figure IV.2 : la ventouse

Figure IV.3 : les types de ventouse

Figure IV.4 : Circulation de l'air.

Figure IV.5- Ventilation d'air.

Figure IV.6- Prise d'air.

## **Liste des tableaux**

Tableau III.1: tableau récapitulatif des résultats du premier essai.

Tableau III.2: tableau récapitulatif des résultats du deuxième essai.

Tableau III.3: tableau récapitulatif des résultats du troisième essai.

Tableau III.4: tableau récapitulatif des résultats du quatrième essai.

Tableau III.5: tableau récapitulatif des résultats du cinquième essai.

Tableau III.6: tableau récapitulatif des résultats du sixième essai.

Tableau III.7: tableau récapitulatif des résultats du septième essai.

Tableau III.8: tableau récapitulatif des résultats du huitième essai.

Tableau III.9: tableau récapitulatif des résultats du neuvième essai.

Tableau III.10: tableau récapitulatif des résultats du dixième essai.



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

## **Chapitre I : Généralités sur le phénomène de cavitation**

I-1- Définition de la cavitation.....	3
I-2-Phénomènes physiques.....	3
I-3- Types de cavitations .....	5
I-3-1- La cavitation à bulles séparées .....	6
I-3-2- La cavitation à poches .....	6
I-3-3- La cavitation de mélange .....	7
I-3-4- La cavitation de tourbillon d'extrémité .....	7
I-3-5- La cavitation d'entrefer .....	7
<b>I-4- La cavitation dans les machines tournantes (les turbopompes).....</b>	<b>7</b>
I-4-1- Le NPSH .....	9
I.4.1.1. NPSH requis.....	10
I.4.1.2. NPSH disponible.....	10
I-4-2- Condition de non cavitation .....	12
I-5- Conséquences de la cavitation .....	13
I-5-1- Introduction .....	13
I-5-2- Chutes de performances .....	13
I-5-3- Bruit et vibration :.....	13
I-5-4- Erosion .....	14
I-5- Calage de la pompe .....	15
I.5.1- Installation en aspiration .....	15
I.5.2- Installation en charge .....	15
I.6 -Utilisation de la cavitation.....	16
Conclusion .....	17

## **Chapitre II : Etat de connaissance sur la formation des poches d'air**

Introduction .....	18
II.1-Dynamique de la poche de cavitation .....	19
II.2- Morphologie .....	20
II.3- Stabilité.....	20
II.3.1 -Le régime stable.....	20

II.3.2 Le régime instable.....	21
II.3.3 Le régime force.....	22
Conclusion .....	24

### **Chapitre III : Les essais expérimentaux**

Introduction.....	25
III.1-But de la manipulation.....	25
III.2-Procédé expérimental.....	25
III.2.1-Appareil de démonstration de la cavitation EH505 :.....	26
III.2.2-Venturi mètre.....	26
III.2.3- Rota mètre.....	27
III.3-Les essais expérimentaux.....	27
III.3.1-Premier essai .....	28
III.3.2-Deuxième essai .....	29
III.3.3-Troisième essai .....	30
III.3.4-Quatrième essai .....	31
III.3.5-Cinquième essai .....	32
III.3.6-Sixième essai.....	33
III.3.7-Septième essai .....	34
III.3.8-Huitième essai .....	35
III.3.9-Neuvième essai.....	36
III.3.10-Dixième essai .....	37
III.4-Interprétation des résultats expérimentaux .....	40
Conclusion :.....	41

### **Chapitre IV : Les moyennes de protection**

Introduction .....	42
IV.1-Lutte anti cavitation (Protection des pompes).....	42
IV.1.1-Réduction du bruit et des vibrations.....	42
IV.1.2-Limitation du risque d'érosion.....	42
IV.1.3-Utilisation d'un inducteur.....	42
IV.1.4-Amélioration du NPSH des pompes.....	43
IV.2-Les ventouses .....	44
IV.3-Les types de ventouse :.....	45
IV.4-Fonctionnement :.....	45
IV.5-Principe de fonctionnement suivant fonction :.....	46

IV.5.1- Circulation de l'air.....	46
IV.5.2- Ventilation.....	46
IV.5.3- Prise d'air.....	47
Conclusion :.....	48
Conclusion générale .....	49

## Introduction générale

La formation spontanée de bulles dans un liquide est un phénomène familier : la bouteille d'eau gazeuse que l'on débouche, l'eau qui boue dans une casserole sont deux exemples bien connus. Le premier correspond à la libération de gaz dissous, tandis que dans le second, la formation de bulles de vapeur est engendrée par un apport de chaleur extérieure.

Pour les deux cas, l'évolution du phénomène est lente et facile à observer. Les bulles grossissent en remontant vers la surface pour disparaître à l'air libre.

Or, dans certaines conditions, il existe un autre phénomène apparemment voisin et beaucoup moins connu. En effet, lorsqu'un liquide est soumis à une brusque chute de pression, il peut apparaître des bulles de vapeur dont la durée de vie est de l'ordre de la milli seconde. Cette existence extrêmement brève se manifeste localement par une micro implosion qui, répétée des milliers de fois, peut causer des dommages importants et irrémédiables à certains matériels : c'est le phénomène de **la cavitation**.

Comme il est indiqué précédemment, un liquide est le siège d'une cavitation lorsqu'il est soumis à une dépression suffisamment intense pour qu'un changement de phase liquide vapeur avec formation de bulles se produise.

Mais, il est connu depuis longtemps qu'un liquide parfaitement pur et dégazé peut subir, à la température ordinaire, des dépressions considérables (- 100 atmosphères pour l'eau) sans manifester le moindre signe de décohésion. En fait, dans les conditions habituelles, la cavitation prend naissance à partir de « GERMES » contenus dans les liquides. En plus des gaz dissous, tout liquide à usage industriel contient en suspension des micro bulles de gaz non condensables ou de particules solides pouvant elles-mêmes piéger des micro cavités de gaz.

Ce sont certaines de ces **impuretés** que l'on désigne sous le terme de « germes de cavitation » qui constituent les points faibles des liquides et permettent à la cavitation de se produire.

Le système que nous allons étudier a ceci de fascinant qu'il présente une composition très simple tout en offrant une grande richesse de comportements. Qu'on en juge plutôt : la proposition «une bulle d'air dans l'eau » suffit à définir notre sujet d'étude. Et pourtant, cette simple inclusion gazeuse dans un liquide est à l'origine de phénomènes variés. Donnons en un rapide aperçu.

Pour l'élaboration de notre projet, nous allons effectuer le travail en abordant les chapitres suivants :

Dans le premier chapitre nous commençons par généralités sur le phénomène de cavitation.

Dans le chapitre II, nous passerons à l'état de connaissance sur la formation des poches d'air.

Les essais expérimentaux, l'Interprétation des résultats expérimentaux et les moyennes de protection seront traités dans les chapitres III et IV.

En fin nous terminerons par une conclusion générale.

# Chapitre I :

Généralités sur

le phénomène

de cavitation

**I-1- Définition de la cavitation:**

La cavitation est les formations des petites cavités dans le liquide remplie de gaz et de vapeur suite à une diminution de la pression absolue du liquide sous sa tension de vapeur.

Elle se manifeste dans une section où la pression absolue est la plus faible.

La cavitation se produit quand la pression absolue du liquide s'abaisse au dessous de sa pression de vapeur saturante. La pression de vapeur saturante est fonction de la nature du fluide et de sa température.

La cavitation peut se produire dans le cas d'un liquide au repos ou dans des écoulements de liquide. Un exemple simple de cavitation dans le domaine médical, observable par tous, est le remplissage d'une seringue par aspiration : si l'aspiration est trop forte, on voit apparaître une poche de gaz dans la seringue.

**I-2-Phénomènes physiques**

Si l'on prend l'exemple de l'eau et que l'on regarde l'évolution de son état en fonction de la température, on remarque les faits suivants. A la pression atmosphérique, l'eau sous forme de glace chauffée atteint son point de fusion à  $0^{\circ}\text{C}$  ; elle devient liquide. Si nous continuons à la chauffer, toujours à la pression atmosphérique, elle passe à l'état de gaz par le phénomène d'ébullition à  $100^{\circ}\text{C}$ . [4]

Cette évolution des différents états s'explique par le diagramme suivant (fig.I 1), qui montre qu'en fonction de la température et de la pression, un corps peut se retrouver sous forme solide, liquide ou gazeuse. Par exemple, l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux à  $100^{\circ}\text{C}$  au niveau de la mer. En altitude, on observe un seuil d'ébullition plus bas, du fait d'une moindre pression atmosphérique (proportionnelle à l'altitude). On remarque donc que la pression ambiante influe sur la température de vaporisation. Si l'on se place à une température donnée (par exemple  $37^{\circ}\text{C}$ ), à la pression atmosphérique, l'eau est, on l'a vu, à l'état liquide. D'après la figure 1, on observe qu'il existe un moyen de faire passer l'eau de l'état liquide à l'état gazeux à température constante. Il suffit d'abaisser suffisamment la pression (fig. I.2).

Lorsque cette dépression amenant à la vaporisation du liquide est locale (discontinuité dans le milieu liquide), on parle alors de phénomène de cavitation, qui se manifeste par l'apparition de poches d'air et de bulles. Cette dépression étant focalisée, un rééquilibrage des pressions au sein du fluide se fait très rapidement après formation de la (ou des) bulle(s), entraînant son implosion. Cette implosion brutale est source de bruit.

Ce phénomène violent peut entraîner l'endommagement des surfaces qui ont créé ce phénomène et qui se trouvent à proximité de la bulle de cavitation.

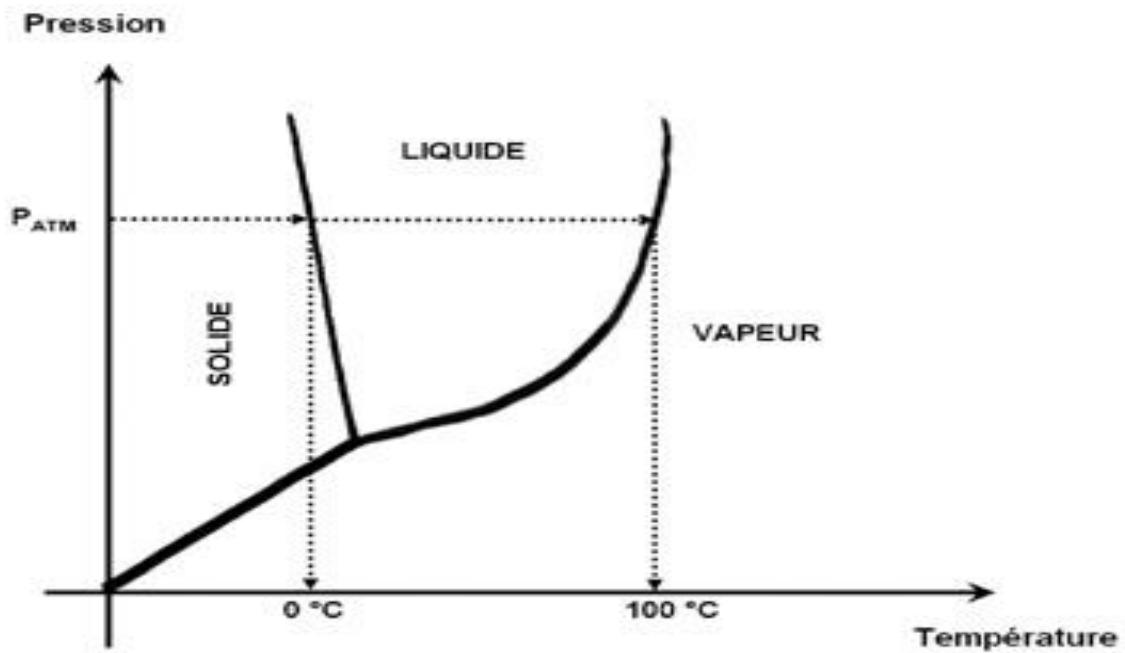


Figure I.1 : Evolution de l'état de l'eau en fonction de la température et de la pression.

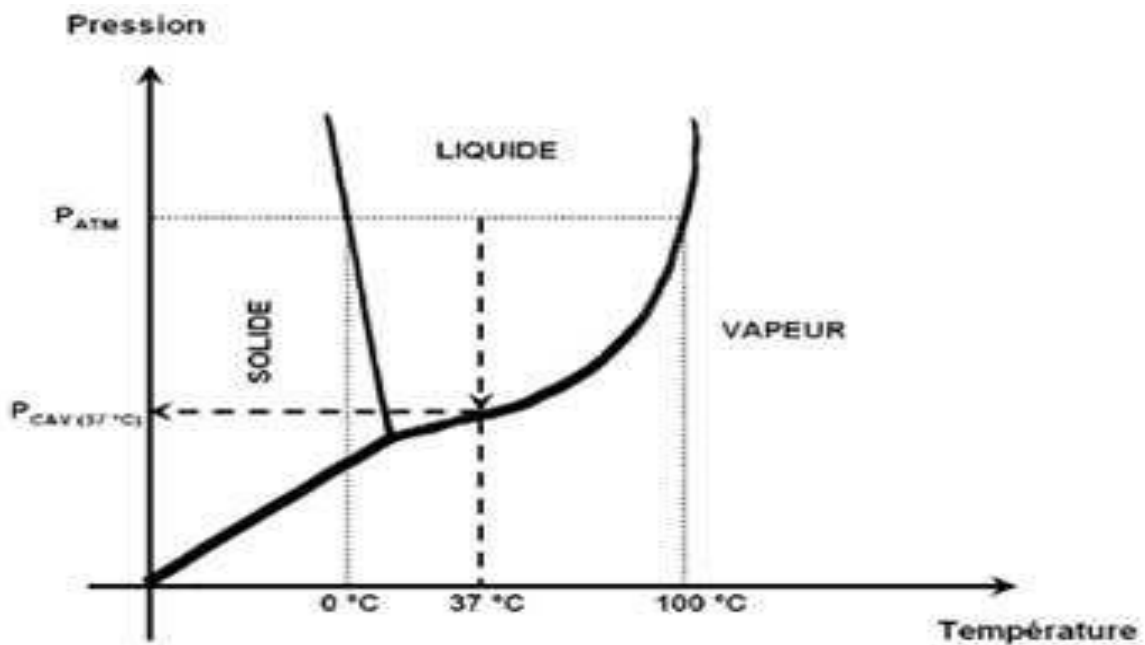
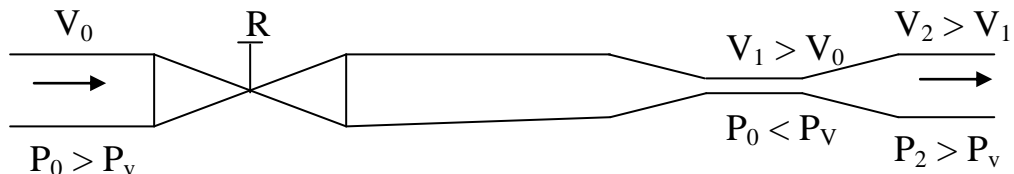


Figure I.2 : Evolution de l'état de l'eau en fonction de la température et de la pression.



Le phénomène de cavitation peut être visualisé par un simple dispositif transparent (Figure.I.3).

Au niveau du rétrécissement local, si on augmente le débit à l'aide d'une vanne, la vitesse augmente la pression  $P_0$  diminue jusqu'à atteindre la pression de vapeur. On aura donc une cavitation.



**Figure. I.3 : Dispositif de mise en évidence de la cavitation [9]**

Dans une pompe centrifuge, le point de plus faible pression ne se trouve pas à l'entrée de la pompe mais sur les aubages.

### I-3- Types de cavitations :

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, consiste à considérer 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.

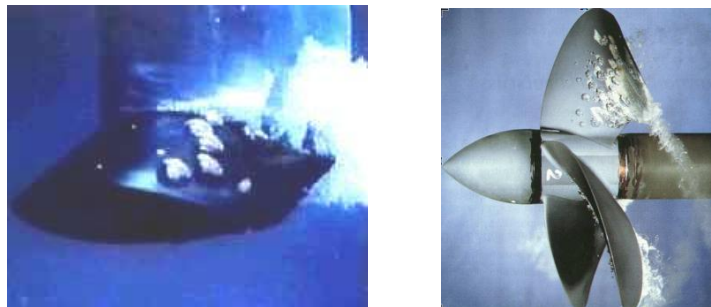
Un autre sous classification possible, il convient de considérer deux grandes familles d'écoulements cavitants, la cavitation à structures séparées, qui nécessite la

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 [18]

**I-3-1- La cavitation à bulles séparées :**

C'est la cavitation typique des profils à faible incidence. On la rencontre sur les profils portants, les hydroptères par exemple, les pâles d'hélices dans la zone de rendement maximal ou les aubes de turbine. Elle se produit près du profil, sous forme de bulles sphériques ou hémisphériques initiées à partir de germes initialement présents dans le liquide.



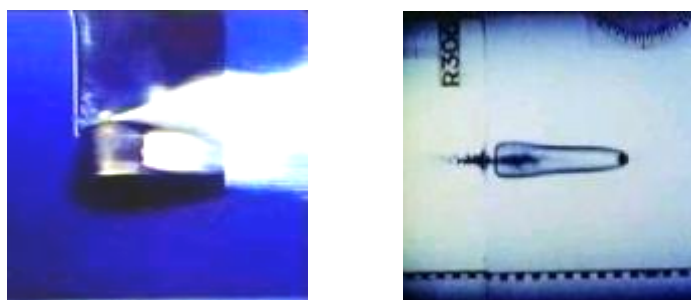
**Figure I.4 : Apparition de bulles de cavitation sur les pales de l'hélice**

**I-3-2- La cavitation à poches :**

Lorsque l'incidence d'un profil augmente, on constate que la cavitation à bulles se transforme brutalement en cavité à poche.

La cavitation à poche reste liée à un décollement laminaire situé en général au bord d'attaque.

L'apparition de la cavitation à poche est liée au nombre de Reynolds. Plus celui-ci est élevé et plus il sera nécessaire d'augmenter l'incidence du profil pour déclencher le décollement laminaire et donc la cavitation à poche. [14]



**Figure I.5: Illustration de cavitation par poches**

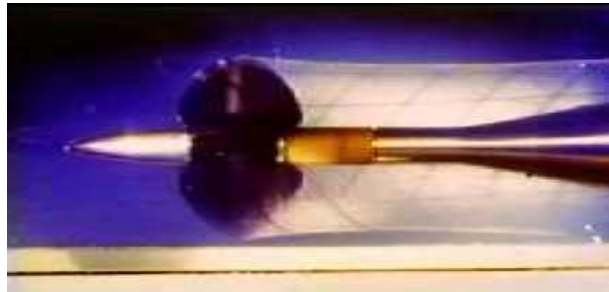
**I-3-3- La cavitation de mélange :**

Ce type de cavitation est extrêmement complexe. C'est en effet le type même d'écoulement dans lequel les chutes de pression sont dues aux fluctuations spatio – temporelles des vitesses d'écoulement.

La cavitation de mélange résulte de l'effet combiné de tous les paramètres caractéristiques des écoulements in stationnaires, viscosité, teneur en germes, temps caractéristiques.

**I-3-4- La cavitation de tourbillon d'extrémité :**

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 I.6: Illustration de cavitation de tourbillon**

**I-3-5- La cavitation d'entrefer :**

La cavitation d'entrefer se produit dans les jeux existant entre les aubages et la ceinture des machines axiales ou hélicocentriques.

Ce type de cavitation est à l'origine des destructions de ceintures des grandes turbines par érosion.

**I-4- La cavitation dans les machines tournantes (les turbopompes)**

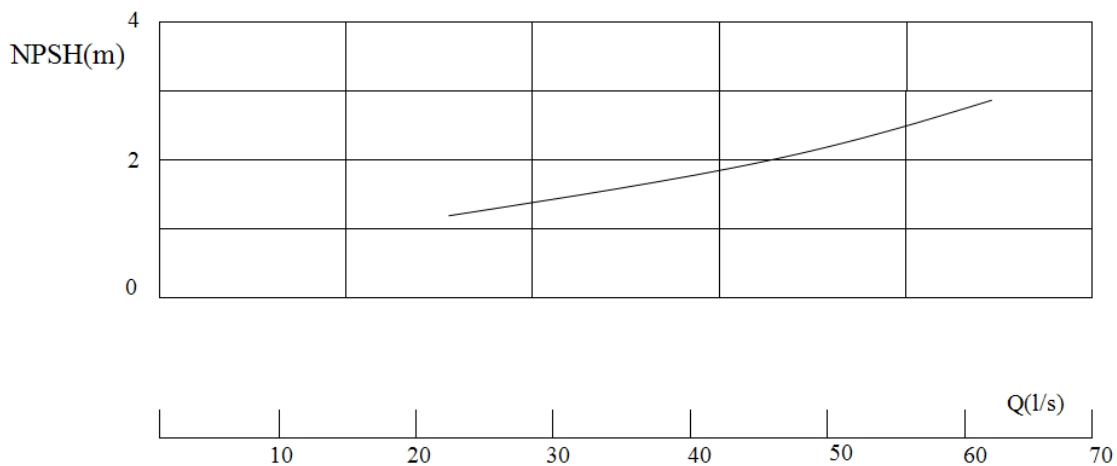
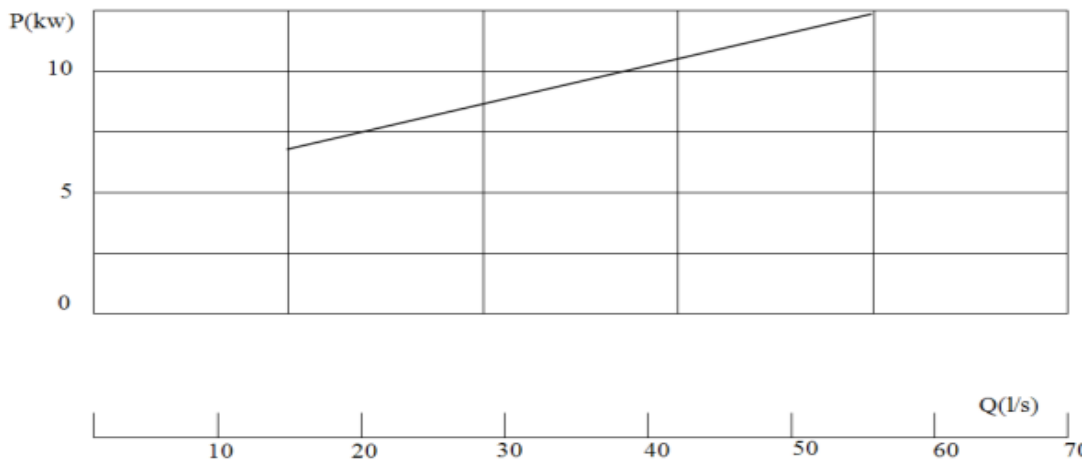
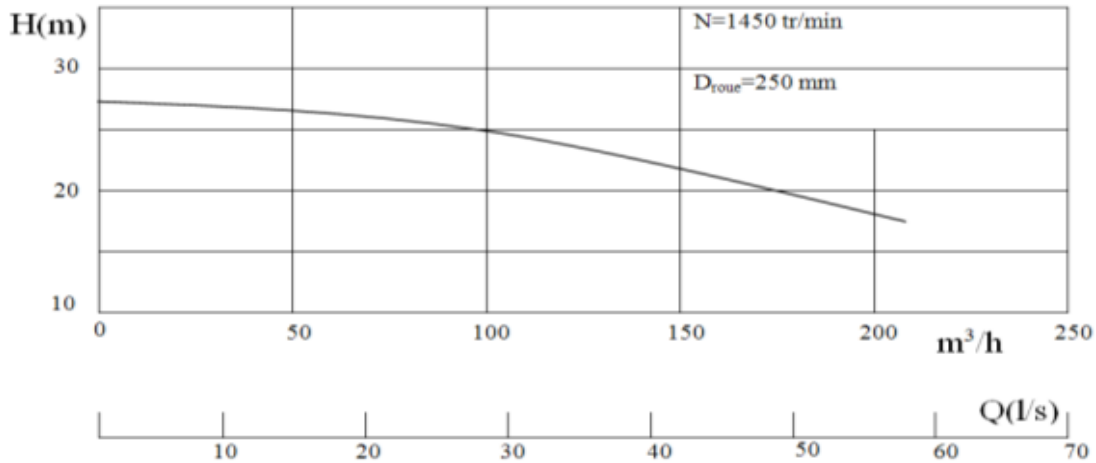
Les pompes sont les machines hydrauliques les plus utilisées dans les applications industrielles. Il est donc apparu intéressant l'influence de la cavitation sur leurs fonctionnements.

Les caractéristiques de ses fonctionnements sont présentées dans les

catalogues des constructeurs par trois courbes.

La première courbe donne la relation entre la hauteur engendrée et le débit pour une vitesse de rotation fixée en régime subcavitant.

La seconde donne la puissance absorbée à cette même vitesse de rotation.



**Figure I.7: Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge**

La troisième courbe est la courbe de NBSH qui donne, en fonction de débit et pour la même vitesse de rotation, les limites de cavitation de la machine, correspondant en générale, à une chute de performance de 3%. [18]

**I-4-1- Le NPSH :**

NPSH (Net Positive Section Head) se traduit en français par « hauteur nette à l'aspiration (NHA).

Le NPSH est égal à la différence entre la pression absolue totale à l'entrée de la pompe et la tension de vapeur du liquide. [15]

$$NPSH = h_{asp} - h_v \quad (I.1)$$

Soit une pompe centrifuge dont l'axe (supposé horizontal) est une hauteur  $h_A$  au dessus du plan à l'aspiration

Soit  $P_A$  la pression absolue à l'entrée de la roue au point A et  $V_A$  la vitesse en ce même point. Étant la perte de charge totale entre les points C et A d'un filet liquide partant de la surface libre à l'aspiration en C et passant en A.

En appliquant le théorème de Bernoulli au mouvement du liquide entre ces deux points, il vient que :

$$h_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + J_A = \frac{P_a}{\rho g} \quad (I.2)$$

$P_a$  : Pression atmosphérique

**Définition du NPSH :** C'est la pression totale en [m] de colonne liquide pompée déterminée à la bride d'aspiration de la pompe, moins la  $P_v$  du liquide à la température de fonctionnement. [16]

Mathématiquement :

$$NPSH = H_a - \frac{P_v}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a - \frac{P_v}{\rho g} \quad (I.3)$$

Mathématiquement :  $NPSH = H_a -$

$p_v$  : pression de vapeur du liquide.

- $P_a$  : pression d'aspiration de la pompe

- $H_a$  : hauteur
- $V_a$  : vitesse
- $Z_a$  : altitude

} côte aspiration

- $g$  : accélération due à la pesanteur

- $\rho$  : masse volumique,

Dans l'étude des systèmes avec pompe, on définit deux types de NPSH. Le NPSH<sub>d</sub> (disponible), Le NPSH<sub>r</sub> (requis)

#### I.4.1.1. NPSH requis

NPSH<sub>r</sub> requis, C'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 (I.8): le NPSH requis augmente avec le débit  $Q_v$ . Le constructeur des pompes donnent la courbe caractéristique du NPSH<sub>r</sub> [ $NPSH_r=f(Q)$ ] correspondant au diamètre nominal de la roue. Si la roue est rognée le NPSH<sub>r</sub> est modifié. Sa nouvelle valeur peut être approchée graphiquement, comme l'indique la figure suivante.[16]

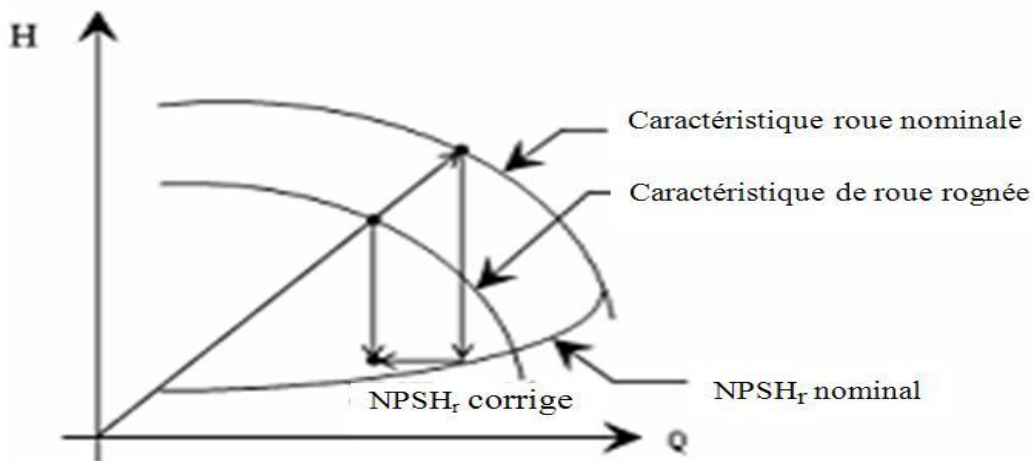


Figure I.8: Influence du diamètre de la roue sur le NPSH<sub>r</sub> [2]

Au dessus d'un certain débit, le phénomène de cavitation est presque inévitable.

#### I.4.1.2. 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]

$$NPSH_d = P_a / \rho g + V^2 / 2g - P_v / \rho g \quad (Z_a = 0 \text{ côte aspiration})$$

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).

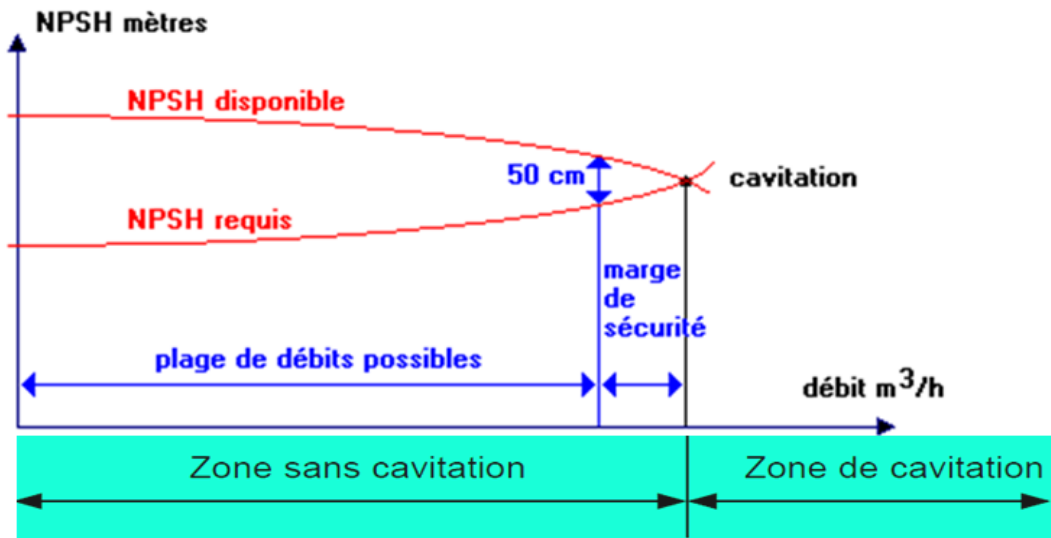
On a donc:

$NPSH_{\text{disponible}} > NPSH_{\text{requis}} \rightarrow$  sans cavitation.

$NPSH_{\text{disponible}} \leq NPSH_{\text{requis}} \rightarrow$  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 de 0,5 m et donc d'avoir :  $NPSH_d > NPSH_r + 0,5$



**Figure I.9 : Variation du  $NPSH_{\text{requis}}$  et  $NPSH_{\text{disponible}}$  avec le débit circulé par la pompe**

D'après la définition de l'N.P.S.H., on a donc deux courbes caractéristiques cavitationnelles (Fig.II.3), le point d'intersection représente le point critique du début de la cavitation.

Le fonctionnement de la pompe peut basculer à gauche ou à droite de ce point en jouant sur les paramètres intervenant dans le  $(N.P.S.H)_r$ , le  $(N.P.S.H)_d$  ou les deux à la fois.

**Remarque :**

$(N.P.S.H)_d$  : c'est une donnée fournie par l'installateur de la pompe

Le  $(N.P.S.H)_r$  : c'est une donnée fournie par le constructeur

**I-4-2- Condition de non cavitation :**

Considérons une pompe centrifuge fonctionnant à une hauteur d'aspiration  $h_a$  au dessus du niveau de la surface libre d'un réservoir R, la pression absolue  $P_{abs}$  à l'entrée de la pompe est :

D'après l'équation de BERNOULLI :

$$\frac{P_0}{\varpi} + V_0^2 / 2g + Z_0 = \frac{P_1}{\varpi} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \Delta H_{0-1} \quad (I.4)$$

D'où :

$$\frac{P_1}{\varpi} = \frac{P_0}{\varpi} + \frac{V_0^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + Z_0 - Z_1 - \Delta H_{0-1}$$

$P_1$  : pression absolue à l'entrée de la pompe en ( $P_a$ )

$P_0$  : pression régnant à la surface d'aspiration en ( $P_a$ )

$V_0$  : vitesse de l'eau dans le réservoir d'aspiration ( $V_0 = 0$ ) en (m/s)

$V_1$  : vitesse de l'eau à l'entrée de la pompe en (m/s)

$Z_0 = 0, Z_1 = h_a \quad Z_0 - Z_1 = h_a$

$\Delta H_{0-1}$  : Pertes de charge entre les sections (0) et (1) (en mètre de colonne d'eau)

$\varpi$  : Poids volumique de l'eau en ( $N/m^3$ ).

$\varpi$  :  $\rho g$  ou  $\rho$  masse volumique de l'eau en ( $Kg/m^3$ )

$g$  : l'accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

L'équation N après simplification devient :

$$\frac{P_1}{\varpi} = \frac{P_0}{\varpi} - V_1^2 / 2g - h_a - \Delta H_{0-1}$$

$$P_1 = P_0 - \varpi(V_1^2 / 2g + h_a + \Delta H_{0-1})$$

Remarque : si le réservoir R est ouvert à l'air libre

$P_0 = P_{atm}$  (pression atmosphérique)

$P_{atm} = 10.33$  m.c.e au niveau de la mer

( $Z = 0$ ) et décroît si l'altitude augmente d'où l'équation s'écrit :

$$\frac{P_{atm}}{\varpi} = 10.33 - 0,0012Z \text{ en m.c.e} \quad [9] \quad (I.5)$$

en remplaçant  $P_0$  par  $P_{atm}$ , l'équation devient :



$$P_1 = P_{atm} - \varpi(V_1^2/2g + h_a + \Delta H_{0-1})$$

$$h_a = 10.33 - 0.0012 Z - P_1/\varpi - V^2/2g - \Delta H \quad (I.6)$$

A partir de cette équation, il faut que la hauteur d'aspiration ne dépasse pas 10,33 dans les installations à l'air libre.

Donc, pour éviter la cavitation, il faut que la pression en aspiration soit supérieure à la tension de vapeur.

### **I-5- Conséquences de la cavitation :**

#### **I-5-1- Introduction :**

Le phénomène de cavitation a une grande importance dans la conception et le fonctionnement de nombreux composants industriels tels que turbine, pompe, vanne et plus généralement chaque fois qu'un écoulement liquide comporte des zones où la pression locale instantanée tombe du voisinage de la tension de vapeur ; la cavitation se manifeste le plus souvent par ses effets nocifs : chutes de performances, érosion, bruits et vibrations.

On va citer dans ce qui suit les principales conséquences de la cavitation dans le but de maîtriser et si possible de repousser les contraintes qu'elle impose dans le dimensionnement des composants industriels.

#### **I-5-2- Chutes de performances :**

Considérons une pompe centrifuge fonctionnant à son point de fonctionnement normal, avec une hauteur d'aspiration  $h_a$  inférieure à la hauteur d'aspiration limite en ce point, la cavitation ne se manifeste pas.

Supposant que les pertes de charges sont les mêmes en ouvrant la vanne ; par l'accroissement du débit on constate que le point de fonctionnement se déplace jusqu'à un tel point. La hauteur d'aspiration atteint la valeur limite d'aspiration aussi la tension de vapeur atteint la valeur limite d'où on aura formation des bulles.

En ouvrant encore la vanne, on remarque la production de « cavités » dues à des bulles ou poches de vapeur dans la masse liquide en écoulement et génératrice de choc très violent.

Les courbes caractéristiques  $H(Q)$ ,  $P(Q)$  et  $\eta(Q)$  subissent une chute brutale à partir du moment où se produit la cavitation.

#### **I-5-3- Bruit et vibration :**

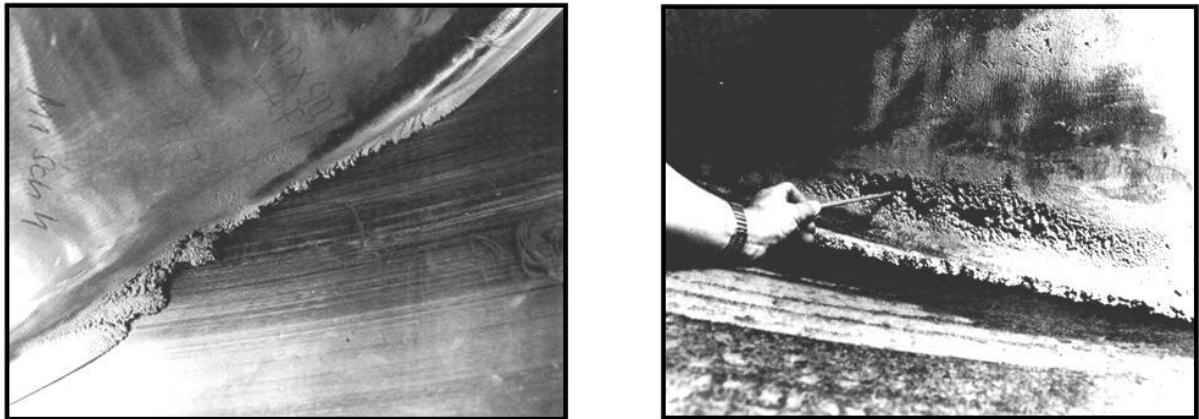
Le problème de bruit et des vibrations causé par les installations de pompage n'est pas nouveau, il apparaît de façon plus aigüe aujourd'hui, en raison de l'exigence de confort qui se développe tant pour le personnel d'exploitation que pour le voisinage. La production de cavitation entraîne toujours les bruits qui sont en fonction de leur intensité.

Certains auteurs ont défini la génération de bruit par la cavitation, la résultante de plusieurs phénomènes caractéristiques spatio – temporels très différents :

Transition liées à l’implosion des bulles et leurs rebonds, résultat du milieu liquide et les parois, résonance de bulles, effets basses fréquences liés à la structure diphasique des nuages de bulles, poche. [14]

**I-5-4- Erosion :**

L’érosion de cavitation résulte de l’accumulation des produits par collapses de structure de vapeur près d’une paroi solide. Cette agression se traduit au début du phénomène par l’aspiration des petits indentations dans le matériau sans perte de masse, puis à mesure que le nombre d’impacts augmente, par dégâts microscopiques pouvant, dans certains cas construire à des dysfonctionnements des composants, ou même de destruction irréversible et dangereux d’où il résulte à la diminution de la durée de vie de la roue.[12]



**Figure I.10: Détérioration de pièces mécanique soumises à une exposition prolongée de la cavitation.**



**Figure I.11: Érosion par cavitation d'une roue de pompe**

centrifuge.

### I-5- Calage de la pompe :

Caler une pompe c'est à dire installer correctement la pompe par rapport au plan d'eau d'aspiration (en charge ou en aspiration) afin d'éviter tout risque de cavitation.

C'est à dire, déterminer la côte exacte de l'axe de la pompe, d'où on doit déterminer la hauteur d'aspiration admissible.

#### I.5.1- Installation en aspiration :

On a :

$$(NPSH)_d = \frac{P_{at}}{\varpi} - \frac{P_V}{\varpi} - (h_a + \frac{V_1^2}{2g} + \Sigma h_{asp}) \quad (I.7)$$

$$\Sigma h_{asp} = \Sigma h_{asp}^{lin} + \Sigma h_{asp}^{sin g}$$

On suppose que :

$$(NPSH)_d = (NPSH)_r + 0,1$$

Donc on aura :

$$(NPSH)_r + 0,1 = \frac{P_{at}}{\varpi} - \frac{P_V}{\varpi} - (h_a^{adm} + \frac{V_a^2}{2g} + \Sigma h_{asp})$$

$$h_a^{adm} = \frac{P_{at}}{\varpi} - \frac{P_V}{\varpi} - \frac{V_a^2}{2g} - \Sigma h_{asp} - (NPSH)_r - 0,1 \quad (I.8)$$

$$\text{Alors } \nabla_{\text{axe de la pompe}} = \nabla_{\text{min}} + h_a^{ad} - r \quad (I.9)$$

#### I.5.2- Installation en charge :

$$(NPSH)_d = \frac{P_{at}}{W} - \frac{P_v}{W} - (-h_a + \frac{V_a^2}{2g} + \Sigma P_{asp}) \quad (I.10)$$

On suppose :  $(NPSH)_d = (NPSH)_r + 0,1$

Donc :

$$(NPSH)_r + 0,1 = \frac{P_{at}}{\varpi} - \frac{P_V}{\varpi} - (-h_a^{ad} + \frac{V_a^2}{2g} + \Sigma h_{asp})$$

$$\Sigma h_{asp} = \Sigma h_{asp}^{lin} + \Sigma h_{asp}^{sin g}$$

$$h_{asp}^{ad} = (NPSH)_r + 0,1 - \frac{P_{at}}{W} + \frac{P_v}{W} + \frac{V_a^2}{2g} + \Sigma h_{asp} \quad (I.11)$$

$$\nabla_{\text{axe de la pompe}} = \nabla_{\text{min}} - h_a^{ad} + r \quad (\text{I.12})$$

Avec :

$h_a^{ad}$  : La hauteur d'aspiration admissible

$\nabla_{\text{axe de la pompe}}$  : la côte exacte de l'axe de la pompe.

$\nabla_{\text{min}}$  : La côte du plan d'eau.

$r$  : Réserve de sécurité

$r = (0,1 \div 0,3)$  m.

### I.6 -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 de débit de liquide
- aide 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)[18]

**Conclusion :**

Le fonctionnement en régime cavitant entraîne des effets nocifs sur les pompes, les écoulements en charge et les écoulements dans les coursiers, d'où la prévention contre ces effets s'avère nécessaire afin de maintenir toujours le fonctionnement au régime optimal.

Nous pouvons ainsi énumérer quelques conséquences de la cavitation à savoir que l'érosion importante des parois pourra détruire très rapidement les organes de la pompe (roue, diffuseur et aubes).

L'élimination de ce phénomène consiste à sa compréhension et alors la maîtrise des facteurs le provoquant.

# Chapitre II :

Etat de

connaissance sur

la formation des

poches d'air

**Introduction :**

La dynamique de la poche de cavitation partielle revêt une importance primordiale dans le processus de l'érosion de cavitation. En effet, le mécanisme de génération des cavités tourbillonnaires, responsables de l'érosion de cavitation, et par suite, l'intensité et le taux d'érosion, est fortement conditionné par le comportement dynamique de la poche de cavitation.[6]

Plusieurs travaux ont déjà été consacrés à la dynamique de la poche de cavitation et au phénomène des cavités érosives, mettant en évidence les influences de l'angle d'incidence, du nombre de Reynolds et de la rugosité de l'aube au bord d'attaque.

DUPONT a effectué des mesures de profils de vitesse par anémométrie laser dans un écoulement autour d'un profil bidimensionnel et en a déduit un schéma de formation des cavités transitoires que nous avons reporté Figure 5.1. Le cisaillement intense qui règne à l'interface eau-vapeur est générateur de vorticités qui s'organise selon des lignes perpendiculaires à l'écoulement. [7]

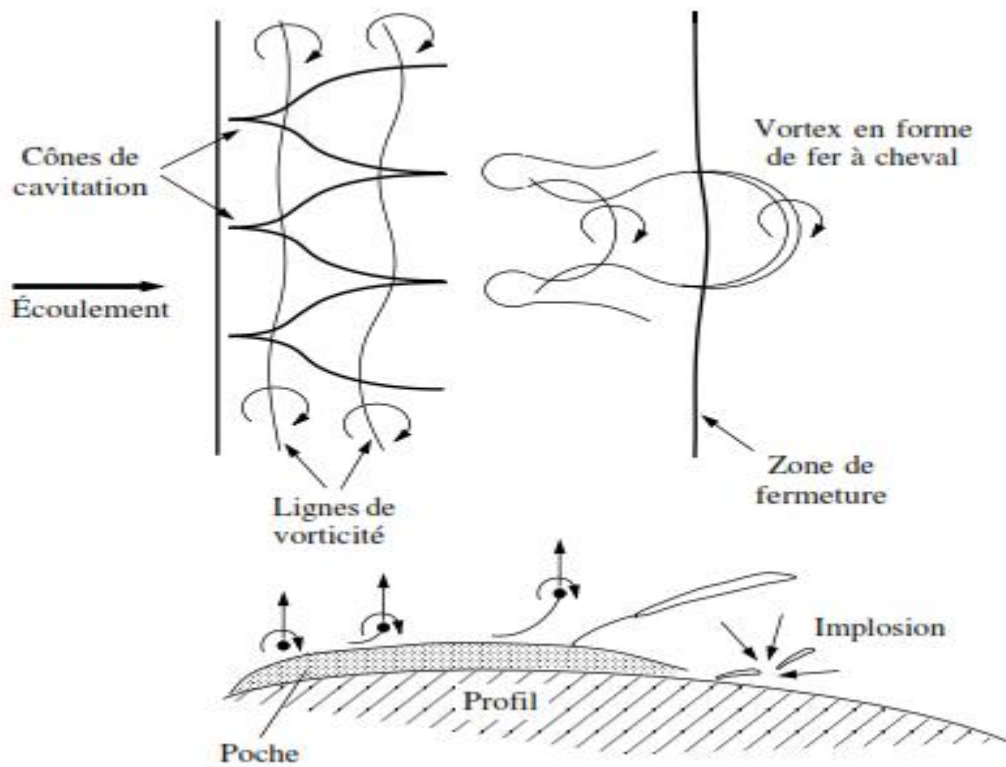
Les spectres de vitesse montrent que les pulsations de la poche sont gouvernées par des lois. L'auteur relève une forte influence du nombre de Reynolds sur les dimensions de la poche de cavitation: pour une augmentation de la vitesse amont de 15 à 40 m/s, l'allongement de la poche peut atteindre 75%.

Par ailleurs, l'interaction entre la dynamique de la poche de cavitation et la couche limite a reçu une attention particulière de la part des chercheurs. ARAKERI a étudié les effets visqueux sur le développement d'une poche de vapeur attachée et a montré que le point de détachement se situe en aval du décollement laminaire. [1]

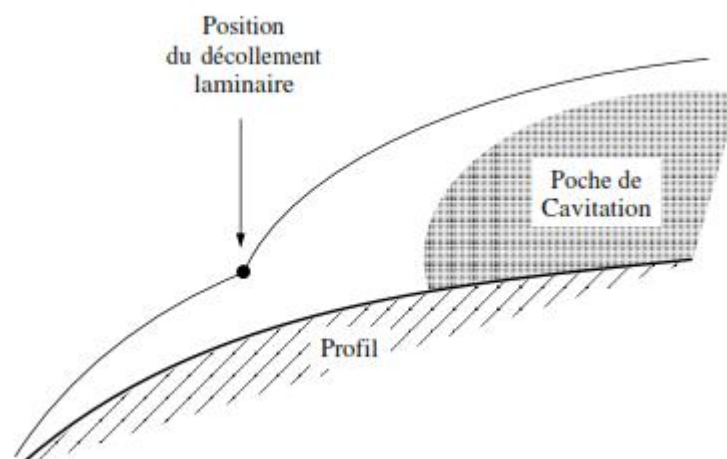
Ce dernier constitue une condition nécessaire pour le développement d'une poche de vapeur attachée, Figure ont longuement étudié la dynamique de la poche de vapeur sur différents types de profil et ont confirmé la forte interaction entre la morphologie de la poche de cavitation et celle de la couche limite près du bord d'attaque.[8]

**II.1-Dynamique de la poche de cavitation :**

Les dimensions, la densité spatiale et le taux de génération des cavités érosives sont conditionnées par la dynamique de la poche de cavitation principale. Il en est de même, par conséquent, pour le risque d'érosion. Aussi, nous allons examiner dans ce paragraphe la morphologie, l'homogénéité ainsi que la stabilité de la poche de cavitation.[6]



**Figure II.1 : Schéma de formation des poches cavités**





**Figure II.2 : Condition de développement d'une poche de cavitation****II.2- Morphologie :**

L'observation de la poche de cavitation est entreprise au moyen de visualisations photographiques pour une large gamme de variation des paramètres hydrodynamiques.

On note que le détachement de la poche de cavitation est forme de plusieurs cônes qui se rejoignent pour former la cavité de vapeur.

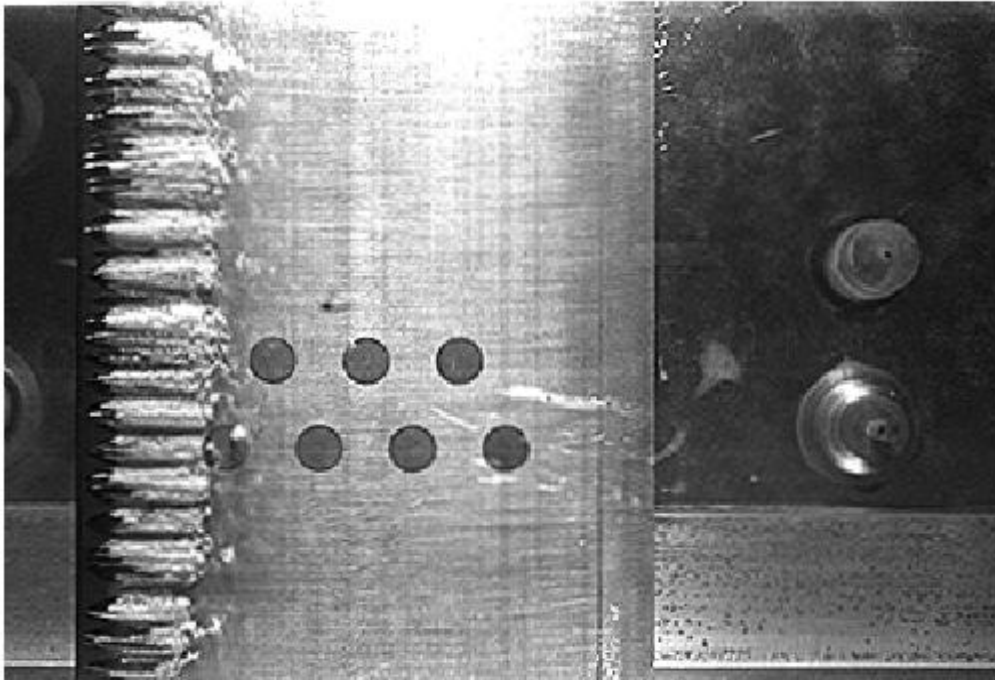
La poche de cavitation présente un aspect transparent près de la ligne de détachement. Plus loin en aval, l'aspect de la poche devient mousseux. La frontière qui marque le changement de l'aspect de la poche de vapeur est en général une courbe tridimensionnelle. Ce changement d'aspect peut être explique par la transition a la turbulence de l'écoulement au voisinage immédiat de la poche de vapeur. [6]

**II.3- Stabilité**

L'observation du comportement de la poche de cavitation conduit à considérer deux régimes différents que nous appellerons: le régime stable et le régime instable.

**II.3.1 -Le régime stable**

Ce régime est caractérisé par une poche de cavitation présentant des pulsations de faibles amplitudes par rapport a sa longueur. Les cavités tourbillonnaires, se détachant de la zone de fermeture, sont de dimensions faibles par rapport aux dimensions de la poche de vapeur. Ces cavités subissent un effondrement dans le voisinage immédiat de la zone de fermeture. La figure II.3 illustre un exemple de la cavitation stable.



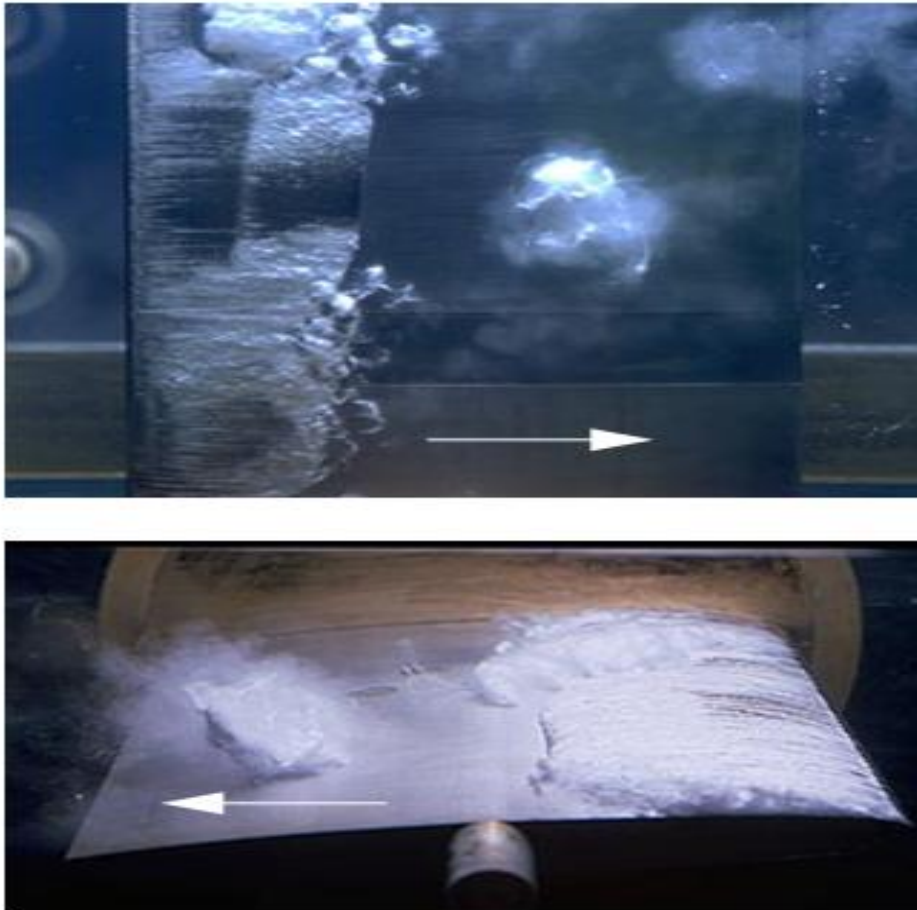
**Figure II.3 : Illustration du régime stable**

### **II.3.2 Le régime instable**

Sous certaines conditions hydrodynamiques, la poche de cavitation présente un comportement fortement instable caractérisé par une augmentation sensible des niveaux de vibrations et du bruit. Dans ce cas, l'amplitude de pulsations de la poche de cavitation est comparable à sa longueur et la zone de fermeture ne peut plus être facilement localisée. La figure 5.4 illustre ce comportement, vue du haut et de côté de la veine d'essai.

Dans ce cas, les cavités transitoires se détachent près du bord d'attaque et leur taille est du même ordre de grandeur que les dimensions de la poche. La cavité principale est constamment détruite et reconstruite et on peut aisément observer le développement du jet rentrant largement commenté dans la littérature.

Plusieurs auteurs désignent le régime instable de la poche de vapeur par la cavitation à nuage de bulles. Cette appellation est motivée par la forte concentration de bulles de vapeur observée autour des cavités transitoires. En effet, la verticité intense de ces cavités constitue un piège pour les micro bulles contenues dans l'eau qui viennent ainsi augmenter le volume de ces cavités.



**Figure II.4 : Illustration du régime instable**

### II.3.3 Le régime force

La poche de cavitation adopte un comportement particulier en présence du couplage hydro-élastique.

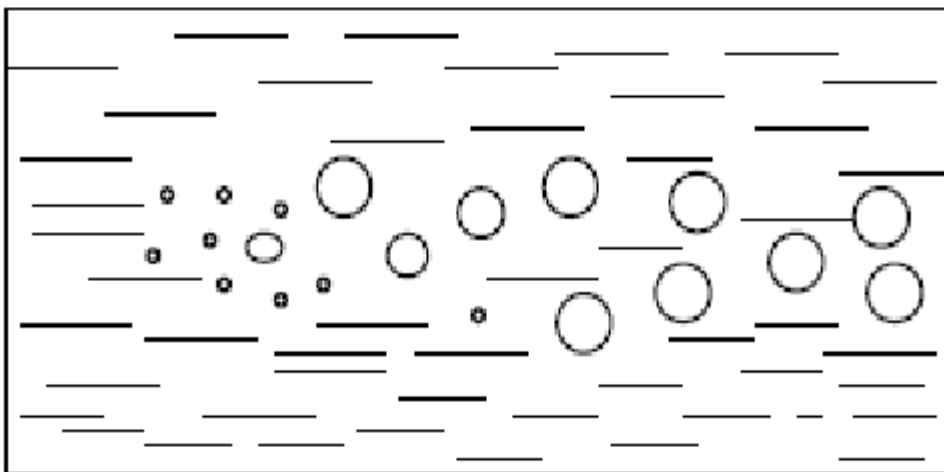
Les vibrations du profil provoquent des pulsations de l'incidence de l'écoulement à la même fréquence. On conçoit aisément que ceci induit des chocs identiques de la poche de cavitation. L'emploi d'un éclairage stroboscopique [(Le stroboscope permet d'observer des phénomènes périodiques dont la fréquence est trop élevée pour l'œil qui ne perçoit pas la discontinuité. Il faut régler la fréquence des flashes sur celle du phénomène qui apparaît alors comme fixe, ou ralenti (en avant ou en arrière) et devient observable)] permet d'effectuer les observations suivantes:

- ❖ Les variations de la longueur de la poche de cavitation s'effectuent de manière synchrone sur toute la largeur du profil
- ❖ A chaque période de pulsations correspond la génération d'un ensemble de cavités tourbillonnaires organisées le long de l'envergure du profil

- ❖ La fréquence des pulsations de la poche et la fréquence de lâcher des cavités tourbillonnaires sont égales et voisines de la fréquence de vibration du profil
- ❖ Les lignes de vorticité générées par la poche de cavitation se confondent avec les tourbillons au bord de fuite du profil

Nous utiliserons l'appellation régime force pour designer le comportement de la poche de cavitation en présence du couplage hydro-élastique.

On parle alors du phénomène de cavitation, qui se manifeste par l'apparition de Poche d'air et de bulles.



**Figure II-5: Formation des bulles de cavitation dans le milieu liquide**

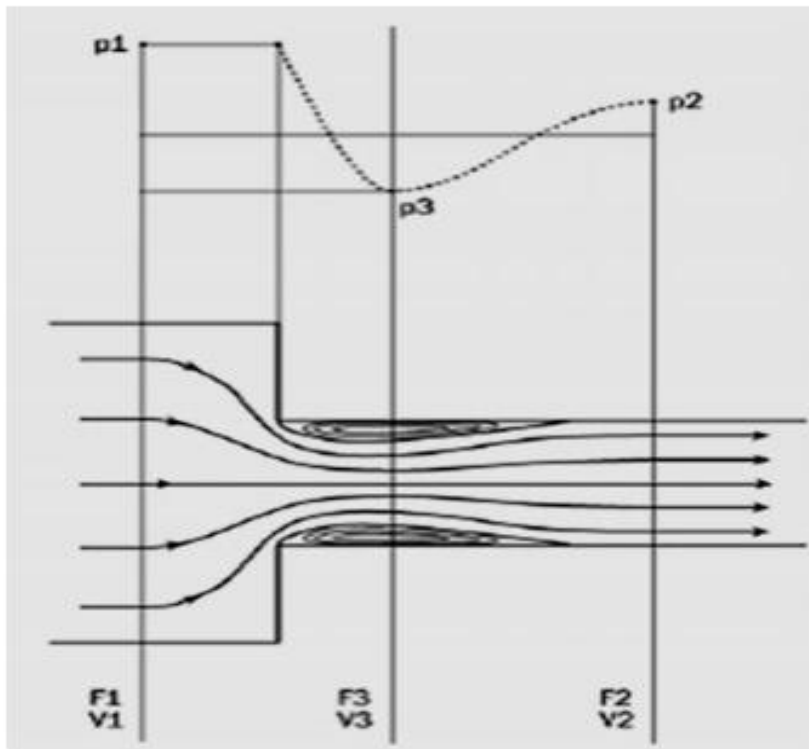
Les endroits les plus critiques où peut se produire la cavitation dans un circuit d'eau sont les réductions et les élargissements soudains de la section transversale, et les changements d'écoulement du flux.

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. [3]

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-6:: Illustration d'une réduction soudaine de la section transversale d'une conduite**

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons donné l'état de connaissance sur le développement d'une poche de cavitation partielle attaché à l'entrée de l'aubage d'une turbomachine hydraulique et dans les écoulements en charge est souvent à l'origine d'une érosion sévère qui peut conduire à l'arrêt prématuré de la machine avec des conséquences économiques considérables

# Chapitre III :

## Les essais expérimentaux

## Introduction :

La cavitation est les formations des petites cavités dans le liquide remplie de gaz et de vapeur suite à une diminution de la pression absolue du liquide sous sa tension de vapeur.

Elle se manifeste dans une section où la pression absolue est la plus faible.

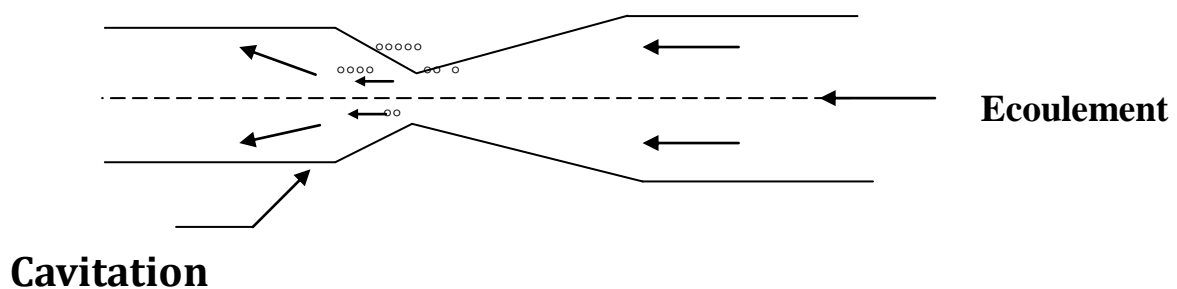
La cavitation se produit quand la pression absolue du liquide s'abaisse au dessous de sa pression de vapeur saturante. La pression de vapeur saturante est fonction de la nature du fluide et de sa température.

Dans ce chapitre on a fait des essais expérimentaux sur la formation des poches d'air dans le phénomène de cavitation ou laboratoire de pompe et station de pompage

## III.1-But de la manipulation :

La visualisation du phénomène de la cavitation est le but de notre manipulation et sa variation est en fonction de la pression et du débit.

Pour cela l'essai se fait dans un venturi mètre.



## III.2-Procédé expérimental :

Ouvrir partiellement la vanne de régularisation de l'écoulement et augmenter la pression de 0.1 bars à chaque fois que l'augmentation du débit a 1.5 bar.

Au début, on augmente les pressions jusqu'au maximum On mesure à chaque fois le débit, la pression et les longueurs de cavitation.

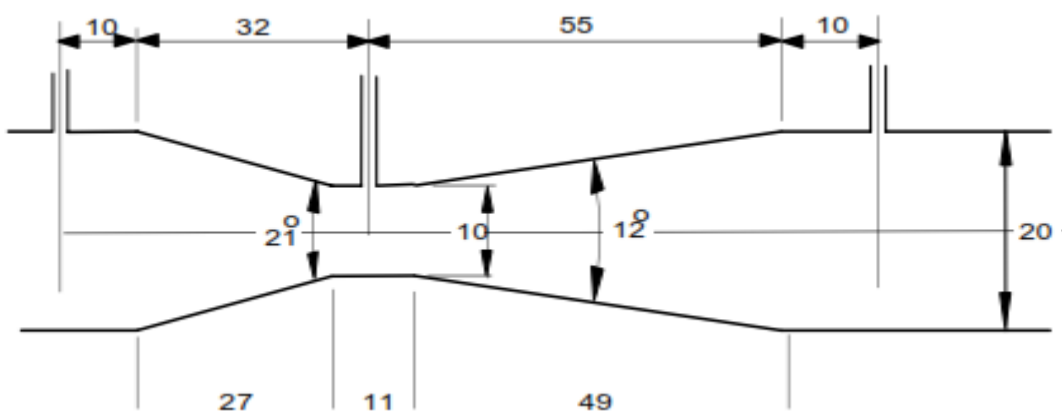
### III.2.1-Appareil de démonstration de la cavitation EH505 :

L'appareil de démonstration de la cavitation EH505 est une première étape importante dans l'étude et la compréhension du phénomène, des travaux plus approfondis peuvent être effectués sur le Cavitem EH505.



Figure III.1-Appareil de démonstration de la cavitation EH505

### III.2.2-Venturi mètre



Le venturi mètre est fabriqué en acrylique transparent et selon le modèle classique 21°-12° convergent- divergent qui constitue la base de la plupart des normes de fabrication



des venturis mètres. Le venturi mètre est conforme aux British Standards BS1042 des venturis mètres pour la mesure du flux en tous points excepté celui de la taille minimale.

### III.2.3- Rota mètre

Le rota mètre est constitué d'un flotteur pouvant se déplacer dans un tube vertical transparent dont le diamètre est légèrement croissant (figure 4). Le déplacement du flotteur est sensiblement proportionnel au débit. Cependant, la théorie qui va suivre est très simplifiée et un rota mètre nécessite normalement un étalonnage.

Le flotteur est alors stabilisé au centre du tube par l'effet gyroscopique dû à la rotation.

Le rota mètre comprend un tube transparent et un flotteur en acier inoxydable qui permettent d'obtenir une indication visuelle du débit en mesurant la position du flotteur relative à la position du tube grâce à une échelle intégrée calibrée de 1.5 à 10 litre/ minute.

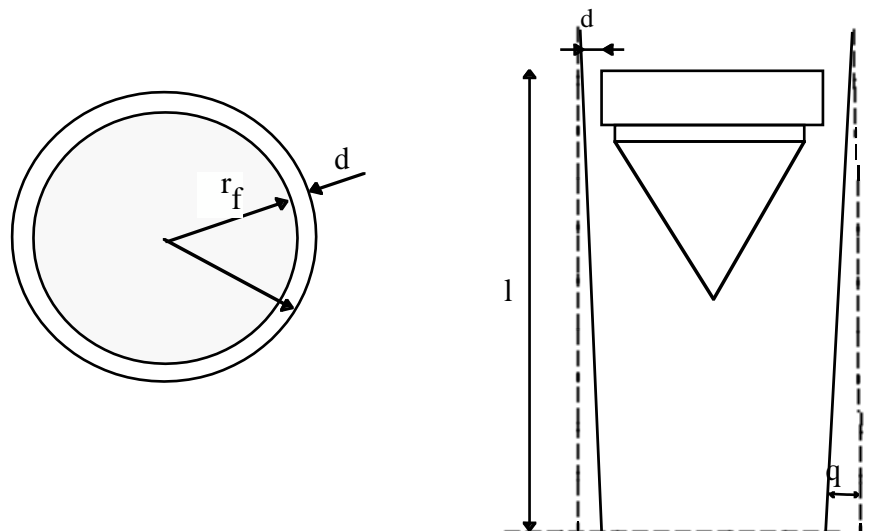


Figure III.3 : sections transverse et longitudinale du rota mètre.

### III.3-Les essais expérimentaux :

Dans laboratoire de pompe et station de pompage on a fait dix (10) essais expérimentaux sur la formation des poches d'air dans le phénomène de cavitation.

Chaque essai on varie la pression à l'entrée du venturi et on calcul le débit et la longueur de cavitation.

On tracé la courbe de longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et la courbe de  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  de chaque essai.

**III.3.1-Premier essai :**

**Tableau III.1: tableau récapitulatif des résultats du premier essai**

Débit Q(m <sup>3</sup> /s )	pression d'entrée P (bar)	P/wg (bar)	$V=Q/161,29$ ( m/s)	$V^2/2g$ (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm )	début de cavitation
1,5	0,1	1,02	0,930	0,441	0,52	0	
2,05	0,2	2,04	1,271	0,823	-0,88	0,1	X
2,15	0,3	3,06	1,333	0,906	-0,89	1,7	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,89	2,8	X
2,3	0,5	5,1	1,426	1,036	-0,88	3,4	X
2,38	0,6	6,12	1,476	1,110	-0,88	4,2	X
2,42	0,7	7,14	1,500	1,147	-0,875	4,9	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,87	5,6	X
2,6	0,9	9,18	1,612	1,324	-0,86	6,2	X
2,65	1	10,2	1,643	1,376	-0,86	7,1	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,855	7,8	X
2,8	1,2	12,24	1,736	1,536	-0,855	8,4	X
2,85	1,3	13,26	1,767	1,591	-0,84	9,2	X
2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,84	10,3	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,84	11,8	X

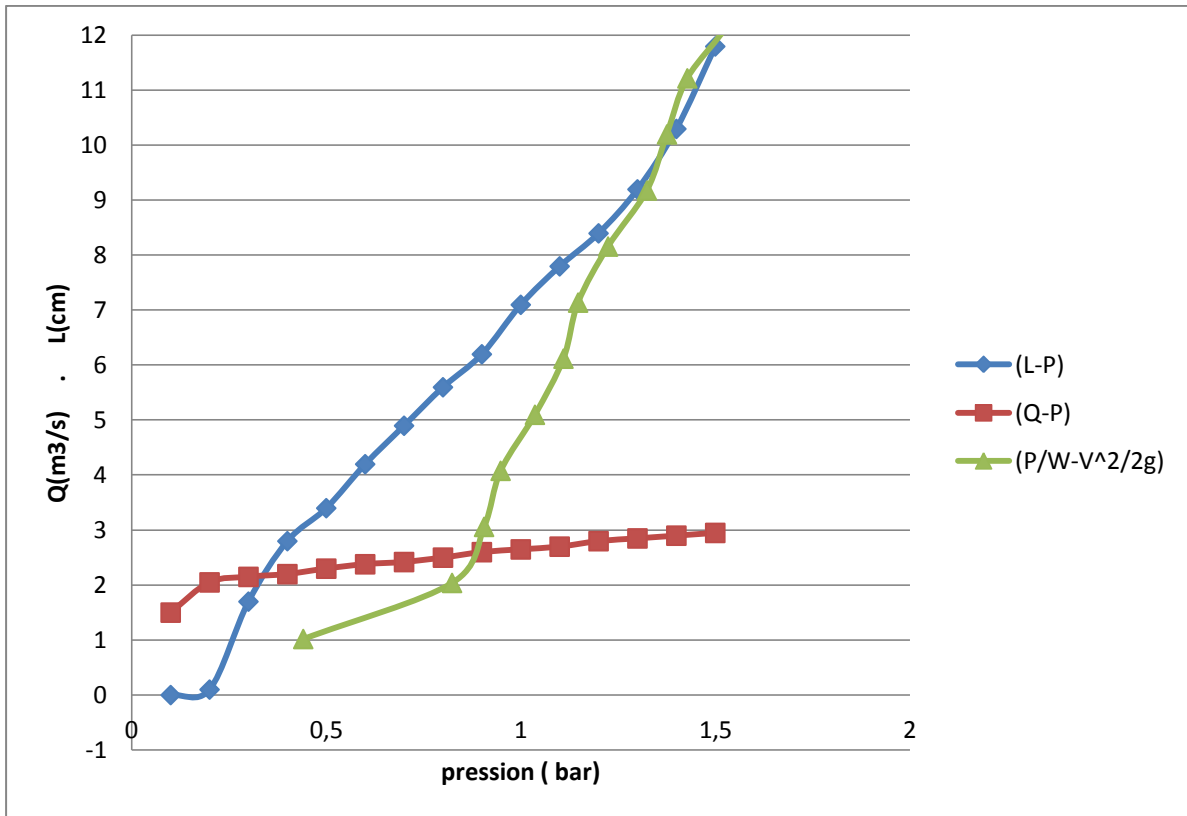


Figure III.4 : graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du premier essai.

III.3.2-Deuxième essai :

Tableau III.2: tableau récapitulatif des résultats du deuxième essai

Débit Q(m³/s)	pression d'entrée P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>1</sub> /wg (bar)	V <sub>1</sub> =Q/161,29 ( m/s)	V <sub>1</sub> <sup>2</sup> /2g (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,65	0,1	1,02	1,023	0,533	0,64	0	
2,03	0,2	2,04	1,259	0,807	-0,88	0,2	X
2,1	0,3	3,06	1,302	0,864	-0,88	1,5	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,88	2,7	X
2,28	0,5	5,1	1,414	1,018	-0,88	3,3	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,875	4,8	X
2,4	0,7	7,14	1,488	1,129	-0,875	5,3	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,865	6,1	X
2,55	0,9	9,18	1,581	1,274	-0,86	6,9	X
2,63	1	10,2	1,631	1,355	-0,86	7,7	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,85	8,2	X
2,78	1,2	12,24	1,724	1,514	-0,845	9,1	X
2,85	1,3	13,26	1,767	1,591	-0,84	10,1	X
2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,84	11,2	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,837	12	X

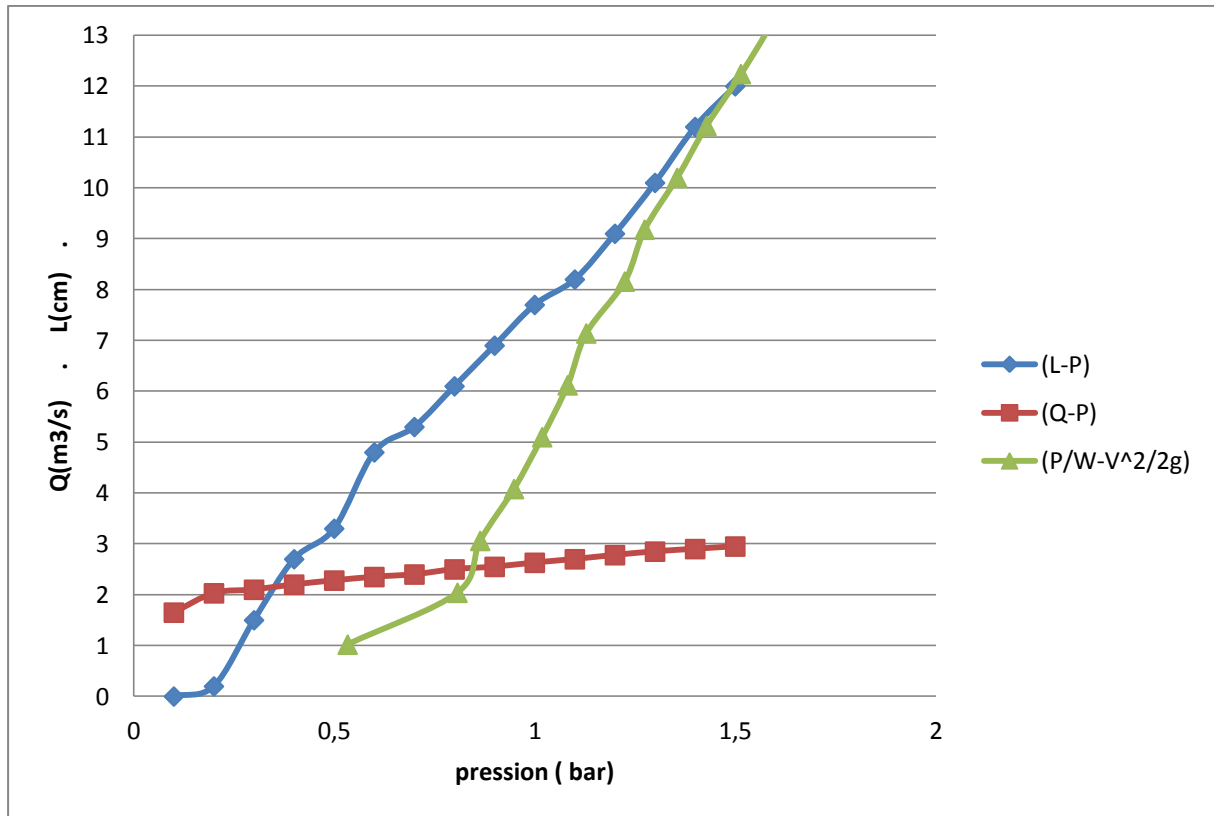


Figure III.5 : graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du deuxième essai.

III.3.3-Troisième essai :

Tableau III.3: tableau récapitulatif des résultats du troisième essai

Débit Q(m <sup>3</sup> /s)	pression d'entrée P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>1</sub> /wg (bar)	V <sub>1</sub> =Q/161,29 ( m/s)	V <sub>1</sub> <sup>2</sup> /2g (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,7	0,1	1,02	1,054	0,566	0,65	0	
2,03	0,2	2,04	1,259	0,807	-0,88	0,2	X
2,12	0,3	3,06	1,314	0,881	-0,88	1,6	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,88	2,7	X
2,3	0,5	5,1	1,426	1,036	-0,875	3,3	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,875	4,3	X
2,42	0,7	7,14	1,500	1,147	-0,87	4,8	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,87	5,5	X
2,55	0,9	9,18	1,581	1,274	-0,863	6,8	X
2,65	1	10,2	1,643	1,376	-0,86	7,5	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,858	8,2	X
2,75	1,2	12,24	1,705	1,482	-0,85	9,1	X
2,82	1,3	13,26	1,748	1,558	-0,848	10,1	X
2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,84	11,2	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,838	12,2	X

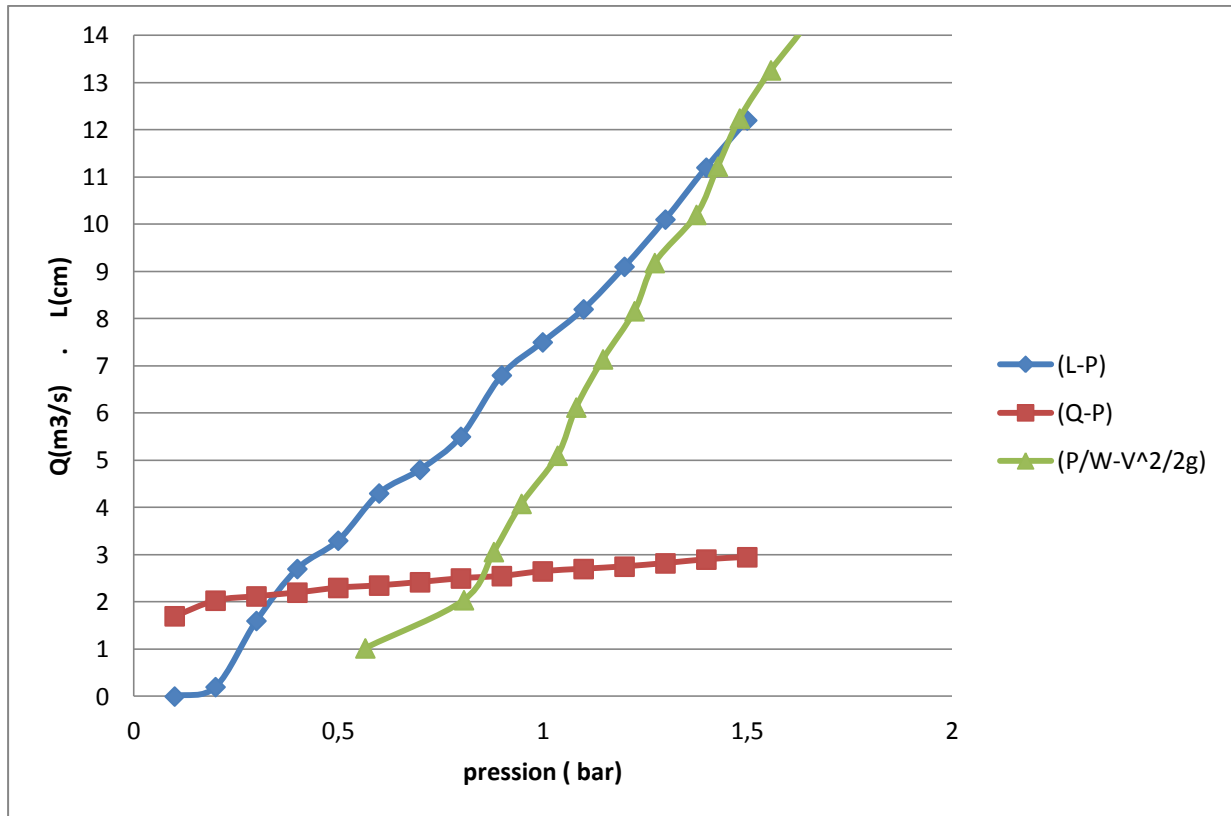


Figure III.6: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du troisième essai.

### III.3.4-Quatrième essai :

Tableau III.4: tableau récapitulatif des résultats du quatrième essai

Débit Q(m³/s)	pression d'entrée P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>1</sub> /wg (bar)	V <sub>1</sub> =Q/161,2 9 ( m/s)	V <sub>1</sub> <sup>2</sup> /2g (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm )	début de cavitation n
1,75	0,1	1,02	1,085	0,600	0,67	0	
2,02	0,2	2,04	1,252	0,799	-0,878	0,2	X
2,12	0,3	3,06	1,314	0,881	-0,88	1,7	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,88	2,6	X
2,29	0,5	5,1	1,420	1,027	-0,878	3,4	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,878	4,5	X
2,42	0,7	7,14	1,500	1,147	-0,87	4,9	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,864	5,6	X
2,55	0,9	9,18	1,581	1,274	-0,862	6,9	X
2,65	1	10,2	1,643	1,376	-0,86	7,7	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,852	8,4	X
2,78	1,2	12,24	1,724	1,514	-0,848	9,3	X
2,85	1,3	13,26	1,767	1,591	-0,842	10,3	X
2,88	1,4	14,28	1,786	1,625	-0,84	11,5	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,835	12,3	X

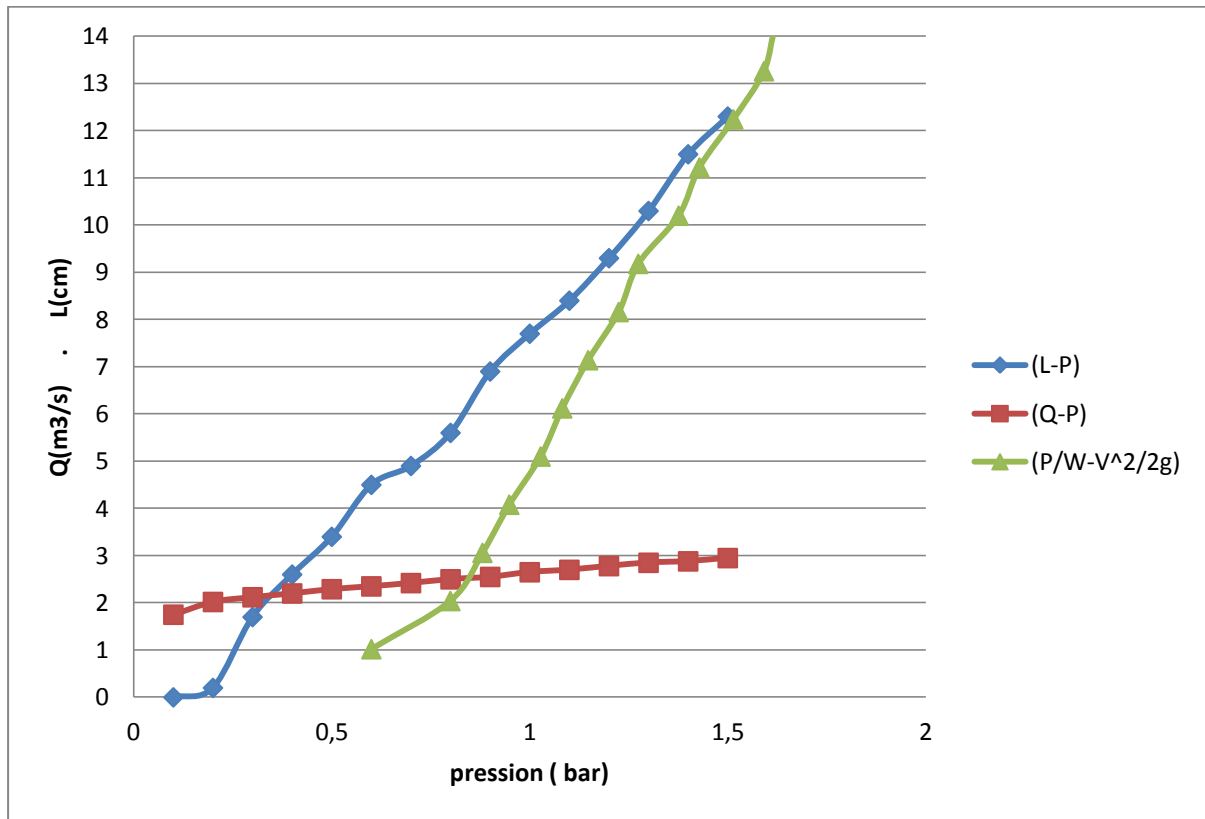


Figure III.7: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du quatrième essai.

### III.3.5-Cinquième essai :

Tableau III.5: tableau récapitulatif des résultats du cinquième essai

Débit $Q(m^3/s)$	pression d'entrée $P_1$ (bar)	$P_1/wg$ (bar)	$V_1=Q/161,2$ $\rho$ ( m/s)	$V_1^2/2g$ (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,7	0,1	1,02	1,054	0,566	0,66	0	
2,02	0,2	2,04	1,252	0,799	-0,879	0,1	X
2,13	0,3	3,06	1,321	0,889	-0,88	1,5	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,88	2,5	X
2,3	0,5	5,1	1,426	1,036	-0,88	3,2	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,878	4,5	X
2,42	0,7	7,14	1,500	1,147	-0,872	5,6	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,868	6,2	X
2,58	0,9	9,18	1,600	1,304	-0,862	6,7	X
2,63	1	10,2	1,631	1,355	-0,86	7,6	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,858	8,3	X
2,78	1,2	12,24	1,724	1,514	-0,848	9,3	X
2,83	1,3	13,26	1,755	1,569	-0,842	10,2	X
2,88	1,4	14,28	1,786	1,625	-0,84	11,5	X

2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,838	12,2	X
------	-----	------	-------	-------	--------	------	---

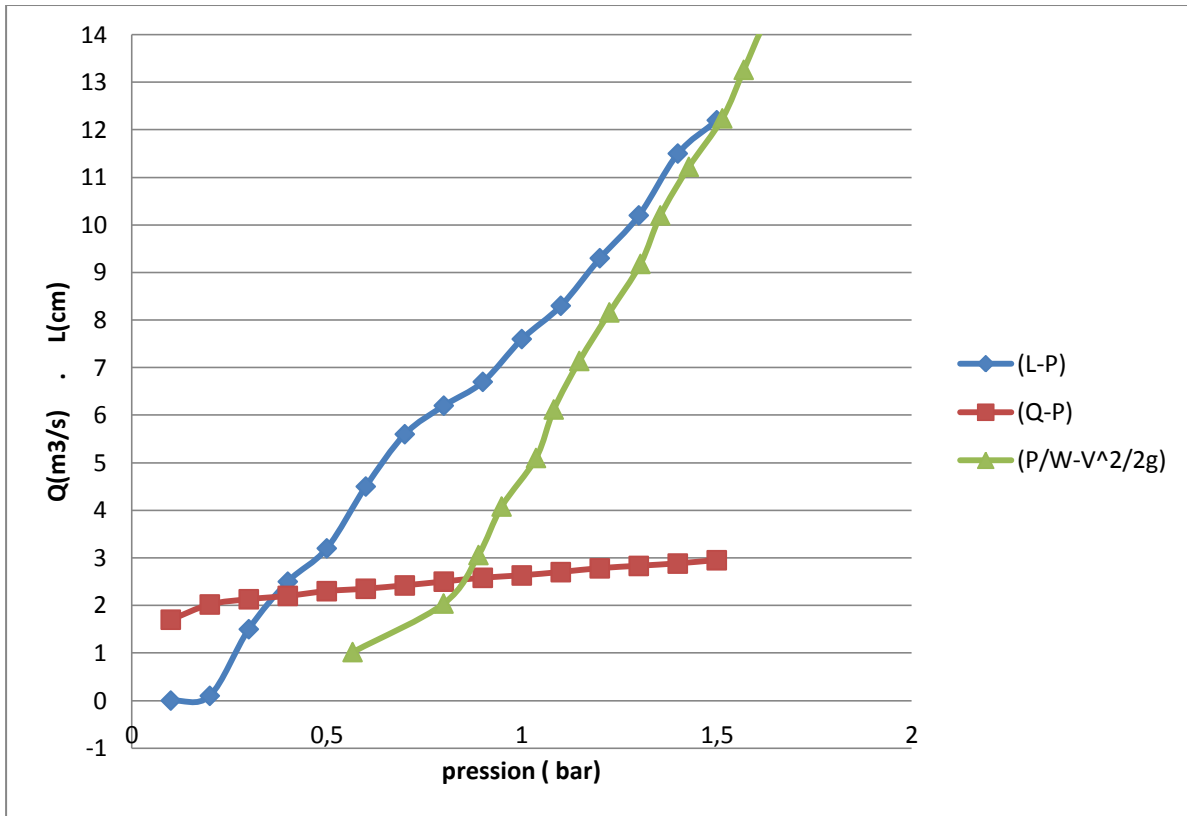


Figure III.8: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du cinquième essai.

III.3.6-Sixième essai :

Tableau III.6: tableau récapitulatif des résultats du sixième essai

Débit $Q(m^3/s)$	pressio n d'entré $P_1$ (bar)	$P_1/wg$ (bar)	$V_1=Q/161,29$ ( m/s)	$V_1^2/2g$ (m)	pressio n au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,78	0,1	1,02	1,104	0,621	0,68	0	
2,02	0,2	2,04	1,252	0,799	-0,88	0,2	X
2,12	0,3	3,06	1,314	0,881	-0,88	1,6	X
2,21	0,4	4,08	1,370	0,957	-0,88	2,6	X
2,31	0,5	5,1	1,432	1,045	-0,879	3,3	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,878	4,6	X
2,42	0,7	7,14	1,500	1,147	-0,875	5,1	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,872	6,3	X
2,58	0,9	9,18	1,600	1,304	-0,86	6,8	X
2,65	1	10,2	1,643	1,376	-0,858	7,5	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,856	8,4	X
2,78	1,2	12,24	1,724	1,514	-0,85	9,2	X
2,82	1,3	13,26	1,748	1,558	-0,842	10,3	X

2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,84	11,4	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,836	11,9	X

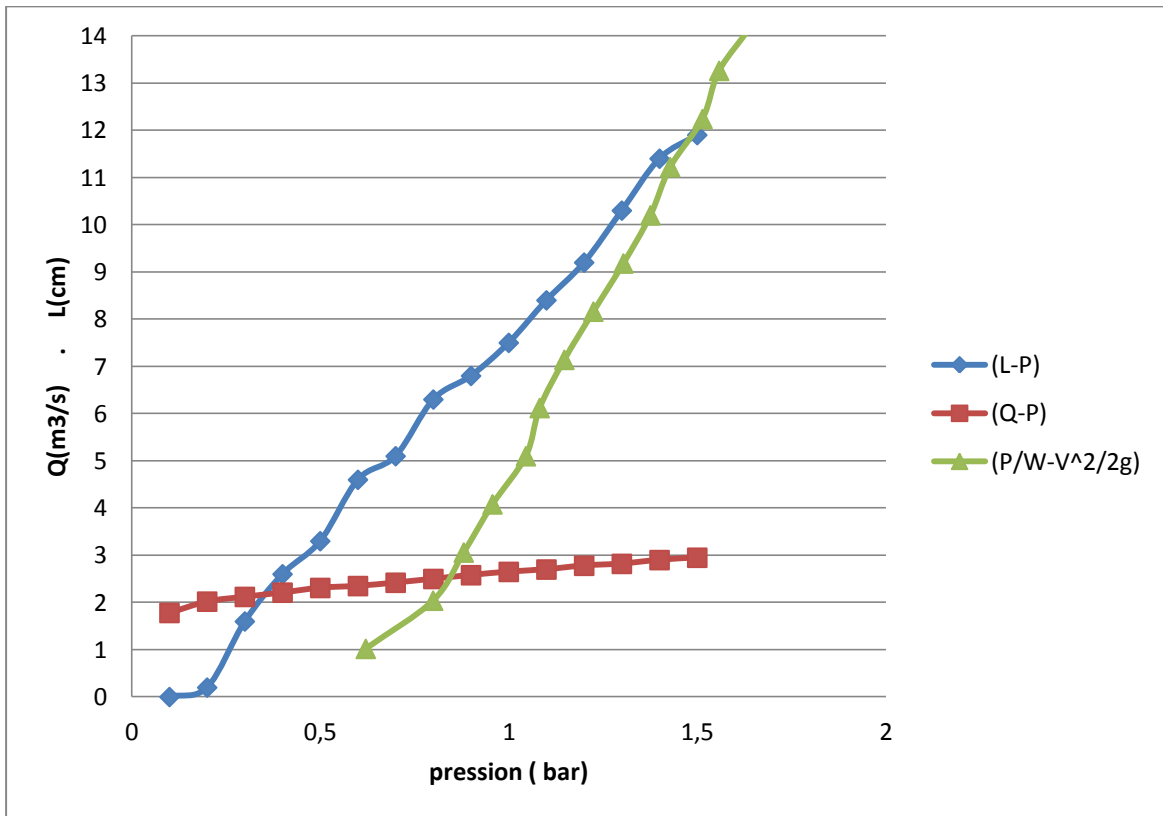


Figure III.9: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du sixième essai.

### III.3.7-Septième essai :

Tableau III.7: tableau récapitulatif des résultats du septième essai

Débit $Q(m^3/s)$	pression d'entrée $P_1$ (bar)	$P_1/wg$ (bar)	$V_1=Q/161,29$ ( m/s)	$V_1^2/2g$ (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,7	0,1	1,02	1,054	0,566	0,65	0	
2,02	0,2	2,04	1,252	0,799	-0,879	0,2	X
2,12	0,3	3,06	1,314	0,881	-0,88	1,6	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,88	2,4	X
2,29	0,5	5,1	1,420	1,027	-0,879	3,3	X
2,38	0,6	6,12	1,476	1,110	-0,876	4,6	X
2,43	0,7	7,14	1,507	1,157	-0,864	5	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,862	5,8	X
2,59	0,9	9,18	1,606	1,314	-0,86	6,8	X
2,65	1	10,2	1,643	1,376	-0,858	7,5	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,85	8,2	X
2,79	1,2	12,24	1,730	1,525	-0,842	9,4	X



2,84	1,3	13,26	1,761	1,580	-0,84	10,5	X
2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,839	11,3	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,832	12	X

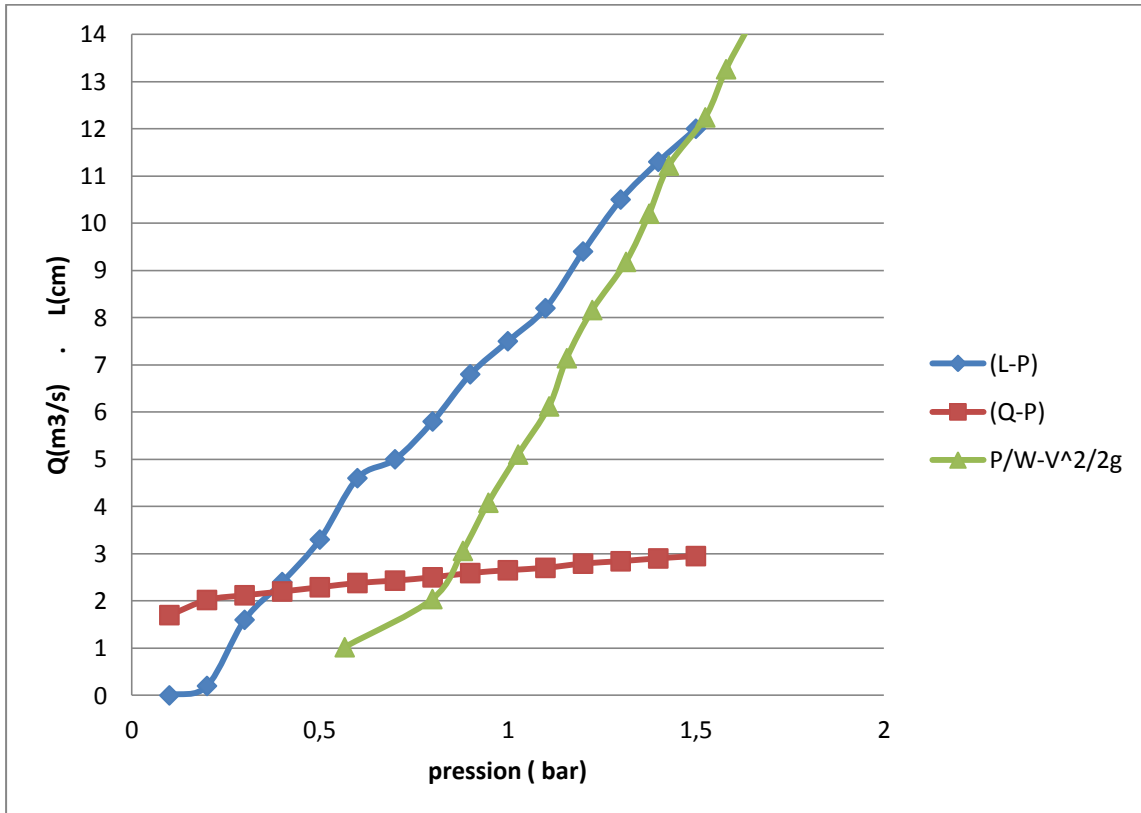


Figure III.10: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du septième essai.

III.3.8-Huitième essai :

Tableau III.8: tableau récapitulatif des résultats du huitième essai

Débit $Q(m^3/s)$	pression d'entrée $P_1$ (bar)	$P_1/wg$ (bar)	$V_1=Q/161,29$ ( m/s)	$V_1^2/2g$ (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,75	0,1	1,02	1,085	0,600	0,68	0	
2,02	0,2	2,04	1,252	0,799	-0,88	0,2	X
2,15	0,3	3,06	1,333	0,906	-0,88	1,6	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,88	2,5	X
2,28	0,5	5,1	1,414	1,018	-0,879	3,4	X
2,38	0,6	6,12	1,476	1,110	-0,875	4,3	X
2,41	0,7	7,14	1,494	1,138	-0,87	5,1	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,862	5,7	X
2,55	0,9	9,18	1,581	1,274	-0,86	6,9	X
2,65	1	10,2	1,643	1,376	-0,859	7,4	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,85	8,1	X

2,78	1,2	12,24	1,724	1,514	-0,845	9,2	X
2,83	1,3	13,26	1,755	1,569	-0,842	10,6	X
2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,84	11,5	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,835	12,1	X

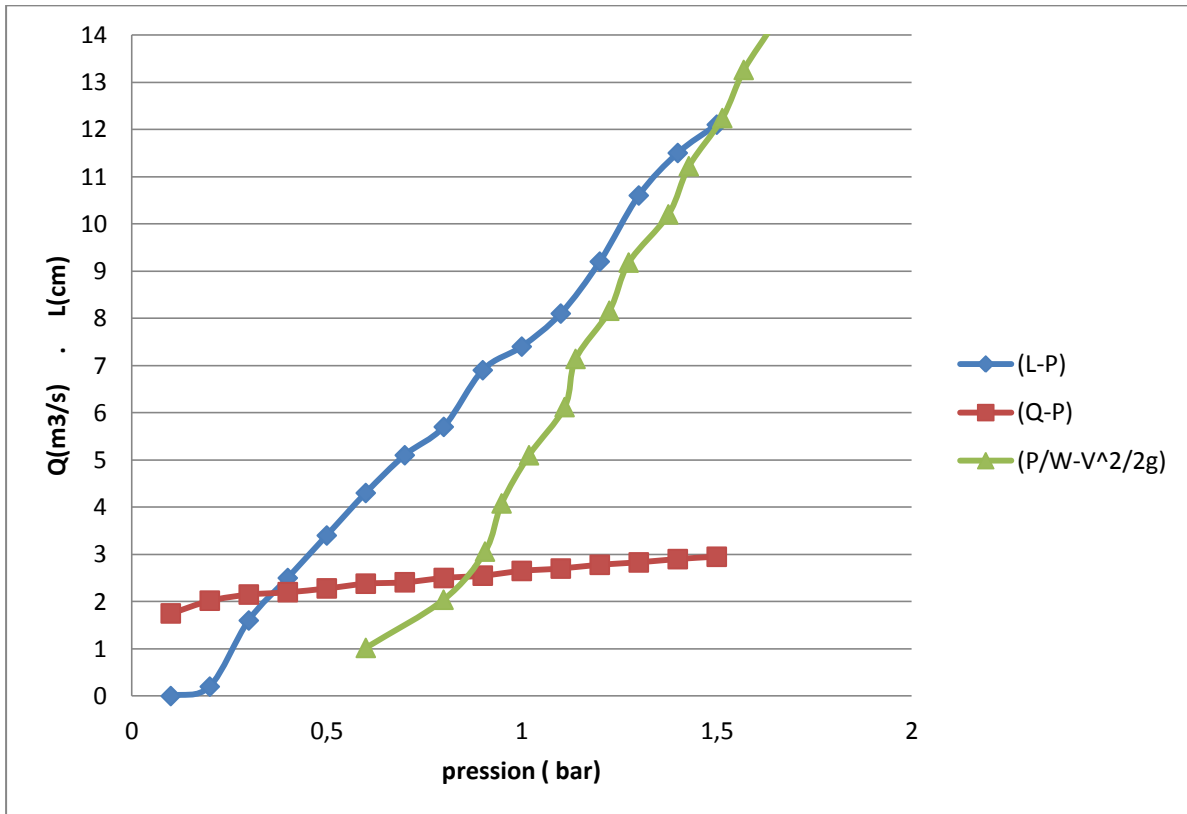


Figure III.11: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du huitième essai.

III.3.9-Neuvième essai :

Tableau III.9: tableau récapitulatif des résultats du neuvième essai

Débit $Q(m^3/s)$	pression d'entrée $P_1$ (bar)	$P_1/wg$ (bar)	$V_1=Q/161,2$ 9 ( m/s)	$V_1^2/2g$ (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm)	début de cavitation
1,78	0,1	1,02	1,104	0,621	0,69	0	
2,03	0,2	2,04	1,259	0,807	-0,88	0,3	X
2,12	0,3	3,06	1,314	0,881	-0,88	1,7	X
2,21	0,4	4,08	1,370	0,957	-0,88	2,5	X
2,3	0,5	5,1	1,426	1,036	-0,879	3,2	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,87	4,5	X
2,41	0,7	7,14	1,494	1,138	-0,868	5,2	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,865	5,9	X
2,56	0,9	9,18	1,587	1,284	-0,86	6,7	X
2,64	1	10,2	1,637	1,366	-0,859	7,6	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,854	8,3	X

2,78	1,2	12,24	1,724	1,514	-0,845	9,3	X
2,82	1,3	13,26	1,748	1,558	-0,842	10,6	X
2,9	1,4	14,28	1,798	1,648	-0,84	11,4	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,835	12,2	X

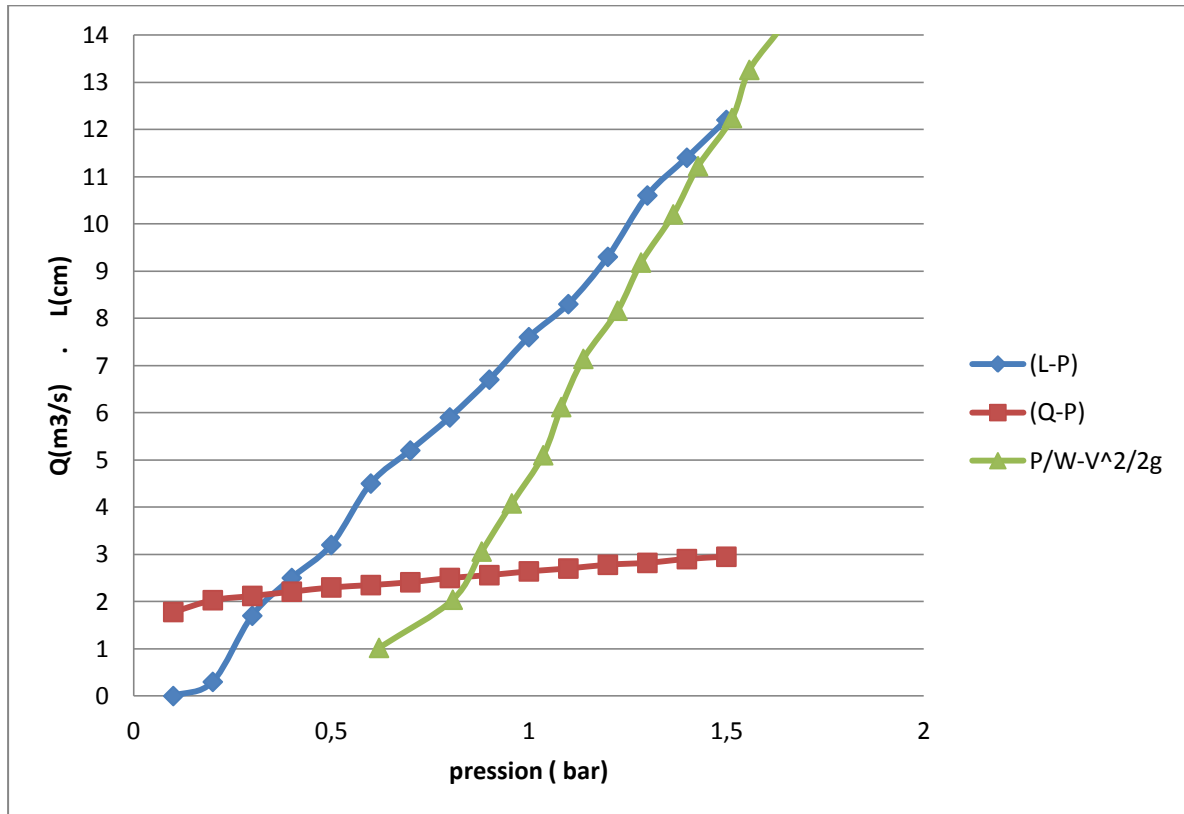


Figure III.12: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du neuvième essai.

### III.3.10-Dixième essai :

Tableau III.10: tableau récapitulatif des résultats du dixième essai

Débit $Q(m^3/s)$	pressio n d'entré $P_1$ (bar)	$P_1/wg$ (bar)	$V_1=Q/161,2$ 9 .( m/s)	$V_1^2/2g$ (m)	pression au col(bar)	Longueur de cavitation(cm )	début de cavitatio n
1,72	0,1	1,02	1,066	0,580	0,64	0	
2,01	0,2	2,04	1,246	0,792	-0,879	0,3	X
2,11	0,3	3,06	1,308	0,872	-0,878	1,8	X
2,2	0,4	4,08	1,364	0,948	-0,87	2,6	X
2,29	0,5	5,1	1,420	1,027	-0,869	3,3	X
2,35	0,6	6,12	1,457	1,082	-0,865	4,6	X
2,42	0,7	7,14	1,500	1,147	-0,862	5,3	X
2,5	0,8	8,16	1,550	1,225	-0,859	5,8	X
2,59	0,9	9,18	1,606	1,314	-0,855	6,8	X

2,63	1	10,2	1,631	1,355	-0,85	7,5	X
2,7	1,1	11,22	1,674	1,428	-0,845	8,2	X
2,75	1,2	12,24	1,705	1,482	-0,84	9,4	X
2,82	1,3	13,26	1,748	1,558	-0,835	10,6	X
2,89	1,4	14,28	1,792	1,636	-0,83	11,5	X
2,95	1,5	15,3	1,829	1,705	-0,822	12	X

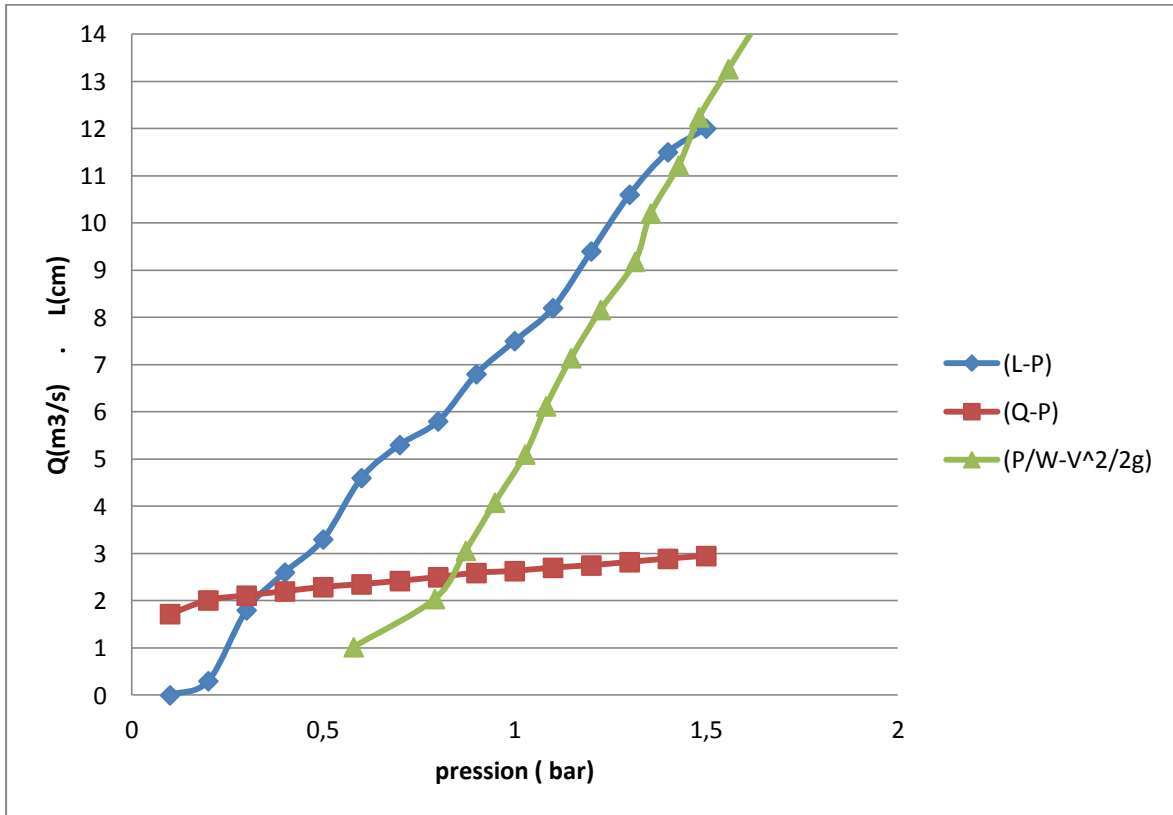
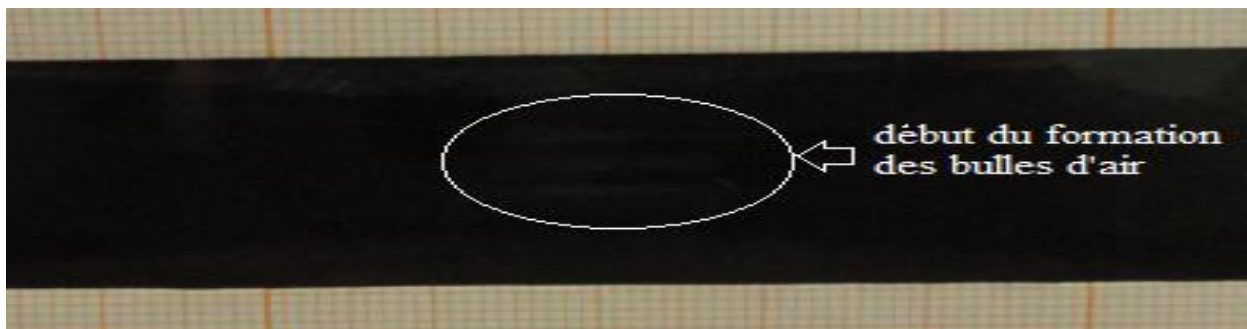


Figure III.13: graphe de la longueur de cavitation et le débit en fonction de la pression à l'entrée et  $P/wg$  en fonction de  $V^2/2g$  du dixième essai.

Les images suivantes représentent la longueur de cavitation augmente avec l'augmentation de la pression.



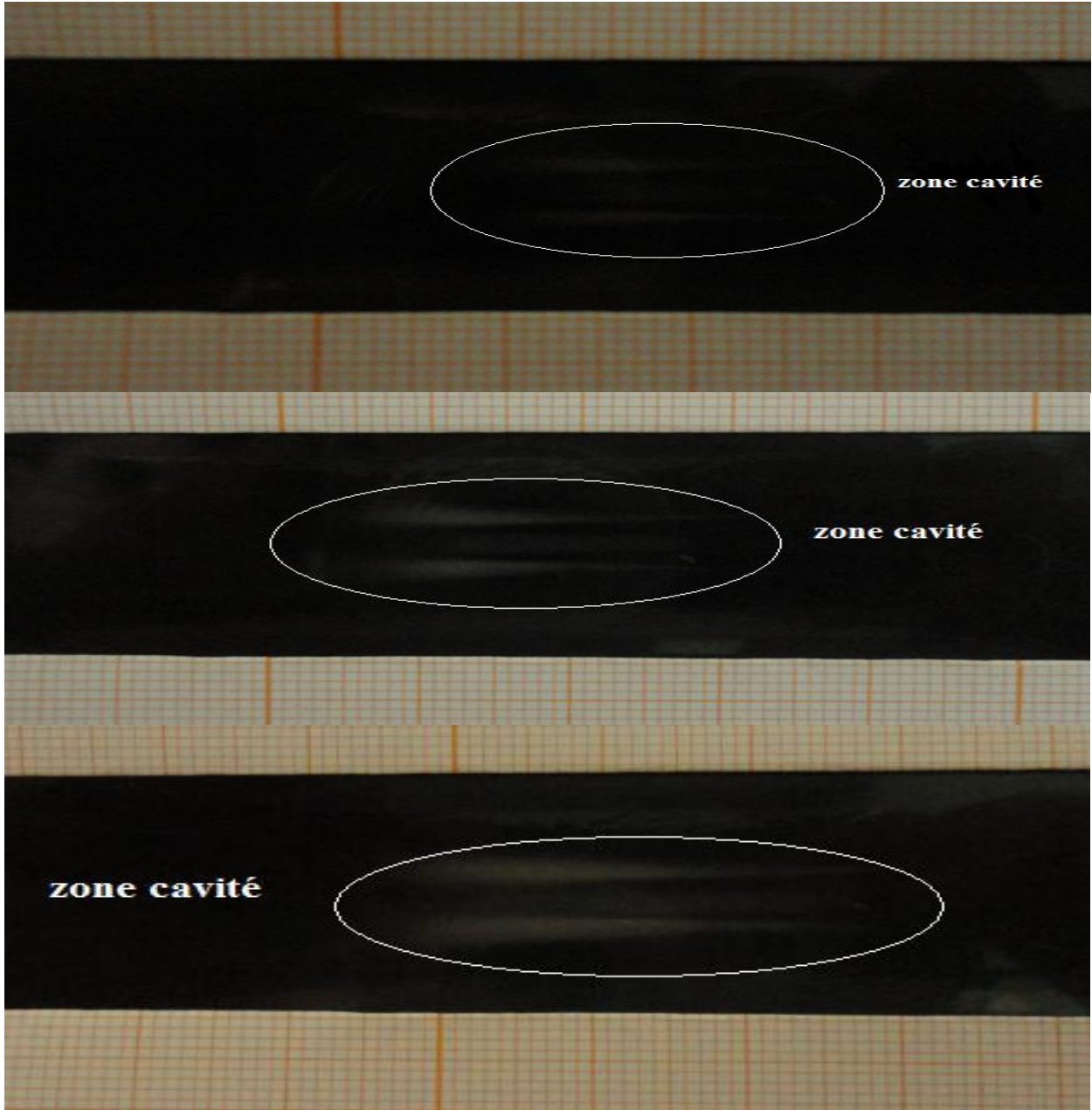
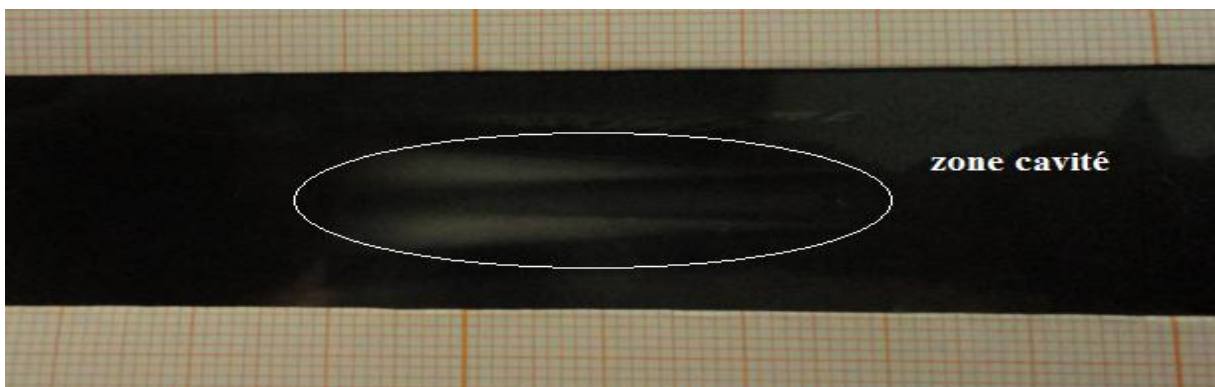
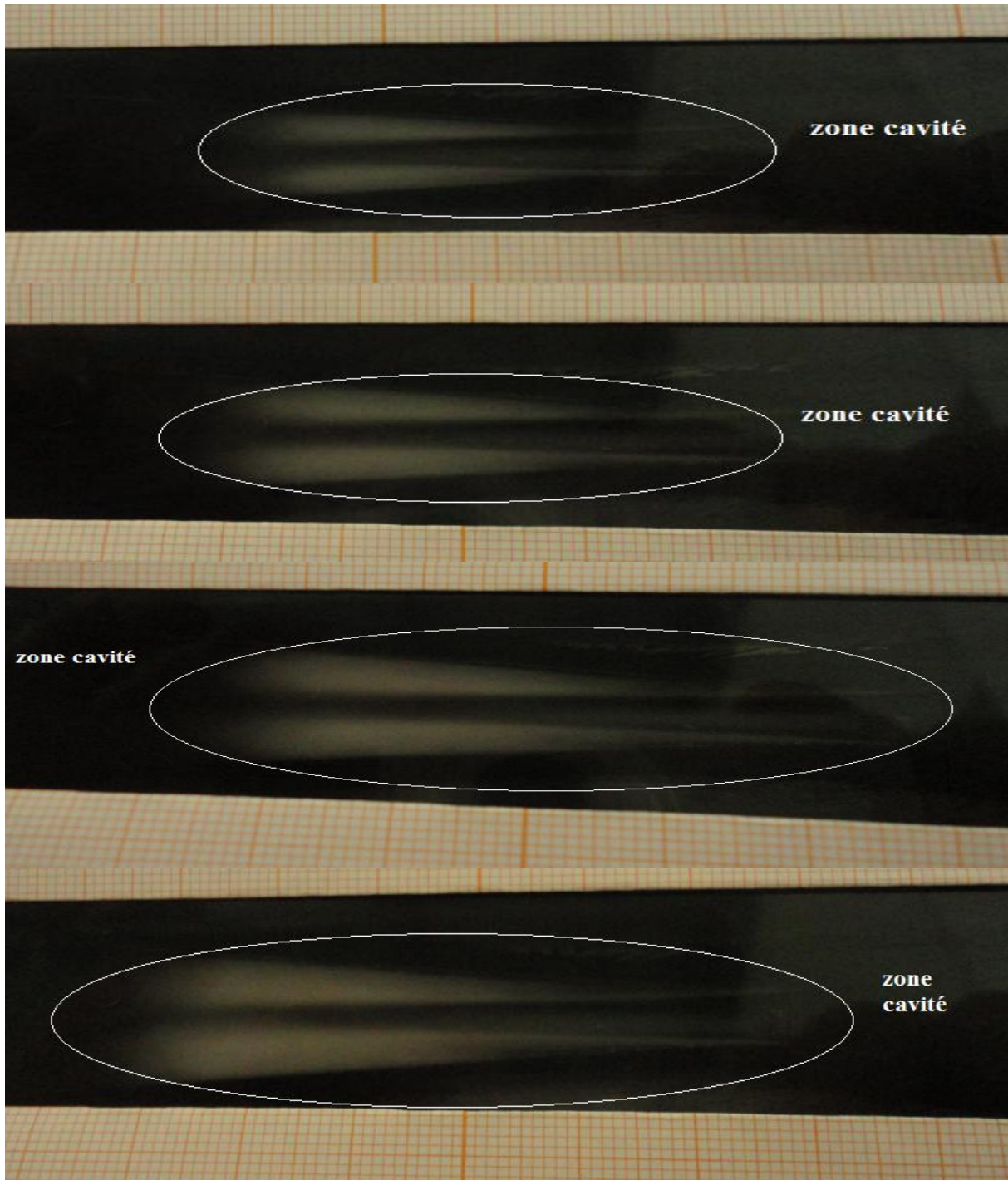


Figure III.14: augmentation de la longueur de cavitation en fonction de la pression





**Figure III.15: augmentation de la longueur de cavitation en fonction de la pression**

#### **III.4-Interprétation des résultats expérimentaux :**

On remarque qu'il n'y a pas de cavitation pour une pression à l'entrée du venturi  $P \leq 0.10$  bars, et la pression au col est positive.

La cavitation et la formation des poches d'air apparentent quand la pression à l'entrée du venturi atteint 0.2 bars à 1.5 bars et la longueur de cavitation augmente avec l'augmentation de la pression.

Dans le premier essai si on ouvre partiellement la vanne de régularisation de l'écoulement et augmenter la pression de 0.2 bars, on lire sur la rota mètre le débit correspondant est de 1500 l/s, et on mesure la longueur de cavitation par la règle est de 0.1cm. Et à la pression 1.5 bars, le débit est de 2950 l/s et la longueur de cavitation est de 11.8cm

Mais dans le deuxième essai on ouvre partiellement la vanne de régularisation de l'écoulement et augmenter la pression de 0.2 bars, le débit correspondant est de 1650 l/s et la longueur de cavitation est de 0.2cm.

À la pression de 1.5bar, le débit est de 2950 l/s et la longueur de cavitation est de 12cm

D'après les images de la (figure III.14) le type de cavitation est de cavitation à poche par ce que la cavitation à poche reste liée à un décollement laminaire situé en général au bord d'attaque.

Donc dans tous les essais expérimentaux et les images de la (figure III.14) si on augmente la pression, le débit augmente et la longueur de cavitation augmente.

Dans ces essais la longueur augmente jusqu'à 12.3 cm

### **Conclusion :**

D'après les résultats des dix essais expérimentaux dans le laboratoire de pompe et de station de pompage, et l'interprétation de ces résultats on conclut que :

La formation des poches d'air dans le phénomène de cavitation et la longueur de ce phénomène augmente avec l'augmentation de pression à l'entrée et de débit.

# Chapitre IV :

## **Les moyennes de protection**



### **Introduction :**

Ce chapitre traite plus particulièrement les moyennes techniques de protection contre le phénomène de cavitation ainsi que les moyennes matérielles.

### **IV.1-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 :

#### **IV.1.1-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

#### **IV.1.2-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.

#### **IV.1.3- 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'œilillard d'une roue de pompe centrifuge ou hélico centrifuge de conception tout à fait classique (figure IV.1). 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 limite 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.

[19]



Figure IV.1: Utilisation d'un inducteur [19]

#### IV.1.4-. Amélioration du NPSH des pompes

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. [19]

Les principaux paramètres géométriques à faire varier sont les suivants :

- Diamètre de roue ;
- Angle d'entrée de l'aube ;
- Nombre d'aubes ;
- Epaisseur de l'aube ;
- Forme de l'aube à l'entrée de la roue.

### IV.2-Les ventouses

Les ventouses sont des organes automatiques servant à réduire les coups de bélier et la formation de vide dans les installations hydrauliques.

La fonction spéciale de la ventouse est d'assurer l'élimination des poches d'air dans la tuyauterie - par évacuation - ou à aérer les conduites en cas de vidange par aspiration.

Une ventouse se caractérise par son débit d'air et des pressions de service.



Figure IV.2 : la ventouse [12]

Les ventouses protègent les canalisations :

- Contre la mise en dépression lors de la vidange avec l'admission d'air a grand débit contre la difficulté de remplissage avec l'évacuation d'air a grand débit
- Contre la difficulté de remplissage avec l'évacuation d'air a grand débit

Elles permettent aussi l'évacuation par la tuyère des petites quantités d'air accumulées aux points hauts des réseaux pendant l'exploitation du réseau [12]

**IV.3-Les types de ventouse :**

- Ventouses de 1" et 2" (pouces) à double effet.
- Ventouse automatique de 1" (pouce) triple effet.
- Ventouse automatique de 2" (pouce) triple effet.
- Ventouse métallique triple effet.



**Figure IV.3 : les types de ventouse [13]**

**IV.4-Fonctionnement :**

La ventouse réalise trois fonctions:

- Elle extrait l'air des conduits lorsqu'ils se remplissent.  
Lorsque l'air arrive à l'intérieur de la ventouse, le flotteur remonte et ferme l'orifice d'expulsion.
- Elle équilibre automatiquement le système et poursuit sa fonction de purge sur la poche d'air qui peut parvenir à la ventouse, et provoque immédiatement la descente du flotteur et l'ouverture partielle ou total de l'orifice de fermeture. La pression de l'eau n'empêche pas cette fonction.
- Protège les conduits d'aplatissement. Aussi, au moyen de la dépression, le flotteur baisse, ouvrant la fermeture, avec lequel l'air atmosphérique pénètre immédiatement dans l'orifice.

#### IV.5-Principe de fonctionnement suivant fonction :

Principe de fonctionnement de la ventouse à fonction triple effet:

##### IV.5.1. Circulation de l'air.

Pendant le remplissage du conduit principal, il est nécessaire de laisser s'échapper l'air et l'entrée d'eau. Le système de blocage mobile\* reste sur la partie inférieure et l'air, en passant au travers de la voie intérieure du corps, circule à travers l'orifice principal à pression atmosphérique. Lorsque l'eau entre dans la ventouse, le flotteur se soulève et exerce une pression contre la partie supérieure vers le haut, jusqu'à ce que l'orifice principal soit complètement fermé. Cette pression permet aussi la fermeture de l'orifice du conduit.[13]

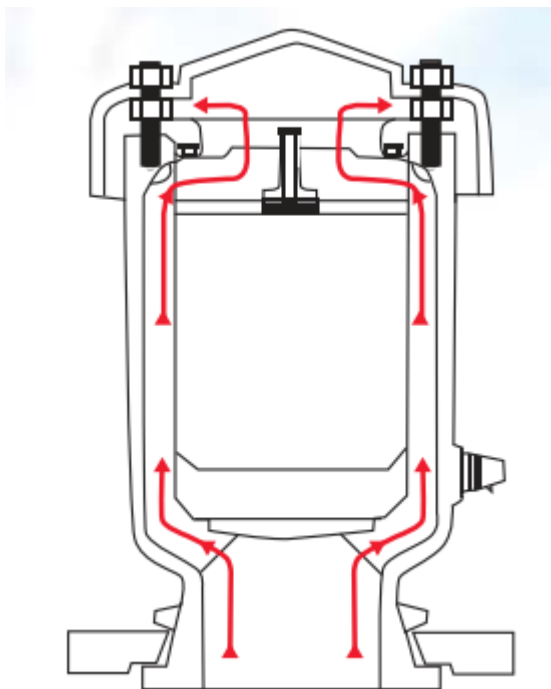


Figure IV.4 : Circulation de l'air.

##### IV.5.2. Ventilation.

Durant l'opération, une poche d'air s'accumule dans la partie supérieure de la ventouse. Peu à peu, elle se comprime, en arrivant à une pression similaire à celle de l'eau, puisque son volume augmente et qu'elle pousse l'eau vers le bas. En suivant le Principe d'Archimède, un flotteur ne peut pas être soutenu par la poussée de l'eau et il tombe, en libérant ainsi l'orifice et libérant ainsi l'air.

Lorsque l'air circule, le niveau d'eau augmente, le flotteur remonte et bouche l'entrée de l'orifice.

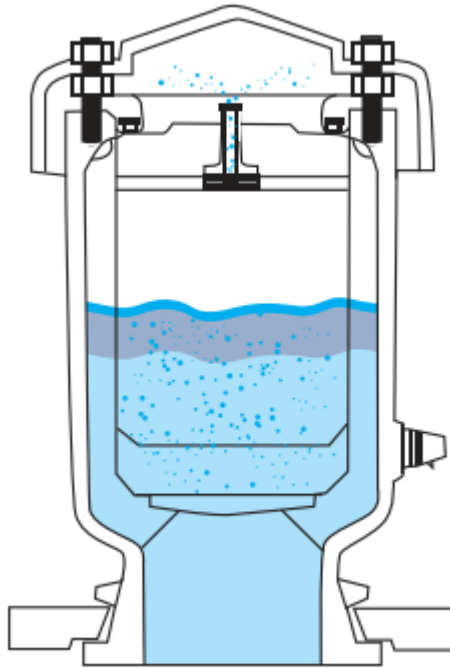


Figure IV.5- Ventilation d'air.

#### IV.5.3. Prise d'air.

Durant le drainé de la tuyauterie principale ou des phases de rupture, il est nécessaire de prendre air et débit de l'eau de sortie pour éviter des conditions de vide. Le bloc mobile reste dans la partie inférieure de la ventouse quand il n'y a pas d'eau, en permettant une plus grande entrée d'air à travers de l'orifice principal.

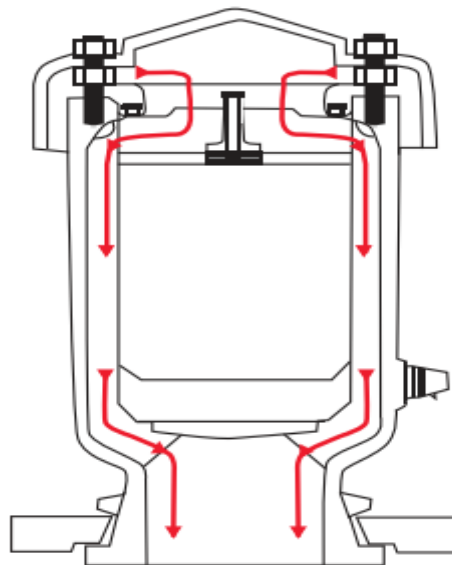


Figure IV.5- Prise d'air.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre .les différents moyennes de protection contre le phénomène de cavitation ont été présentées, à savoir les moyennes techniques :

- Réduction du bruit et des vibrations
- Limitation du risque d'érosion
- Utilisation d'un inducteur
- Amélioration du NPSH des pompes

Les moyennes matérielles sont les ventouses .

## Conclusion générale :

Les pompes sont parmi les machines hydrauliques les plus utilisées dans l'industrie. Elles sont menacées de pannes occasionnées surtout par le phénomène de cavitation.

Notre travail est consacré à l'étude de ce phénomène qui consiste à une vaporisation du fluide transporté à cause de sa pression qui devient inférieure à la pression de vapeur. La cavitation se manifeste par la formation, au sein de l'écoulement, de bulles, poches, tourbillons ou torches de vapeur. Dans certains cas, il résulte d'une combinaison de ces deux effets, apport de chaleur et mise en dépression.

Ce phénomène a plusieurs effets au fond de la pompe tels que : l'érosion, le bruit, la perte de performances (hauteur totale d'élévation, rendement, puissance, NPSH,....etc.) et la vibration.

Dans ce mémoire, on a réalisé expérimentalement le phénomène de cavitation dans l'appareil de démonstration de la cavitation EH505 et on aboutit à ces résultats suivants :

❖ Si on augmente la pression, le débit augmente et la longueur de cavitation augmente, donc la formation des poches et des bulles d'air dans le tube de Venturi mètre.

Afin d'éviter et d'éliminer ce phénomène, on propose des solutions techniques et matérielles.

Parmi les solutions anti-cavitation se fait par :

- 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 installé à l'amont de la roue, principalement dans les pompes centrifuges.
- il faut respecter la condition de

$$\text{NPSH disponible} > \text{NPSH requis}$$

Les solutions matérielles telles que les ventouses.

De ce modeste travail, nous espérons avoir cerné tous les points nécessaires sur la formation des poches d'air dans le phénomène de cavitation.



# ***BIBLIOGRAPHIE***

- [1] ARAKERI : Etude Expérimentale de Bulles de Vapeur Générées par Laser", La Houille Blanche, No7/8, p. 539-544.1996
- [2] ASME Winter Annual Meeting, San Francisco (USA), FED-V ol. 88, pp
- [3] Avellan F. & Farhat M., 1988, "Shock Pressure Generated By Cavitations Vortex Collapse", Proc. of Int. Symposium on Cavitations Noise and Erosion in Fluid System
- [4] CALRIER. M. Machines hydrauliques ENGRFE France 1968
- [6] Contribution a l'étude de l'érosion de cavitation : mécanique hydrodynamique et prédiction, MOHAMED FARHAT, THÈSE N° 1273 (1994)
- [7] Dupont Ph. 1993, "Etude de la Dynamique d'une Poche de Cavitation Partielle en Vue de la Prédiction de l'Erosion dans les Turbomachine Hydrauliques", Thèse de doctorat, No 931, EPFL, Suisse
- [8] Franc, J. P. & Michel, J. M. , 1985, "Attached Cavitations and the Boundary Layer : Experimental investigation and numerical treatment", J. Fluid Mech., N pp 63-90.154,
- [9] FREDDY MUDRY, "Signaux et Systèmes", heig-vd (Haute Ecole d'Ingénieur et de Gestion du Canton de Vaud), 2008.
- [11] JEAN-FRANCOIS LAPRAY, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie. mécanique / Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et axiales : cavitation, PARIS.2002
- [12] KADIR OMAR «Etude de l'écoulement par photographie cas de cavitation et endommagement mécanique d'une pompe centrifuge sous l'effet de l'érosion) -2005
- [13] KOUILED Slimane,( Investigation expérimentale du phénomène de cavitation dans les pompes ) Mémoire de Master en Génie Mécanique, Université Kasdi Merbah–Ouargla juin 2004
- [14] La cavitation (mécanismes physique et aspects industriels) " Edition PU Grenoble 1995"
- [15] LA CAVITATION [traqueurs de bulles] Yves Le coffre Hermès 1994.
- Dernière Révision : 13/04/2007.

[18] YVES LECOFFRE, "La Cavitation Traqueurs de Bulles», Durand-28600  
luisant Paris, 1994.

**Les catalogues :**

[5] Catalogue des pompes centrifuges (pompes de surface, pompe immergée)

[10] HIDRO-conta (compteurs et vannes automatiques)-ventouses

[16] "Les Pompes", TOTAL Manuel de Formation : EXP-PR-EQ070 Révision 0.1,

[17] SAINT-GOBIN (PAM) Robinetterie protection des réseaux p-1