

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

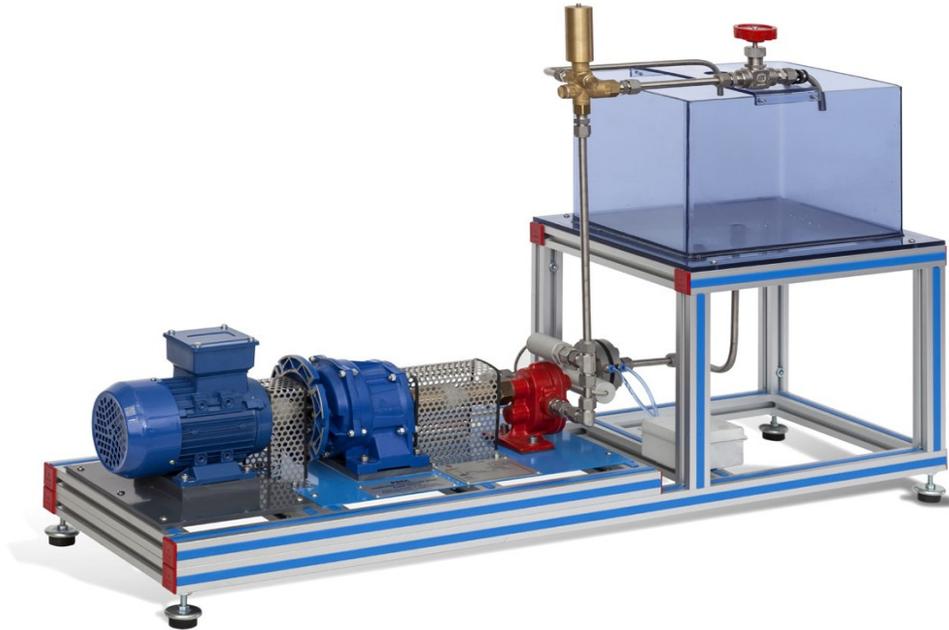


Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de Génie civil et Hydraulique Technique

Manuel des Travaux Pratiques en Machines Hydrauliques et Stations de pompage



Dr ALLIA Zineb
2021-2022



Centre Universitaire de Mila
Département de Génie Civil et hydraulique



***Travaux pratiques de Machines
Hydrauliques et Stations de Pompage***

Liste des séances de TP

Unité d'Enseignement: UEM 1.2

TP 1 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge

TP 2 : Montage de pompes en série

TP 3 : Montage de pompes en parallèle

TP 4 : Etude de la Cavitation

AVANT PROPOS

La pompe est une machine qui permet d'apporter de l'énergie au fluide. Cette énergie lui permet, par exemple, d'augmenter son énergie potentielle et/ou son énergie cinétique (sa vitesse) ou encore cette énergie distribuée par la pompe va lui permettre de compenser les pertes de charges causées par la forme ou l'état de surface des canalisations.

Il existe deux grandes catégories de pompes : les pompes volumétriques et les pompes centrifuges. En nous basant dans les Travaux pratiques sur les pompes centrifuge.

Ce Manuel de travaux pratique sur les machines hydrauliques s'adresse aux étudiants de première année Master Hydraulique du département de génie civil et Hydraulique de l'institut des sciences et de technologie du centre universitaire de Mila dont le programme d'études comporte quatre TPs

Le premier TP qui est l'étude de la caractéristique d'une pompe centrifuge, les étudiants peuvent appliquer dans cette manipulation, leurs connaissances sur la théorie des pompes centrifuge

Le montage ou le couplage en série et en parallèle font l'objet du deuxième et troisième TP. Ces deux Tps sont basés sur le premier TP. Donc les étudiants doivent bien maîtriser la manipulation du banc d'essai.

TP 4 est l'étude de la Cavitation, le TP sera réalisé sur L'unité FME19. Ce TP est très important vue l'importance de ce phénomène.

Les étudiants doivent avoir des connaissances sur la cavitation et cherchent à mieux appréhender le phénomène.

Ce Manuel fournit un moyen pratique sur la manipulation de l'équipement, le matériel bien entendu n'est pas limité aux expériences décrites, les enseignants peuvent faire des variations de manipulation

Sommaire

1. Introduction	01
2. Note sur les unités.....	02
3. Les pompes centrifuge.....	03
3.1.Introduction.....	03
3.2.Remarque générale sur la performance des pompes.....	04
3.3.Effet d'un changement de vitesse de la pompe.....	06
4. Le point de fonctionnement.....	07
5. Couplage des pompes centrifuges	08
5.1.Couplage en série.....	08
5.2.Couplage en parallèle.....	09
TP N°01 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	11
TP N°02: Montage de pompes en série.....	13
TP N°03 : Montage de pompes en parallèle.....	17
TP N°04 Etude de la cavitation.....	24
Bibliographie.....	27

1. Introduction

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur. C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement, donc une certaine puissance hydraulique. Cette énergie hydraulique peut être vue comme la somme d'une énergie cinétique déterminée par le mouvement liquide dans le tube et d'une énergie potentielle stockée soit sous la forme d'un accroissement de pression soit sous celle d'une augmentation de hauteur.

Les objectifs assignés par cette matière portent sur l'initiation des étudiants à mettre en pratique les connaissances théoriques acquise dans les cours des machines hydrauliques et stations de pompage.

2. Note sur les unités

Le système international des unités adopté dans cette brochure utilise les unités suivantes pour la masse, la longueur et le temps sont :

Masse Kilogramme **(Kg)**

Longueur Mètre **(m)**

Temps seconde **(s)**

L'unité de force est le Newton (**N**) c'est la force qui est appliquée à une masse multipliée par l'accélération de **1 m/s²**. Une autre unité de force qui est couramment utilisée est le Kilogramme Force (**Kgf**), c'est la force qui produit l'accélération standard de la pesanteur de la masse de **1 Kg**. Etant donné que la valeur internationalement acceptée de l'accélération standard de la gravité est de **9.80665 m/s²**.

Le Newton et le Kilogramme Force sont liés par

$$1\text{Kgf}=9.80665 \text{ N}$$

ou dans la plupart des cas

$$\text{Kgf} = 9.81 \text{ N}$$

Il est important de bien comprendre la distinction entre le (**Kg**) qui est l'unité SI de masse et le (**Kgf**) qui est une unité de force dérivée.

La masse volumique **ρ** , étant définie comme la masse par unité de volume est mesurée en unité de **Kg/m³**

Le poids spécifique **w** étant le poids par unité de volume c'est-à-dire la force de gravité par unité de volume est mesuré en unité de **N/m³**.

La relation entre **w** et **ρ** est :

$$w = \rho \cdot g$$

La valeur conventionnelle de la densité de l'eau :

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3 = 1 \text{ Kg/litre}$$

Donc la valeur correspondante du poids spécifique **w** est

$$\text{Poids spécifique } w = \rho \cdot g = 9810 \text{ N/m}^3 = 9.81 \text{ N/litre}$$

il s'agit de la valeur utilisant l'unité SI de force. En Hydraulique, les unités dérivées de **Kgf/m³** pour le poids spécifique sont généralement adoptées et nous avons donc :

$$\text{Poids spécifique } w = 1000 \text{ Kgf/m}^3 = 1 \text{ Kgf/litre}$$

L'unité de pression en système SI est le pascal (Pa), celui-ci est définie par

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Comme il s'agit d'une petite unité peu pratique pour de nombreux usages, le Bar est parfois préféré, où :

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

D'où le millibar (mb) qui est une unité privilégiée en météorologie définie comme :

$$1 \text{ mb} = 10^{-3} \text{ bar} = 100 \text{ Pa}$$

La pression **P** peut être exprimée comme une hauteur équivalente (**h**) en utilisant la relation

$$P = \rho g h = \rho g h$$

La pression donnée en unité de **Pa** lorsque **h** est exprimé en (**m d'hauteur d'eau**) :

$$1 \text{ m hauteur d'eau} = 9810 \text{ Pa}$$

Si **h** devait être exprimé en mm d'eau, cependant, la conversion en unités de pression en unité de **Pa** serait donnée par

$$P = 9.81 h$$

Donc :

$$1 \text{ mm hauteur d'eau} = 9.81 \text{ Pa}$$

3. Les pompes centrifuge

3.1. Introduction

Les pompes centrifuges sont largement utilisées pour pomper toutes sortes de liquides y compris des fluides corrosifs ou visqueux, ou qui contiennent des solides en suspension. Leur taille va de petites unités comme les pompes de circulation utilisées dans le système de chauffage central domestique ; ou des grosses pompes comme celle qui sont utilisées pour élever de grandes quantités d'eau dans le système de stockage. La figure 1 montre les composants essentiels d'une pompe centrifuge.

Une roue à aubes, constituée d'un disque qui porte un certain nombre d'aubes tourne dans une chambre fixe. La rotation de la roue entraîne l'aspiration de l'eau du tuyau d'admission dans les passages rotatifs entre les aubes ou l'effet centrifuge produit une augmentation de la hauteur manométrique totale. Il est déchargé des passages rotatifs dans une spirale généralement appelée volute qui refoule vers le tuyau de sortie.

Les proportions de la roue dépendent du service de la pompe. Si le débit est faible et que la hauteur de charge est élevée, la pompe aura une roue étroite et le rapport entre le diamètre de sortie et d'entrée sera important. Si, cependant, un débit plus important avec une

hauteur de charge plus petite est nécessaire, la roue sera donc plus large avec un rapport de diamètre plus petit.

Le débit aura également une composante axiale, en particulier à proximité de l'entrée de la turbine (roue) comme illustré dans la figure 1.

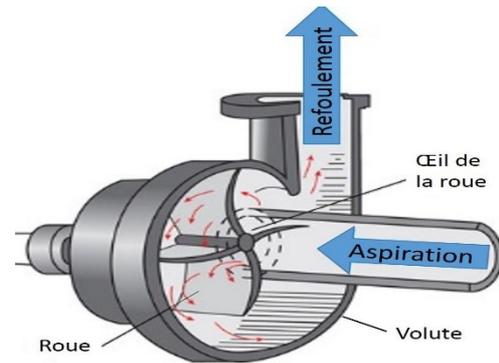
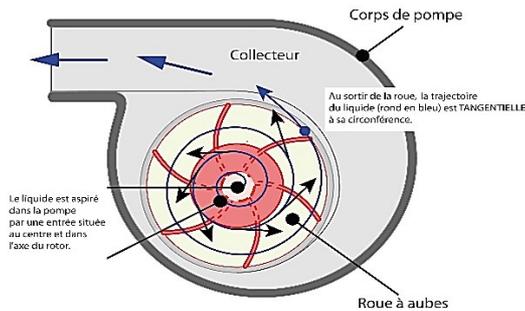


Figure 01 : élément d'une pompe centrifuge

Comme le débit requis continue d'augmenter par rapport à l'augmentation de hauteur manométrique souhaitée, la composante axiale augmente également par rapport à la radiale, aboutissant finalement à une construction dans laquelle le diamètre de sortie n'est pas supérieur au diamètre d'entrée, une telle pompe est décrite comme une unité à flux axiale plutôt que centrifuge

3.2.Remarque générale sur la performance des pompes

Cette section présente une théorie élémentaire d'une pompe purement centrifuge et décrit les procédures d'essai pour établir les performances d'une unité typique.

Pour toute pompe, l'augmentation de la hauteur totale H de l'entrée à la sortie liée à la fois au débits et à la vitesse de rotation.

Lorsqu'il est entraîné à une vitesse constante N , il existe une relation spécifique entre l'élévation de charge totale H et le débit, comme indiqué par la courbe typique illustrée à la figure 2.a

Le couple T requis pour entraîner la roue à aubes à la vitesse N augmente généralement quelque peu avec l'augmentation de Q .

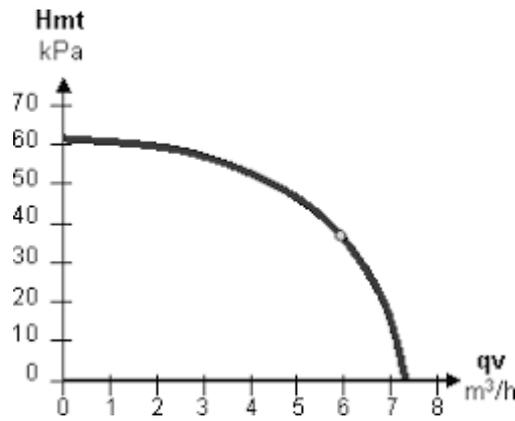


Figure 02 ; courbe de performance typique à une vitesse de pompe constante

Le débit massique entrant à travers la pompe est donnée en terme en débit volumique Q et de densité ρ de l'eau

$$q_m = Qv \cdot \rho \dots\dots\dots 01$$

La puissance hydraulique P_h générée en élevant la masse d'eau à la vitesse à la hauteur effective H contre la gravité est donc :

$$P_h = \rho g Q H \dots\dots\dots 02$$

Maintenant la puissance hydraulique absorbée p, fourni par le couple T faisant tourner la roue à vitesse angulaire ω est

$$P_0 = \omega \cdot T \dots\dots\dots 03$$

Le rendement de la pompe est défini comme le rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée.

$$\eta = \frac{P_h}{P_0} = \frac{\rho g Q H}{\omega T} \dots\dots\dots 04$$

On considère que l'efficacité soit zéro si P₀ égal à 0 c'est-à-dire si le débit Q égal à 0 ou si H égale 0 dans cette plage l'efficacité atteint une valeur maximal. Pour les pompes de grande taille, cette efficacité maximale est normalement assez élevée dépassant souvent 90% . Pour des pompes plus petites telles que celle étudiées dans des laboratoires où la puissance est de l'ordre de 1 KW, il est peu probable que l'efficacité maximale dépasse 50% , la réduction de l'efficacité avec la taille de réduction est due à l'importance croissant des pertes hydrauliques et mécaniques que la taille réduit.

Dans le système SI des unités :

ρ est exprimé en **Kg/m³**

Q est exprimé en **m³/s**

q_m est exprimé en **Kg/s**

Dans l'équation 03 le **P_h** apparaît en **Kg m²/s³**

Notons que **1 N= 1 Kg m/s²**

Le **P_h** apparaît en Nm/s ou en watt

De même dans l'équation 03 en utilisant le système d'unité SI

ω est exprimé en rad/s

T est exprimé en unité de Nm donc **P₀** apparaît en unité de Nm/s ou en unité de W. Dans la pratique de l'ingénierie les vitesses de rotation sont le plus souvent exprimées en unité de tr/min ou en unité **tr/s**

$$=2\pi N/60 \dots \dots \dots =05$$

3.3.Effet d'un changement de vitesse de la pompe

La **figure 03** montre une caractéristique de débit en fonction de H pour une pompe fonctionne à une vitesse constante. Supposant que la pompe fonctionne maintenant à différentes vitesse constantes **N1, N2 , N3....** À son tour. Une caractéristique différente sera obtenue pour chacune de vitesse choisies, comme représentés à la **figure 03.a**.

Comme on le verra dans une section ultérieure, toutes les courbes peuvent être réduites à une seule par la simple procédure de mise à l'échelle suivant.

Tout d'abord, une certaine vitesse de référence **N_{ref}** est choisie.

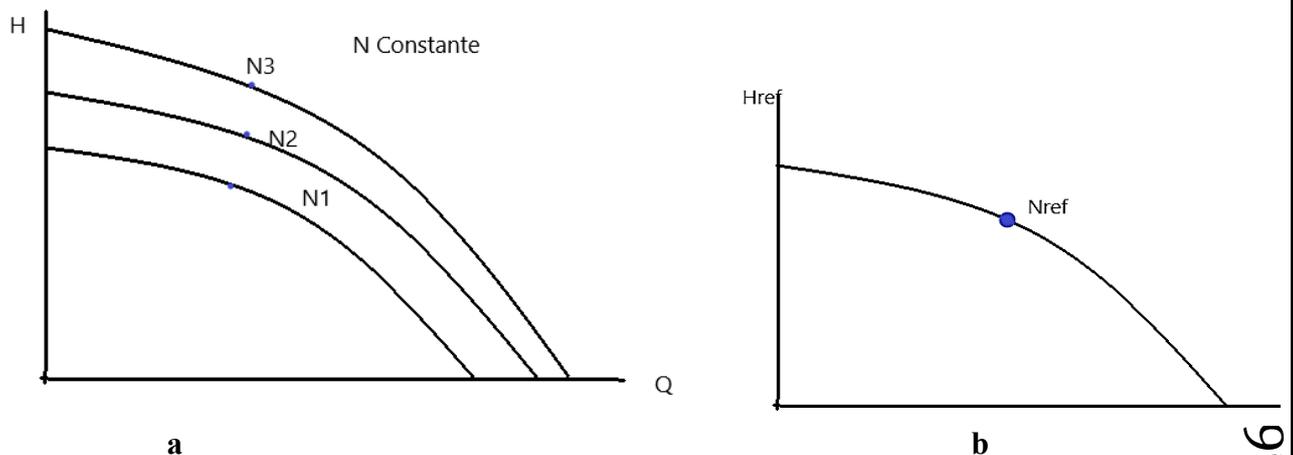


Figure 03 : la relation Hauteur - débit à différentes vitesses de rotation

La caractéristique Hauteur – débit à toute autre vitesse telle que N , peut alors être transformée à une caractéristique correspondant à la vitesse N_1 en mettant à l'échelle les débits et les hauteurs selon les équations

$$\frac{Q_{ref}}{Q_1} = \frac{N_{ref}}{N_1} \dots\dots\dots 06$$

$$\frac{H_{ref}}{H_1} = \left(\frac{N_{ref}}{N_1}\right)^2 \dots\dots\dots 07$$

Utilisant ces équations les trois points individuels marqués sur la **figure 03.a**. Sur les caractéristiques aux vitesses N_1 , N_2 et N_3 sont transformés en un seul point marqué sur la caractéristique à la vitesse de référence sur la **figure 03.b**.

En appliquant la procédure à un nombre quelconque de points sur les différentes courbes de charge, on voit que les résultats expérimentaux obtenus à toutes les vitesses peuvent être réduits à la vitesse de référence choisie.

Les caractéristiques rendement – débit trouvées à différentes vitesses peuvent également être présentées sur la base d'un débit sans dimension. Cependant au lieu de se réduire à une seule courbe, le rendement tend à augmenter quelque à mesure que la vitesse de la pompe augmente, de sorte qu'on retrouve une famille de courbes de forme généralement similaires.

L'augmentation de l'efficacité avec la vitesse est due à l'effet décroissant des pertes mécaniques et hydrauliques à mesure que la vitesse de pompe augmente

4. Le point de fonctionnement

Le point de fonctionnement est le point d'intersection entre la caractéristique de hauteur de refoulement de la pompe $H(Q)$ et la caractéristique de hauteur de refoulement du système $H_A(Q)$

Il précise les valeurs du débit Q et de la hauteur manométrique H , qui sont réglées en fonctionnement stationnaire avec la vitesse n appartenant à la caractéristique manométrique de la pompe.

Le point de fonctionnement souhaité doit être compris comme le point de la courbe caractéristique du système pour lequel une pompe est recherchée conformément aux

calculs de canalisation. Le but de la sélection est (en plus d'autres critères tels que l'efficacité maximale) de minimiser l'écart entre le point de fonctionnement souhaité et le point de fonctionnement (réel).

Le point de fonctionnement du système est toujours au point d'intersection entre la pompe et la caractéristique actuelle du système. À vitesse constante, il migre sur la courbe d'étranglement avec une résistance croissante du tuyau à un débit volumique plus petit. Le point de fonctionnement doit être proche de l'efficacité optimale (**Figure 04**)

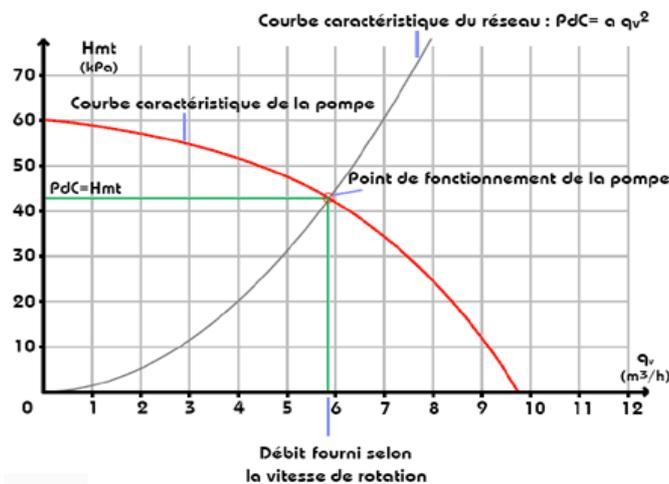


Figure 04 : Point de fonctionnement

5. Couplage des pompes centrifuges

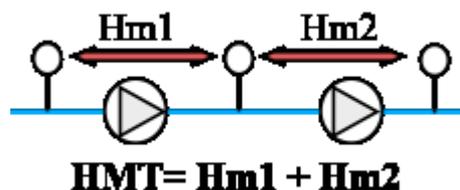
Pour étudier le fonctionnement simultané de deux pompes sur un même réseau, en parallèle ou en série, on les substitue par une pompe dite équivalente dont la caractéristique est la résultante des caractéristiques des deux pompes.

5.1. Couplage en série

En plaçant 2 pompes en série, la HMT sera égale à la somme des HM des deux pompes.

$$Q_{eq} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

$$HMT_{eq} = HMT_1 + HMT_2 + HMT_3 + \dots$$



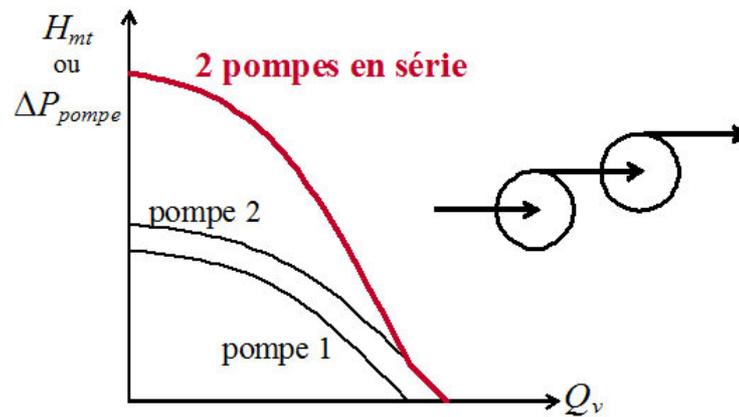


Figure 06 : Couplage de deux pompe en série

Le couplage en série est mis en application sur les pompes centrifuges multicellulaires. Tout se passe comme si le refoulement d'une pompe arrivait à l'ouïe d'aspiration de la pompe suivante. Pour un débit donné, la hauteur d'élévation est égale à la somme des hauteurs d'élévation produites par chaque groupe ou chaque cellule.

5.2. Couplage en parallèle

Les pompes en parallèle fournissent la même hauteur de refoulement. Le débit total donné par toutes les pompes est la somme des débits

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

et pour des pompes identiques et avec les mêmes pertes de charge dans les lignes en parallèle :

$$H_{MTeq} = H_{MT1} = H_{MT2} = H_{MT3} = \dots$$

Nous expliquons le cas général de deux pompes dont les caractéristiques ne sont pas identiques. Soit 2 pompes en parallèle : la pompe P1 et La pompe P2.

La figure 07 montre les caractéristiques des deux pompes P1 et P2 fonctionnant en parallèle. La

courbe caractéristique résultante (Q_r) est la somme des débits de la pompe P1 (Q_1) et de la pompe P2 (Q_2) à une hauteur donnée. Pour une hauteur donnée, on additionne simplement le débit de la pompe P1 à celui de la pompe P2. Dans la zone de débit où la hauteur de la pompe P1 est supérieure à la hauteur de la pompe 2, la courbe caractéristique résultante se confond avec la courbe de la pompe 1. C'est entre autre dans cette zone que la pompe P1 peut refouler dans la pompe P2

car la pompe P1 refoule à une hauteur plus importante. D'où l'intérêt d'un clapet anti-retour.

Le point de fonctionnement de ce système est déterminé par l'intersection de la courbe caractéristique du réseau avec la courbe caractéristique résultante. La pompe P1 refoule un débit Q_1 (point 1), la pompe

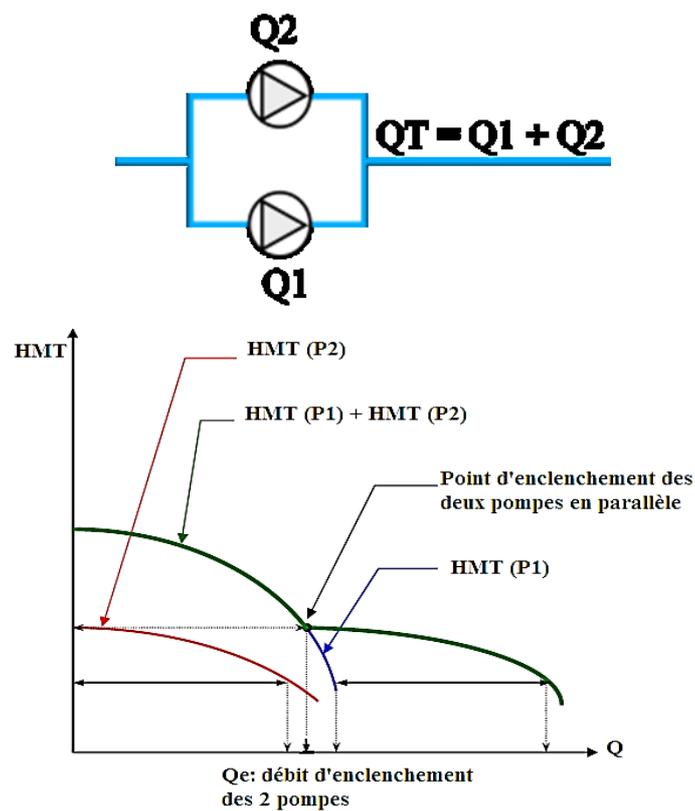


Figure 04 : couplage de deux pompes non identique en parallèle

TP N°01 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge**1. Objectifs**

Détermination de la courbe $H(Q)$ d'une pompe centrifuge pour une comparaison ultérieure avec des pompes série et parallèle.

2. Matériel nécessaire

Unité FME-12

Groupe ou banc hydraulique

3. Procédure expérimentale

Pour obtenir la courbe $H(Q)$ les valeurs de p_2 (pression de refoulement de la pompe 1 et la pression d'admission en fonction du débit, qui est réglée avec le soupape de décharge (11), devra être prise. La procédure à suivre est:

- a. Effectuez les connexions de la pompe comme dans la figure suivante :

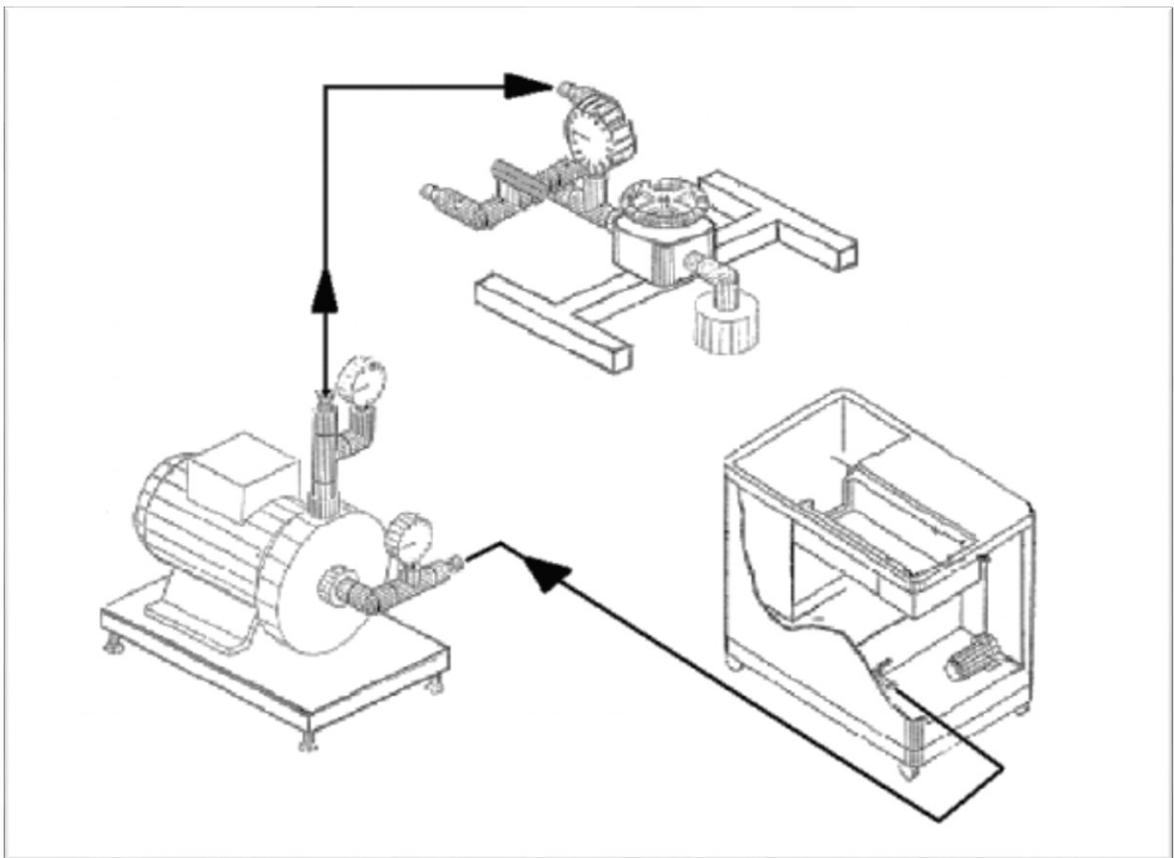


Figure N°05 : Montage d'une pompe centrifuge

- b. Vérifiez que le réservoir a un niveau de liquide suffisant.
- c. Fermez complètement la soupape de décharge.
- d. Avec la soupape de décharge, le débit est modifié, en répétant les étapes précédentes jusqu'à la fin de la plage de débit de la pompe.
- e. Notez les valeurs de la pression de refoulement et d'admission pour chaque débit établi.
- f. Représente les valeurs de H (Q)

4. Résultats et tableaux

Expérience	Débit l / min	M Entrée P (bar)	M Sortie P (bar)	M décharge P (bar)

5. Travail demander

- Tracer la courbe H en fonction de Q
- Comment avez-vous obtenu la courbe caractéristique de la pompe (une démonstration de calcul est obligée).

TP N°02: Montage de pompes en série

1. Objectifs

Etude de deux pompes, en série, de mêmes caractéristiques pour voir comment on obtient un doublement de hauteur, par rapport à l'utilisation d'une seule pompe.

2. Matériel nécessaire

- Unité FME-12
- Banc ou groupe hydraulique

3. Procédure expérimentale

Placez l'équipement en position série en suivant les étapes suivantes :

- a. On considère le banc hydraulique ou la pompe du groupe hydraulique comme la pompe 1. La pompe 1 sera la pompe primaire, puis le jet d'écoulement d'eau de la pompe 1 va à la pompe 2, pompe FME12.
- b. L'admission de la pompe FME 12 est reliée à la sortie de la pompe 1.
- c. Le refoulement de la pompe 2 est relié au dispositif de refoulement dans l'entrée 2; vérifier que le robinet à boisseau sphérique du dispositif de décharge est fermé.

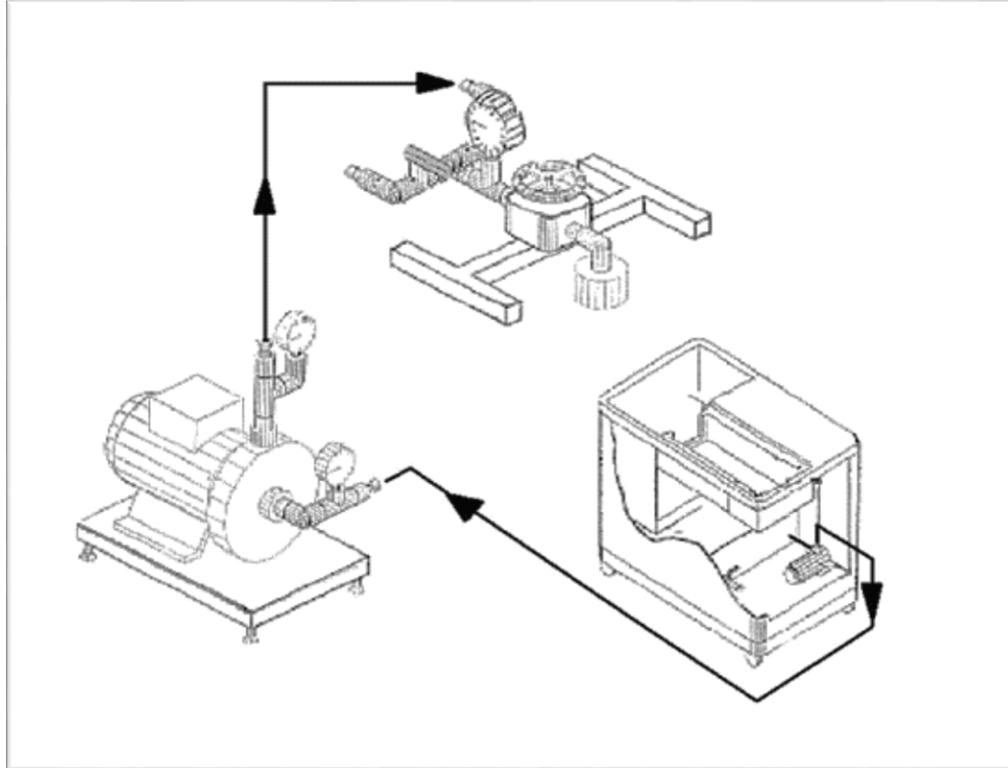


Figure N°06 : couplage de deux pompes identiques en série

Pour étudier le comportement de deux pompes centrifuges similaires couplées en série, la décharge de l'une d'elles est reliée à l'admission de l'autre, de sorte que l'admission de la première sera l'admission du système en série et la décharge de la seconde sera le déchargement du système en série. Lors du raccordement de deux pompes similaires en série, on cherche à doubler la hauteur d'élévation pour un débit déterminé par rapport à chacune des pompes séparément.

Logiquement, la puissance absorbée par le groupe sera doublée et, par conséquent, le rendement doit être le même que dans chacune des pompes séparément. Désormais, nous ferons l'hypothèse que les deux pompes ont des courbes caractéristiques identiques. Pour l'exécution de la pratique, procédez comme il est indiqué :

- a. Obtenez la connexion en série.
- b. Vérifiez que le réservoir a un niveau d'eau suffisant.
- c. Ouvrez complètement la vanne de déchargement.
- d. Par le réglage de la vanne de décharge, terminer l'étude en faisant varier le débit de la pompe isolée B1, comme en pratique 1. La pompe B1 étant identique à la pompe B2, la caractéristique obtenue pour B1 est considérée comme valable pour la pompe B2.

- e. Lorsque la variation de débit est terminée, la prise de données sera terminée.
- f. Analyser les résultats, commenter les écarts possibles avec la théorie et commenter l'influence que peut avoir la perte de charge sur certains tracés de courbes.

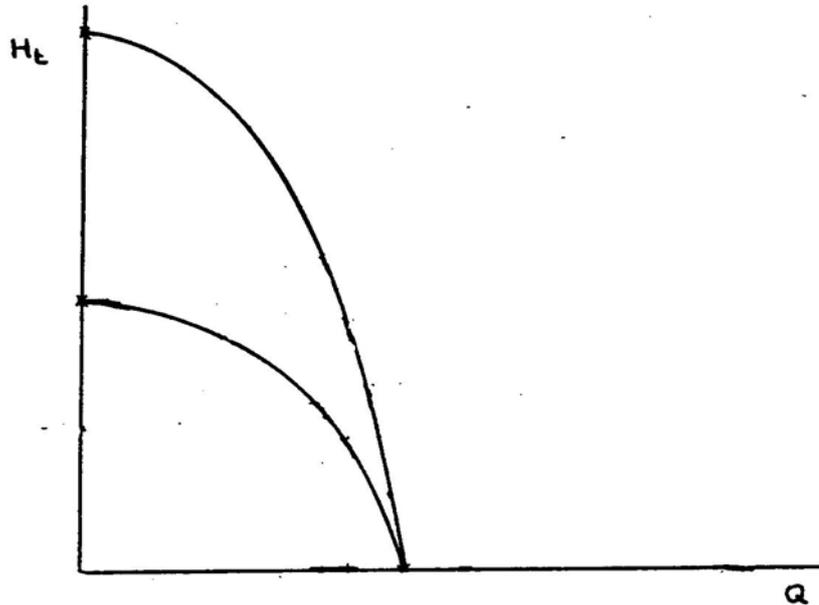


Figure 07 : Couplage en série de pompes centrifuges de caractéristiques similaires

4. Résultats et tableaux

Écrivez les résultats dans le tableau suivant.

Expérience	Débit l / min	M Entrée (Aspiration) P (bar)	M Sortie (refoulement) P (bar)	M Décharge P (bar)

5. Travail demander

- Tracer les courbes de couplage en série
- Comparer les résultats de couplage expérimentale avec les courbes théoriques.

- Interpréter les graphes
- Calculer l'erreur de mesure

TP N°03 : Montage de pompes en parallèle

1. Objectifs

Etude de deux pompes aux caractéristiques similaires en parallèle et comparaison par rapport à l'utilisation d'une seule pompe.

2. Matériel nécessaire

- Unité FME-12
- Dispositif de décharge
- Groupe hydraulique ou banc

3. Procédure expérimentale

Pour étudier le comportement de deux pompes centrifuges similaires couplées en parallèle, vous devez suivre les étapes suivantes :

- a. On considère le banc hydraulique ou la pompe de groupe hydraulique comme la pompe 1 et la pompe FME12 comme la pompe 2.
- b. L'alimentation en eau des deux pompes est récupérée dans le dispositif de refoulement.
- c. Le refoulement de la pompe 1 doit être connecté au dispositif de refoulement dans l'entrée 1, et le refoulement de la pompe 2 doit être connecté au dispositif de refoulement dans l'entrée 2. Le robinet à boisseau sphérique du dispositif de refoulement doit être ouvert. Voir la figure suivante.

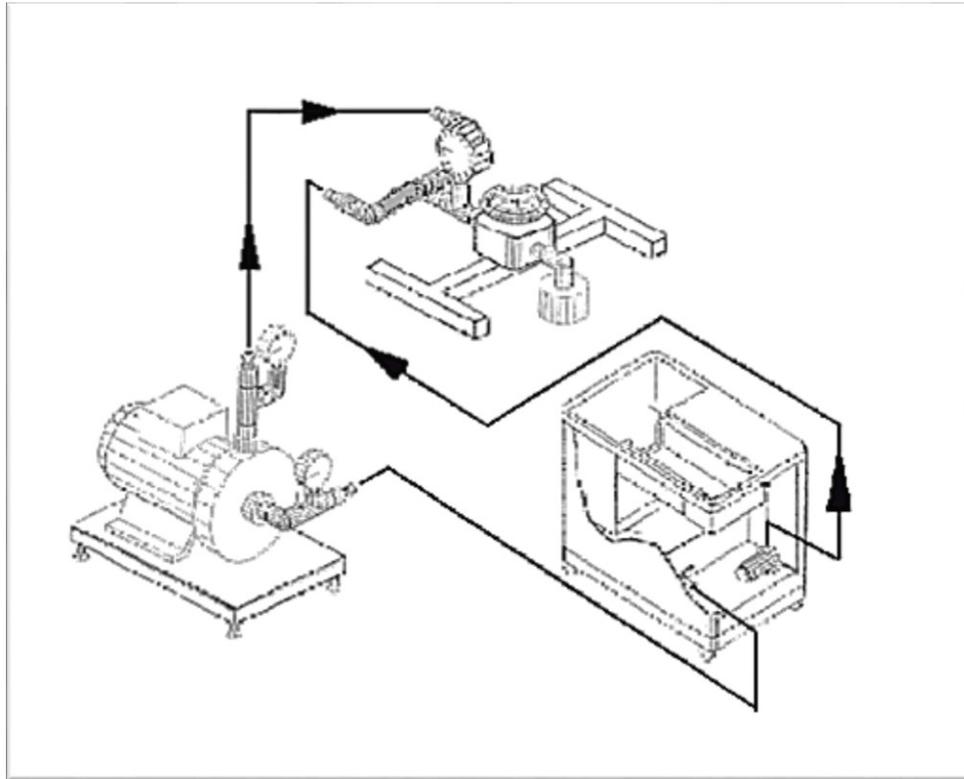


Figure N°08 : Couplage de deux pompes en parallèle

Pour étudier le comportement de deux pompes centrifuges similaires couplées en parallèle, l'admission des deux pompes est reliée pour être l'admission du système et la décharge des deux pompes pour être la décharge du système parallèle. Lors du raccordement de deux pompes similaires en parallèle, on cherche à doubler le débit impulsé pour chaque hauteur d'élévation par rapport à celui de chacune des pompes séparément.

Logiquement, la puissance absorbée par le groupe sera doublée et, par conséquent, le rendement doit être le même que celui de chacune des pompes séparément. Pour l'exécution des pratiques, procédez comme suit:

- a. Obtenir la connexion en parallèle
- b. Vérifiez que le gisement a un niveau d'eau suffisant
- c. Ouvrez complètement la soupape de décharge.
- d. Par le régulateur de vitesse, nous fixons la pompe B1 à 2900 tr / min
- e. Brancher la pompe B2 du banc hydraulique ou du groupe.
- f. Par la régulation de la vanne de déchargement, compléter l'étude en faisant varier le débit de la pompe isolée B1, comme en pratique 1. Ces caractéristiques seront considérées comme les caractéristiques de la pompe B2.

g. Analyser les résultats, en commentant les écarts théoriques possibles et l'influence que la perte de charge de certaines traces de conduction a sur elle.

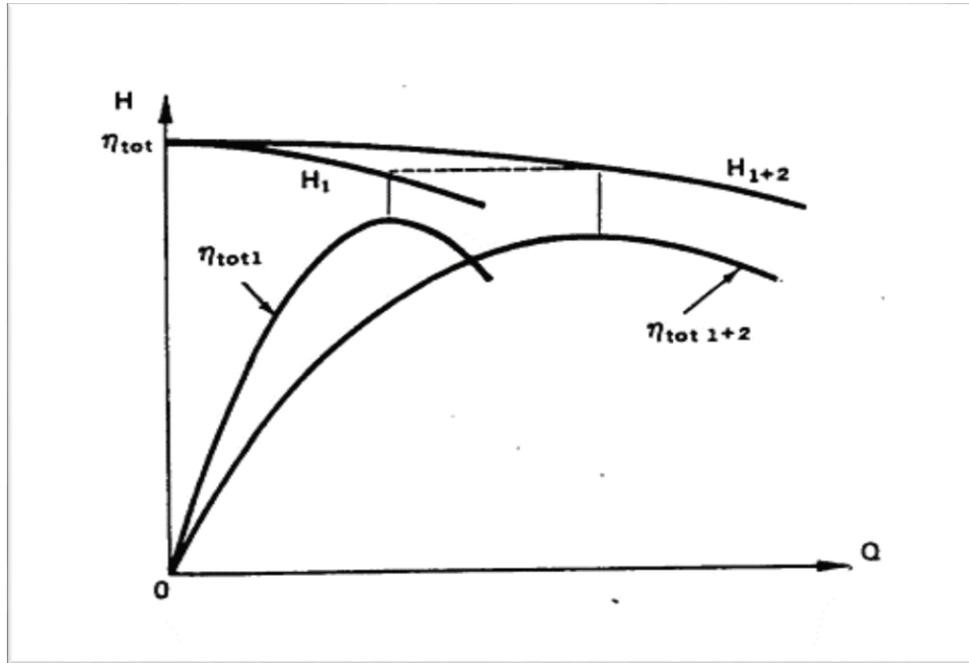


Figure N°09: Couplage parallèle de pompes centrifuges de caractéristiques similaires

4. Résultats et tableaux

Expérience	Débit l / min	M Admission P (bar)	M Sortie P (bar)	M Décharge P (bar)

5. Travail demander

- Tracer les courbes de couplage en parallèle
- Comparer les résultats de couplage expérimentale avec les courbes théoriques.
- Interpréter les graphes
- Calculer l'erreur de mesure

Phénomène de la cavitation

1. Description de l'unité

L'unité FME19, Cavitation phénomène de démonstration, est constituée d'un tube de Venturi à section transversale rectangulaire, étant l'un de ses côtés transparents pour permettre la visualisation des phénomènes de cavitation.

Un manomètre et une jauge de vide sont inclus aussi, ils sont respectivement reliés à l'entrée et aux sections de rétrécissement les plus petites.



Figure 10 : unité de cavitation

La pression est transférée par de minces tubes capillaires situés à l'arrière du cadre dans les sections du tube de Venturi.

2. Possibilités pratiques

La visualisation de ces phénomènes de cavitation dans une conduction forcée (tube de Venturi).

3. Spécifications

- Gamme de manomètre: de 0 à 2,5 bar.
- Gamme de vacuomètre: -1 à 0 bar.
- Section de la gorge: 36 mm².
- Section normale: 150 mm².

4. Dimension et poids

- Les dimensions approximatives: 750 x 550 x 350 mm.
- Volume approximatif: 0,22 m³.
- Poids approximatif: 5 kg.

5. Services requis

Banc hydraulique, FME00.

6. Théorie

L'eau, comme tout autre liquide, contient certaines quantités. Dans le cas de l'eau, par exemple, la quantité d'air dissous sera inversement proportionnelle à la pression et la température de l'eau.

Cependant, lorsqu'un liquide est sous sa pression de saturation ou la pression de vapeur, P_v , Un phénomène connu sous le nom cavitation se produit.

Ainsi, si les flux de liquide à travers un certain tube à une pression inférieure à la pression de saturation, proportionnel à sa température, de bulles de vapeur et d'air se forment, ce qui rend la cavitation facilement visible et audible.

Dans la gorge du tube de Venturi de l'équipement, la cavitation se produit avec un certain volume d'écoulement en raison des dimensions géométriques. En appliquant la loi de conservation de l'énergie à la section d'entrée et à la gorge, on obtient l'équation suivante :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

D'où:

P_1 = pression à l'entrée

P_2 = pression à la gorge

V_1 = vitesse d'écoulement à l'entrée

V_2 = vitesse d'écoulement à la gorge

$\gamma = \rho * g$ = poids spécifique

Puisque:

$$Q = V_1 \cdot \sigma_1 = V_2 \cdot \sigma_2$$

Considérant également la relation:

$$\frac{A_1}{A_2} = 4.166$$

Où:

A_1 = zone à l'entrée = $(0,025)^2 \text{ m}^2$

A_2 = zone à la gorge = $(0,006)^2 \text{ m}^2$

En combinant

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot A_1}{A_2} = 4.166 * V_1$$

Ensuite, avec l'équation de la conservation de l'énergie, il peut être écrit ça :

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{(4.166V_1)^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + h_L = \frac{17.36V_1^2}{2g} + h_L$$

Lorsque les phénomènes de cavitation commencent $P_2 = P_v$, P_v étant la pression de vapeur.

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{k \cdot V_1^2}{2g} + h_L + \frac{P_v}{\gamma}$$

Mais:

$$h_L = \frac{k_1 \cdot V_1^2}{2g}$$

Ensuite, en reliant les deux équations et en définissant $k_2 = (k_1 + k)$, nous avons cela :

$$\frac{P_1}{\gamma} = (k + k_1) \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_v}{\gamma} = k_2 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_v}{\gamma}$$

C'est:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \varphi \frac{V_1^2}{2g}$$

Cette équation représente une ligne droite avec une pente de K_2 et un seuil de coupure de l'axe y de $\frac{P_v}{\gamma}$.

TP N°04 : Étude de la cavitation

1. Objectif

L'objectif de cet exercice pratique est d'observer le phénomène de cavitation avec conduction forcée.

2. Matériel

- Banc hydraulique (FME00).
- Unité de démonstration de Cavitation (FME19).
- Chronomètres (non fourni).

3. Procédure

Placez l'équipement sur le banc hydraulique. Par le tube flexible de connexion rapide, connectez l'équipement à l'entrée d'impulsion du banc. Placer l'extrémité de l'autre tuyau flexible, relié à la sortie de l'équipement, dans le réservoir volumétrique du banc afin de mesurer le débit.

Une fois l'équipement installé, la vanne de contrôle de débit du banc sera fermée. Démarrer l'équipement et ouvrir lentement sa vanne de contrôle jusqu'à ce qu'elle soit totalement ouverte pour obtenir la valeur maximale de débit capable de s'écouler à travers le système et d'observer la formation de mousse, ce qui indique l'existence de cavitation. Notez également le bruit qui accompagne une ouverture rapide de la vanne.

Mesurer le débit dans de telles conditions et noter la pression du manomètre et de la jauge à vide.

Réduire progressivement la pression dans la section d'entrée (indiquée par le manomètre), à des intervalles de 0,05 bar, jusqu'à ce que la cavitation cesse, en notant les valeurs de débit et de pression à l'entrée et à la gorge pour chaque position de la vanne de régulation de débit.

Mesurer la température de l'eau, car en fonction de celle-ci, la valeur du poids spécifique de l'eau, γ , sera différente. Le tableau suivant montre les différentes valeurs de γ pour une plage de températures comprise entre 0 et 30°C. La valeur de la pression de vapeur, P_1/γ , pour ce rang de température est spécifiée de la même manière.

Température (° C)	0	5	dix	15	20	25	30	35
Poids spécifique, γ (N / m ³)	9805	9806	9803	9798	9789	9779	9767	9752
Pression de vapeur $P_1/\gamma(M)$	0,06	0,09	0,12	0,17	0,25	0,33	0,44	0,58

Pour faciliter les calculs, le tableau suivant est donné:

Le volume l	Temps sec	Débit m ³ / sec	P ₁ bar	P ₁ / γ m	P ₂ bar	P ₂ / γ m	V ₁ m/s	V ₂ m/s	V ₁ ² / 2 g m

D'Où:

P₁: Pression à l'entrée.

P₂: Pression dans la zone étroite.

V₁: Vitesse d'écoulement à l'entrée.

V₂: Vitesse d'écoulement au niveau de la zone étroite.

La valeur de l'aire de la section d'entrée est la suivante: $25 * 6 = 150 \text{ mm}^2$

La superficie de la zone étroite est la suivante: $6 * 6 = 36 \text{ mm}^2$

La hauteur du manomètre et de la jauge à vide au cours de la conduction de l'essai est la suivante: 162,5 mm.

Avec les données obtenues, établir la fonction:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \varphi \frac{V_1^2}{2g}$$

4. Travail demander

- Remplir le tableau
- Déterminer la valeur de la pente de la fonction, k_2 , et le seuil de l'axe des y, pour obtenir le P_v .
- Comparer la valeur obtenue pour P_v avec celle de l'équipement de mesure et avec la valeur des tableaux standards pour la température du débit analysé.

5. Les questions

- Quel est le degré de précision de l'appareil ?
- Quelle est la valeur maximale détectée de la pression d'eau en amont à que le système est exempt de cavitation ?
- Discutez brièvement des effets de la cavitation et citez quelques exemples où la prévention de la cavitation est nécessaire

Cette collection TP de Machines Hydraulique est un modeste recueil des travaux pratiques assurés au sein de laboratoire du département de Génie civil et Hydraulique, ces TP, conçus sur la base du matériel disponible destiné aux étudiants du première année

Master Hydraulique. Ils constituent un apport pédagogique complémentaire aux cours Machine hydraulique et station de pompage

Dispensés dans la filière
Master Hydraulique Urbaine.

Bibliographie

ALLIA Z. (2021) Polycopie de cours Machine hydraulique et station de pompage, centre universitaire Mila

CHETTI A. (2019) Polycopie de cours Pompe et stations de pompage, Centre universitaire d'El-Bayadh.

Manual EDIBON <https://www.edibon.com/fr/banc-d-etude-et-alignement-des-pompes>

MARKLAND E. (2003) A first cours in Hydraulics, Products Division: TQ Education and Training Ltd.