

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ziane Achour de Djelfa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique



جامعة زيان عاشور بالجلفة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية

**Domaine** : Sciences et technologies

**Filière** : Génie mécanique

**3<sup>ème</sup> Année Licence**

**Spécialité** : Énergétique

**Polycopié de la matière**

## TP TURBOMACHINES

**Réalisé par : Dr. KOUADRI Amar**

**Maître de conférences « A »**

**2025/2026**

## **Avant-propos**

Ce polycopié de travaux pratiques en turbomachines est destiné spécialement aux étudiants de la 3<sup>ème</sup> année licence Énergétique (S5) ainsi qu'aux étudiants du domaine des Sciences et Techniques de l'enseignement supérieur. Le manuscrit est constitué de séances de travaux pratiques accompagnées de protocoles expérimentaux détaillés et de tableaux de résultats, conformément au programme de turbomachines agréé par le ministère.

Le premier TP constitue une introduction expérimentale à l'étude d'une pompe centrifuge seule, à travers la détermination de ses caractéristiques de performance : la charge hydraulique, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement global, en fonction du débit volumétrique. Elle aborde également l'analyse adimensionnelle par le calcul du nombre de Reynolds à différentes vitesses de rotation.

Le deuxième TP élargit cette étude au couplage de pompes centrifuges, en examinant successivement le fonctionnement d'une pompe seule, le montage en parallèle et le montage en série. Cette approche progressive permet à l'étudiant de comprendre l'influence de la configuration hydraulique sur les performances globales du système de pompage.

L'ensemble de ces travaux pratiques s'appuie sur un banc d'essais instrumenté, équipé d'un variateur de vitesse, d'afficheurs de pression numérique, d'un tube Venturi pour la mesure du débit et d'un système d'acquisition de données optionnel (VDAS), offrant ainsi des conditions expérimentales proches de la réalité industrielle.

Faculté des Sciences et Technologie

Département : Génie Mécanique

Module : TP Turbomachines

Niveau : 3<sup>ème</sup> année licence Energétique (S5)

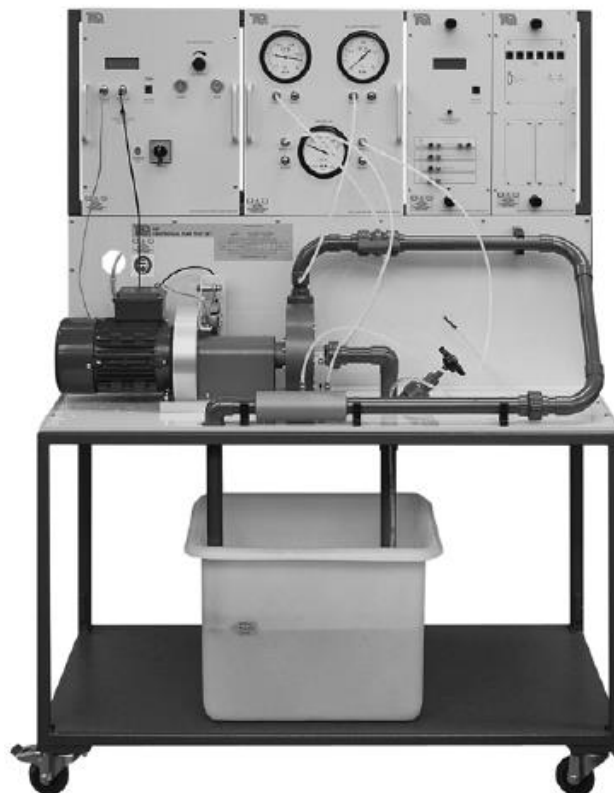
---

## TP N°01 :

---

# Eude d'une Pompe Centrifuge

---



# 1. Présentation Générale

Un châssis mobile supporte la pompe, un réservoir d'eau, la tuyauterie et les instruments de mesure montés sur un rail. Le moteur électrique à vitesse variable qui entraîne la pompe est monté en balance sur un système monté sur palier. Le système comprend un capteur de force (cellule de charge) pour mesurer le couple mécanique du moteur, l'ensemble formant un dynamomètre. Un tachymètre monté sur l'arbre du moteur mesure la vitesse angulaire (la vitesse de rotation de la pompe). Les câbles du moteur et de ses capteurs se connectent à un variateur de vitesse placé sur le panneau d'instrumentation. Celui-ci comprend un bouton Marche/Arrêt et la commande de vitesse du moteur ainsi qu'un afficheur permettant d'afficher la vitesse de la pompe, le couple et la puissance à l'arbre.

L'eau est aspirée du réservoir vers la pompe via une crépine et un clapet à bille. L'eau passe ensuite par une vanne d'entrée, puis au travers de la pompe et sort ensuite par la vanne de sortie pour retourner vers le réservoir d'alimentation en traversant au préalable un tube Venturi. Les prises de pression dans les conduites et le Venturi peuvent être raccordées aux manomètres numériques ou à aiguille optionnel, montés sur le panneau d'instrumentation. Le tube Venturi permet de calculer le débit.

La pompe comprend un flasque transparent afin que les étudiants puissent voir facilement l'eau s'écouler au travers de la pompe. Lorsque le banc est utilisé conjointement avec un stroboscope optionnel, cela aide également des étudiants à visualiser les bulles de vapeur d'eau qui apparaissent lorsque la pompe entre en cavitation à de faibles pressions d'aspiration.

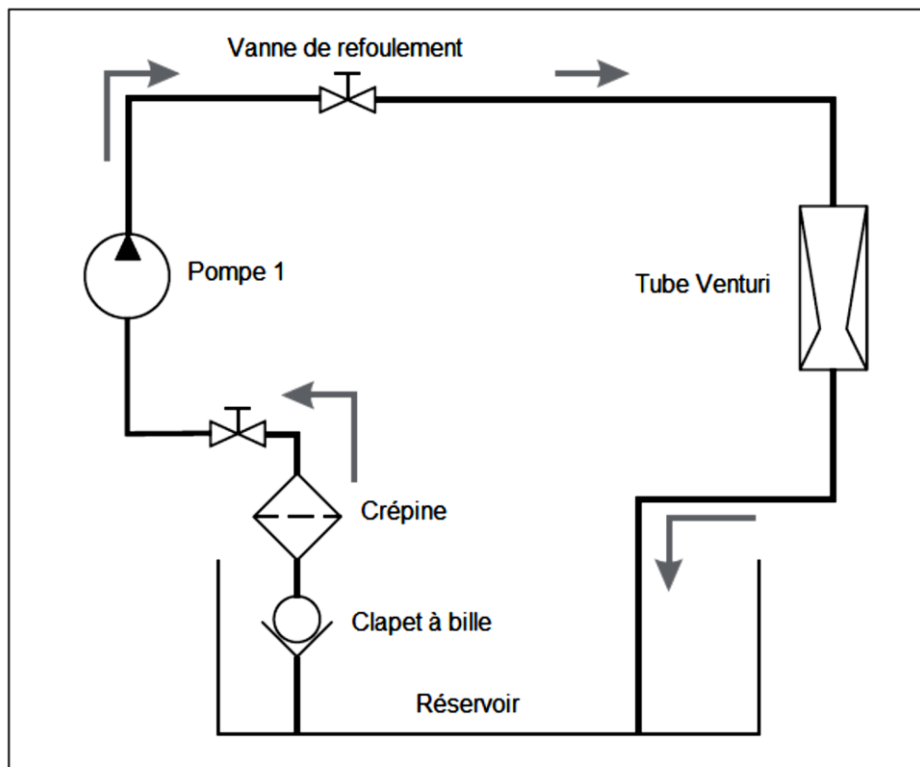


Fig. 1 Schéma hydraulique

## 2. Instrumentation et Commandes

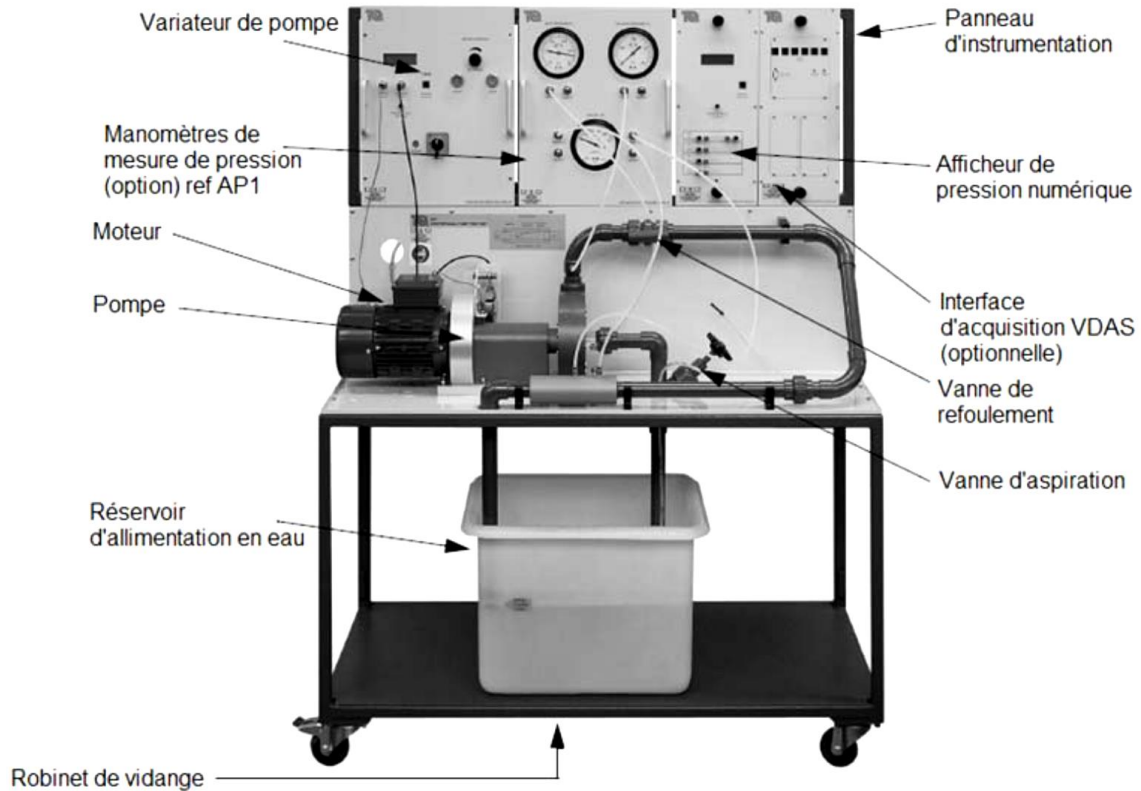


Fig. 2 Nomenclature Générale – Banc montré avec tous les instruments optionnels

### 2.1/ Variateur du moteur (inclus en standard)

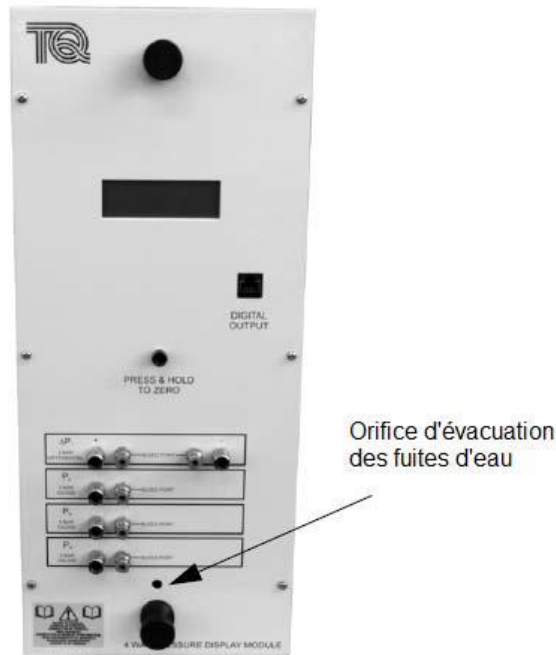
Le variateur du moteur possède un bouton Marche, un bouton Arrêt et un bouton pour contrôler la vitesse du moteur d'entraînement de la pompe. Il comprend également un afficheur numérique qui permet de visualiser la vitesse, le couple et calcule automatiquement la puissance (la puissance = le couple x la vitesse). L'afficheur comprend également une prise de 'Sortie Numérique' pour le relier au système d'acquisition de données optionnel VDAS de TecQuiment.

La vitesse du moteur est contrôlée par un variateur électronique à l'intérieur du panneau d'instrumentation. Ce variateur limite la vitesse maximale du moteur et permet d'appliquer une 'rampe de vitesse', afin d'appliquer un court retard avant que le moteur n'atteigne la vitesse de consigne. Cela permet de prolonger la durée de vie du moteur et de réduire la probabilité d'endommager le système de dynamomètre. De plus, pour se conformer aux normes de sécurité européennes, le moteur de la pompe est équipé d'un capteur thermique (thermistance) afin d'arrêter le moteur au cas où le moteur viendrait à surchauffer.

### 2.2/ Afficheurs de Pression

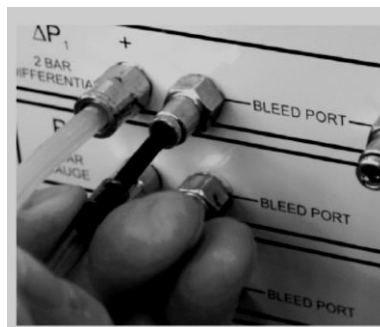
Selon votre commande, l'équipement peut être livré avec l'afficheur de pression numérique ou l'afficheur de pression analogique, voir les deux ensemble. Des pièces en 'T' sont fournies sur les éléments de tuyauterie, afin que les deux types d'afficheurs de pression analogiques et numériques puissent être utilisés en même temps.

## L'Afficheur de Pression Numérique (DP1)



**Fig. 3 Module d'Affichage de Pression Numérique**

Cet instrument comprend quatre capteurs de pression électroniques, montés dans un module qui vient se monter le panneau d'instrumentation du banc d'essais de pompe centrifuge. L'un des capteurs est un capteur de pression différentielle ( $\Delta P_1$ ) pour le tube Venturi placé sur le banc de pompe, les trois autres sont constitués de prises de pression simples. Chaque capteur de pression est équipé d'un port de purge (Figure 4) La ligne de purge insérée dans un port de purge (Montré inséré dans l'Afficheur de Pression Numérique)) pour purger l'air piégé au début de chaque essai.



**Fig. 4 La ligne de purge insérée dans un port de purge**

Les capteurs de pression  $P_2$  et  $P_3$  se raccordent aux prises de pression situées sur la tuyauterie pour indiquer les pressions d'entrée et de sortie de la pompe comme indiqué dans le Tableau 1.  $P_4$  n'est pas utilisé sur cet appareil. Le module comprend un afficheur numérique pour l'enregistrement manuel des résultats et un connecteur pour le relier à une interface d'acquisition VDAS.

Au milieu de la l'afficheur de pression se trouve un bouton sur lequel est marqué "Press and Hold to Zero Display". (Appuyez et maintenez le bouton enfoncé pour mettre l'indicateur à zéro). Utilisez ce bouton pour mettre à zéro les valeurs de pression.

Capteur de pression	Raccordement à
$\Delta P_1$	Tube de Venturi
$P_2$	Entrée de pompe
$P_3$	Sortie de pompe (refoulement)
$P_4$	Non utilisé

Tableau 1 Connexions de Transducteur de pression

### 2.3/ Ligne de Purge et bouchons des raccords de purge

Une ligne de purge est montée sur l'appareil, insérez l'extrémité de la ligne de purge dans un port de pression pour purger des éventuelles bulles d'air piégées. La ligne de purge aide à arrêter le déversement d'eau. L'air piégé et l'eau doivent être vidangés en bas vers le réservoir (de l'eau se déplace vers le haut à partir du réservoir lorsqu'un manomètre d'aspiration est purgé).

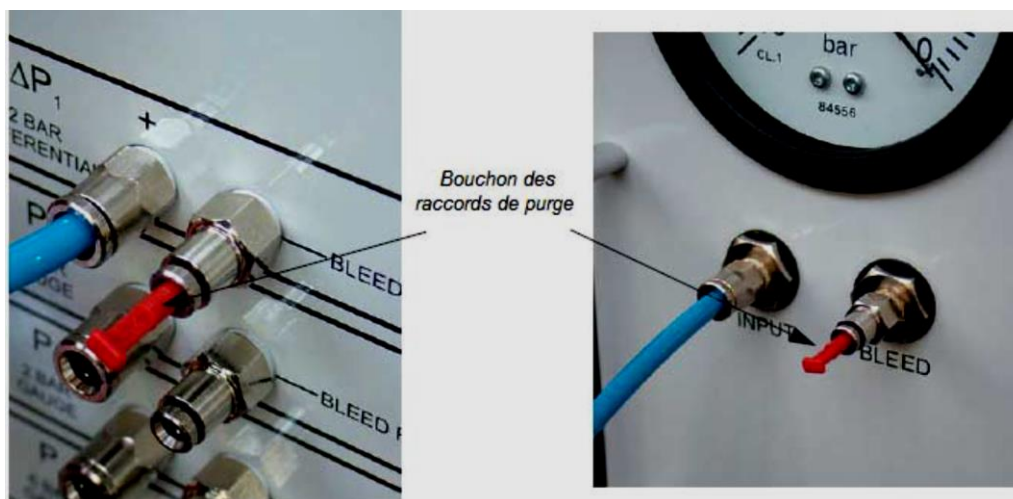


Fig. 5 Bouchons des raccords de purge sur les afficheurs de pression numérique et Analogique

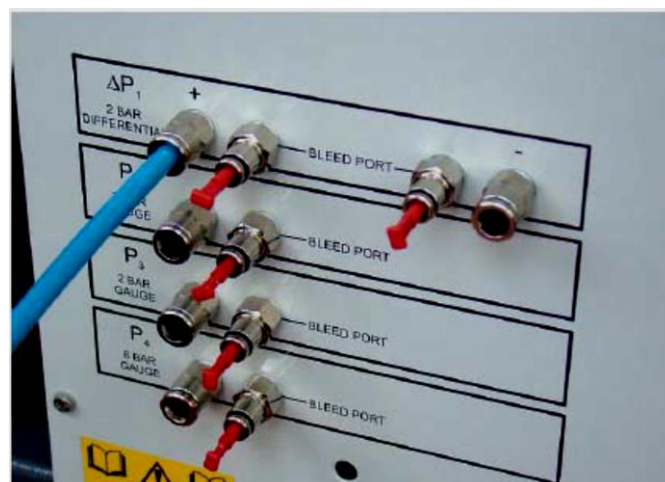


Fig. 6 Tous les bouchons des raccords de purge placés

## 2.4/ Les Vannes

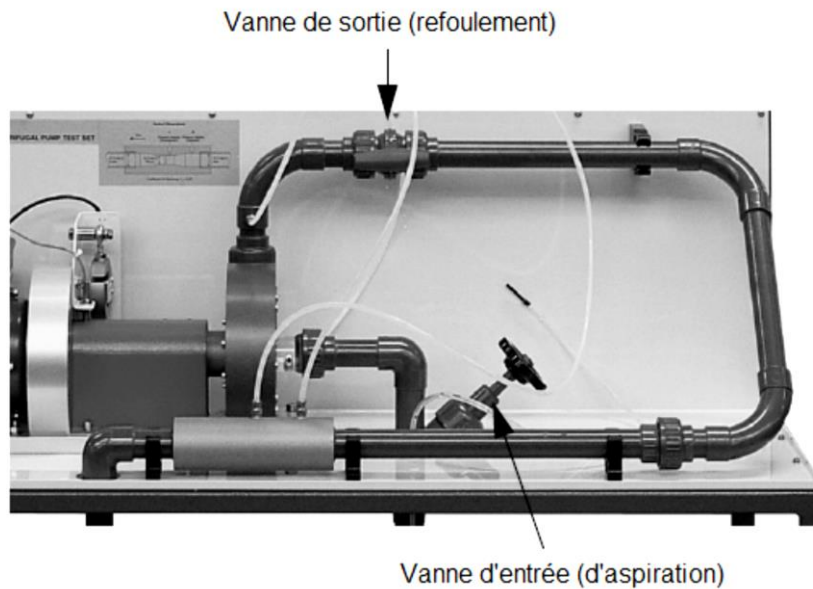


Fig. 7 Les vannes d'aspiration et de refoulement

### **La Vanne de sortie (refoulement)**

La vanne de sortie est contrôlée manuellement. La pression de refoulement augmente lorsque vous la fermez. La pression de refoulement diminue lorsque vous l'ouvrez. Elle tourne de  $90^\circ$ . Elle est ouverte lorsqu'elle est parallèle à la conduite. Elle est fermée lorsqu'elle est à  $90^\circ$  par rapport à la conduite.

### **La vanne d'entrée (d'aspiration)**

La vanne d'aspiration est contrôlée manuellement. La pression d'aspiration augmente lorsque vous la fermez. La pression d'aspiration diminue lorsque vous l'ouvrez. Tournez-la dans le sens des aiguilles d'une montre pour la fermer et en sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'ouvrir.

### **Le tube Venturi**

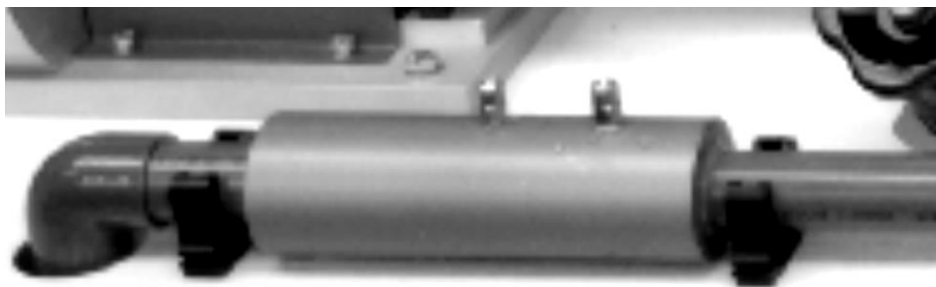


Fig. 8 Le tube Venturi

Le Tube Venturi est un appareil de mesure de débit. Il y a deux prises de pressions sur le Venturi, une à l'entrée et l'autre au col. Lorsque l'eau passe dans le Venturi, il se produit une différence de pression entre les deux prises de pression. La différence de pression est liée au débit d'eau, plus le débit est important, plus la différence de pression est importante.

N.B : Vous pouvez calculer le débit d'eau à partir de la mesure de la différence de pression. Référez-vous au paragraphe 'Débit' dans la section Equations utiles et Théorie pour plus de détails

## 2.5/ Le Système d'Acquisition de données universel (VDAS®) optionnel



Fig. 9 L'interface et le logiciel VDAS

Le système VDAS de TecQuipment est un produit constitué de deux parties (Matériel et logiciel) qui va :

- Enregistre automatiquement les données de vos expériences
- Calcule automatiquement les données
- Vous permet de gagner du temps
- Réduit les erreurs de mesure
- Crée des graphiques et des tableaux à partir de vos données
- Exporte vos données pour les traiter dans un autre logiciel

## 2.6/ La roue de la pompe

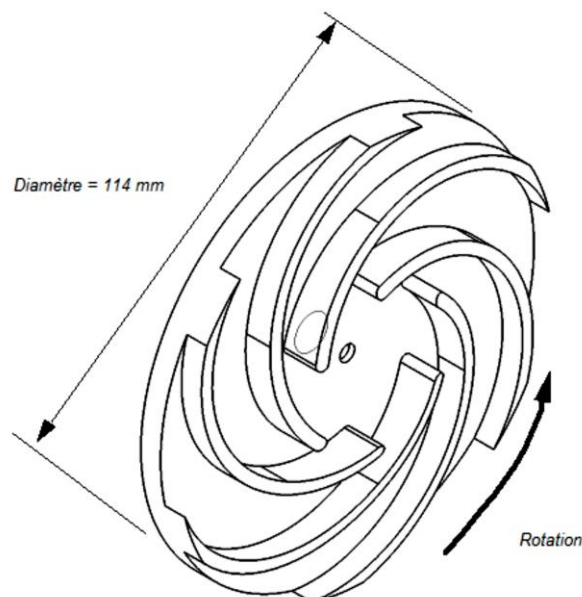


Fig.10 Roue de la pompe

La Figure 10 montre un schéma de la roue utilisée dans le corps de la pompe. La roue possède des aubes courbées vers l'arrière pour fournir une pression de refoulement raisonnable avec un débit et un rendement correct.

## 2.7/Le tube Venturi

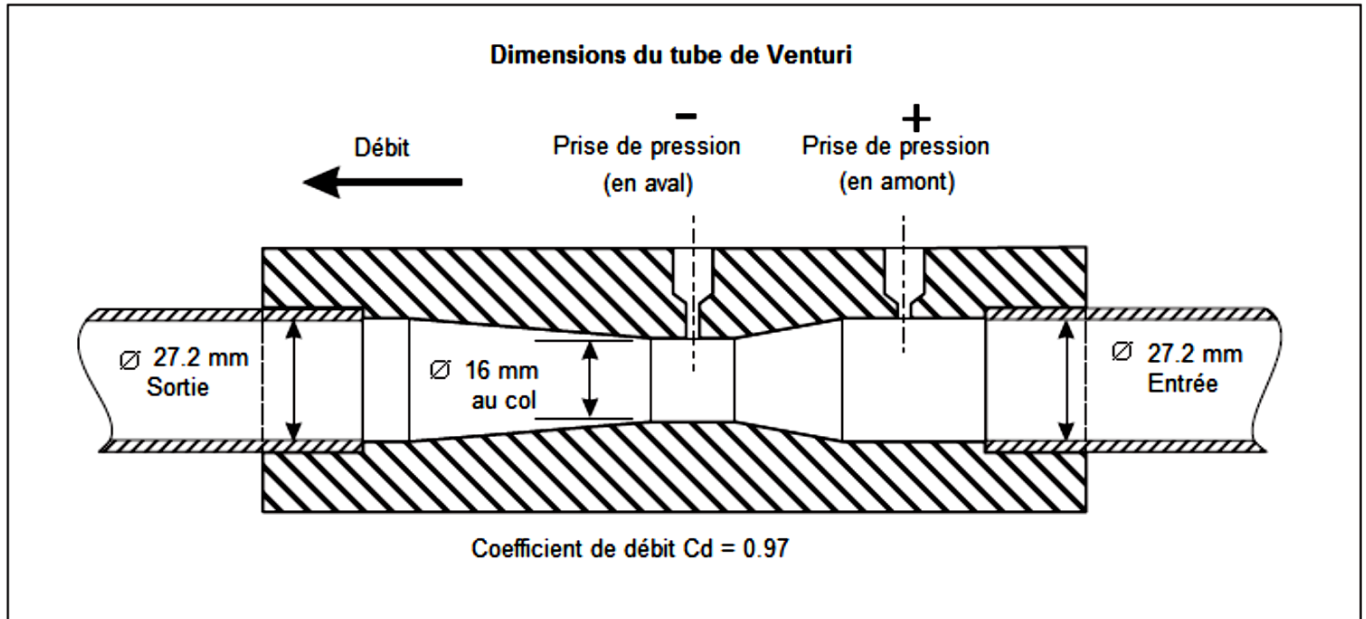


Fig. 11 Les dimensions du tube Venturi

## 3. Équations utiles et Théorie

### 3.1/ Notation

Pression statique à l'aspiration de la pompe	$P_I$	$N.m^{-2}$
Pression statique au refoulement de la pompe	$P_O$	$N.m^{-2}$
Débit volumétrique	$Q$	$m^3.s^{-1}$
Vitesse de la pompe	$N$	$Tr.min^{-1}$ ou $Rad.s^{-1}$
Puissance électrique absorbée par la pompe	$W_1$	Watts
Puissance hydraulique de la pompe	$W_2$	Watts
Pertes ( $W_1 - W_2$ )	$L$	Watt
Rendement de la pompe	$\eta$	%
Diamètre de roue	$D$	m
Diamètre intérieur de la tuyauterie	$d$	m
Hauteur totale d'élévation de la pompe	$H$	Pa ou $N.m^{-2}$
Accélération due à la gravité	$g$	$m.s^{-2}$
Couple	$T$	N.m
Viscosité de l'eau	$\mu$	Pa.s (0.001 à 20°C)
Masse volumique de l'eau	$\rho$	$kg.m^{-3}$ (1000 à 20°C)

### 3.2/ Performance de la pompe

La performance d'une pompe centrifuge peut être déterminée par l'utilisation de l'équation de 'la conservation d'énergie en écoulement permanent'. Dans sa forme simplifiée (où le liquide utilisé est incompressible); l'équation par unité de temps peut alors s'écrire sous la forme suivante :

$$p_O Q - p_I Q = W_I - L \quad (1)$$

Cette équation indique que le travail transmis au liquide par la pompe, en ignorant l'énergie cinétique et la différence de niveau entre l'entrée et la sortie de la pompe est égal à la puissance consommée par la pompe, moins les éventuelles pertes.

Une étude complète devrait prendre en compte la charge hydrodynamique à l'entrée et à la sortie et la différence entre la charge statique et totale. Celles-ci ne sont pas importantes pour les essais sur cet équipement, car les vitesses d'entrée et de sortie d'eau sont approximativement égales.

### 3.3/ Charge Hydraulique

La Charge totale (H) correspond au changement de pression à travers la pompe (la pression de sortie - la pression d'entrée).

Pour déterminer la charge totale (en Pascal), vous devez utiliser l'équation :

$$H = p_O - p_I \quad (2)$$

Souvenez-vous que les afficheurs de pression affichent la pression en Bar, donc vous devez multiplier votre réponse par 100000 pour obtenir H en Pascal.

La charge totale est simplement la différence entre la pression de sortie et d'entrée.

### 3.4/ Puissance Hydraulique

La puissance hydraulique de la pompe (quelquefois appelée 'le cheval-vapeur hydraulique' est donnée par :

$$W_2 = (p_O - p_I)Q \quad (3)$$

### 3.5/ Rendement

Le rendement total de la pompe est donné par :

$$h = \frac{W_2}{W_1} \quad (4)$$

### 3.6/ Puissance Absorbée

La puissance absorbée par la pompe est donnée par :

$$W_1 = \frac{2\pi NT}{60} \quad (5)$$

### 3.7/ Débit

Pour calculer le débit (Q) (en  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) à partir de la pression le long du venturi, utilisez la formule :

$$Q = C_d A_1 \sqrt{\frac{2\Delta p}{r \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}} \quad (6)$$

Où :

$A_1$  = la Surface à l'entrée du tube de Venturi ( $\text{m}^2$ )

$A_2$  = la Surface au col du tube de Venturi ( $\text{m}^2$ )

$C_d$  = le Coefficient de débit

$r$  = la masse volumique de l'eau (en  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) – Pour de l'eau propre à la température ambiante, vous pouvez utiliser  $1000 \text{ Kg}.\text{m}^{-3}$  pour les calculs)

$\Delta p$  = la chute de pression au travers du venturi (Pascal ou  $\text{N}.\text{m}^{-2}$ )

## 4. Essais sur la pompe (Test de performance standard)

### Objectifs

- Déterminer les caractéristiques de performance standard de la pompe.
- Comparer le nombre de Reynolds pour la pompe à différentes vitesses.

### Procédure 1 - Essai de Performance

1. Créez un tableau de résultats vierge similaire au Tableau 2.
2. Positionnez le sectionneur principal du variateur de la pompe en position Arrêt
3. Ouvrez complètement les vannes d'aspiration et de refoulement de la pompe.
4. Positionnez le sectionneur principal du variateur de la pompe en position Marche. Démarrez le moteur de la pompe et réglez-la à sa vitesse maximale.
5. Utilisez la ligne de purge pour purger tous les manomètres.
6. Réglez la vitesse du moteur à la vitesse nécessaire pour l'expérience - normalement  $3000 \text{ Tr}.\text{min}^{-1}$ .
7. Par pas de 0.1 Bar, utilisez la vanne de refoulement pour augmenter la pression de sortie. Ne réglez pas la vanne d'aspiration. À chaque étape, réglez la vitesse du moteur vers sa position initiale et relevez les valeurs de pression.
8. Arrêtez l'essai lorsque la différence de pression dans le tube Venturi devient inférieure à 0.05 bar puisque le tube Venturi aura atteint sa limite basse de précision.
9. Tracez les graphes représentatifs du rendement, de la puissance absorbée et de charge totale en fonction du débit.
10. Tracez les caractéristiques adimensionnelles du coefficient de charge et du coefficient de puissance en fonction du coefficient de débit. Calculez le nombre de Reynolds.

## **Procédure 2 – Nombre de Reynolds**

Répétez l'essai de performance pour différentes vitesses.

Calculez et comparez le nombre de Reynolds pour chaque vitesse.

### **Essai en aspiration**

#### **Objectif**

- Déterminer la relation entre le débit de la pompe et la pression d'aspiration

#### **Procédure**

1. Créez un tableau de résultats vierge similaire au Tableau 2.
2. Réglez la Pompe et les vannes comme indiqué à la section Test de performance standard et nombre de Reynolds.
3. Démarrez le moteur de la pompe et réglez-le à la vitesse de 3000 Tr.min-1.
4. Relevez la vitesse et la charge totale.
5. Fermez lentement la vanne d'aspiration de la pompe par pas de 0.05 bar. Si besoin, réglez la vanne de refoulement pour garder la somme des pressions d'aspiration et de refoulement constante (charge constante).
6. À chaque étape, réajustez la vitesse de la pompe si nécessaire et relevez le débit.
7. Tracez le graphe représentatif du débit en fonction de la pression d'aspiration (d'entrée).



Faculté des Sciences et Technologie

Département : Génie Mécanique

Module : TP Turbomachines

Niveau : 3<sup>ème</sup> année licence Energétique (S5)

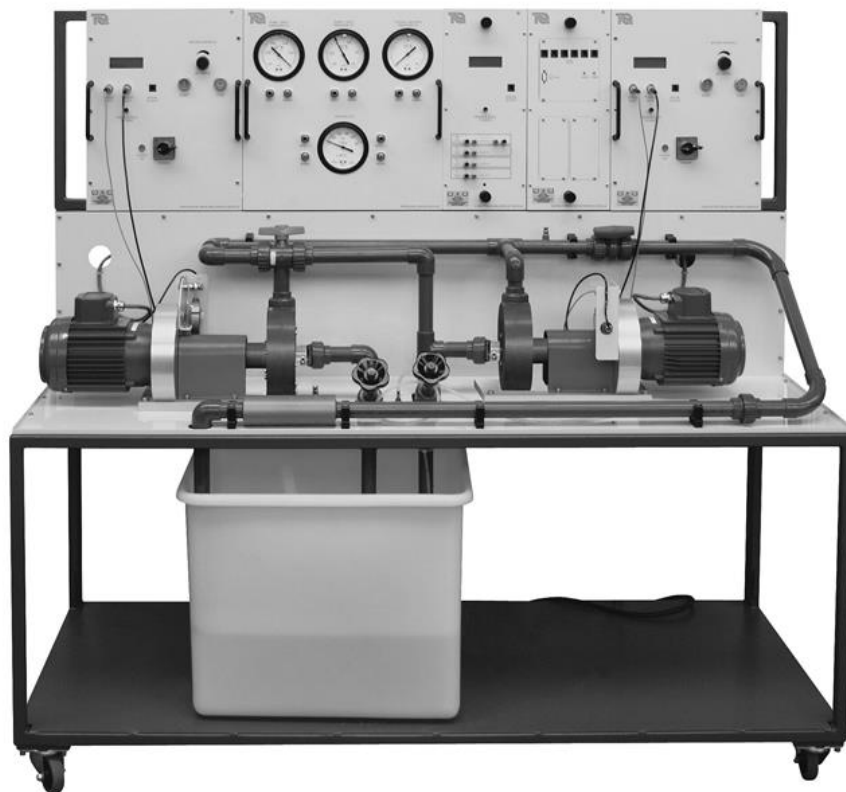
---

## TP N°02:

---

# Étude du Couplage de Pompes Centrifuges

---



Année universitaire : 2025/2026

## 1. Présentation Générale

Les pompes sont montées sur un châssis mobile qui supporte un réservoir d'eau, la tuyauterie et les instruments de mesure montés sur un rail. Un moteur électrique à vitesse variable entraîne chacune des pompes. Chacun des moteurs de pompes comprend un capteur de force (cellule de charge) pour mesurer le couple mécanique du moteur, l'ensemble formant un dynamomètre. Un tachymètre monté sur l'arbre de chaque moteur mesure la vitesse angulaire (la vitesse de rotation de la pompe). Les câbles de chaque moteur et de leurs capteurs se connectent à chacun des deux commandes des moteurs placés sur le rail du panneau d'instrumentation. Chaque commande de moteur comprend un bouton Marche/Arrêt et la commande de vitesse du moteur ainsi qu'un afficheur permettant d'afficher la vitesse de la pompe, le couple et la puissance à l'arbre. L'eau est aspirée du réservoir vers chacune des pompes via une crépine et un clapet anti-retour à bille. L'eau passe ensuite par des vannes d'entrée (aspiration), puis au travers des pompes et sort ensuite par un ensemble de tuyauterie et de vannes pour retourner vers le réservoir d'alimentation en traversant au préalable un tube Venturi. La configuration de la tuyauterie et des vannes permet de coupler les pompes en série et en parallèle. Les prises de pression dans les conduites et le Venturi se raccordent à l'afficheur numérique et aux manomètres de bourdon à aiguille optionnels, montés sur le panneau d'instrumentation. Le tube Venturi permet de calculer le débit.

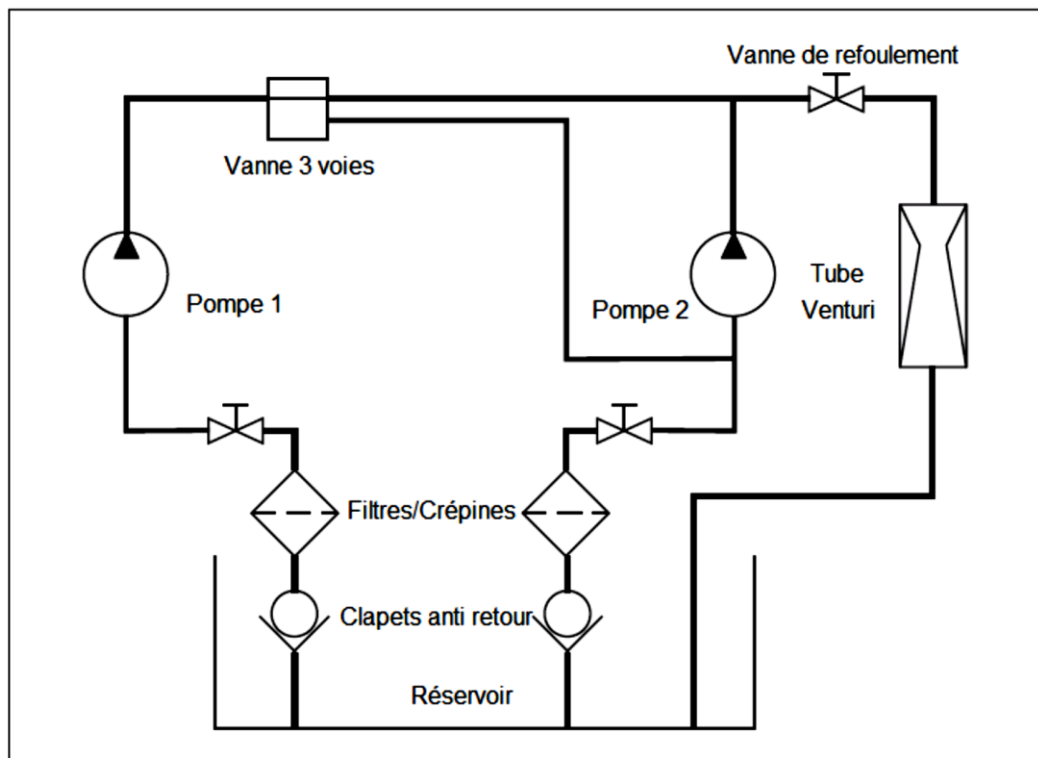


Fig. 1 Schéma hydraulique

## 2. Instrumentation et Commandes

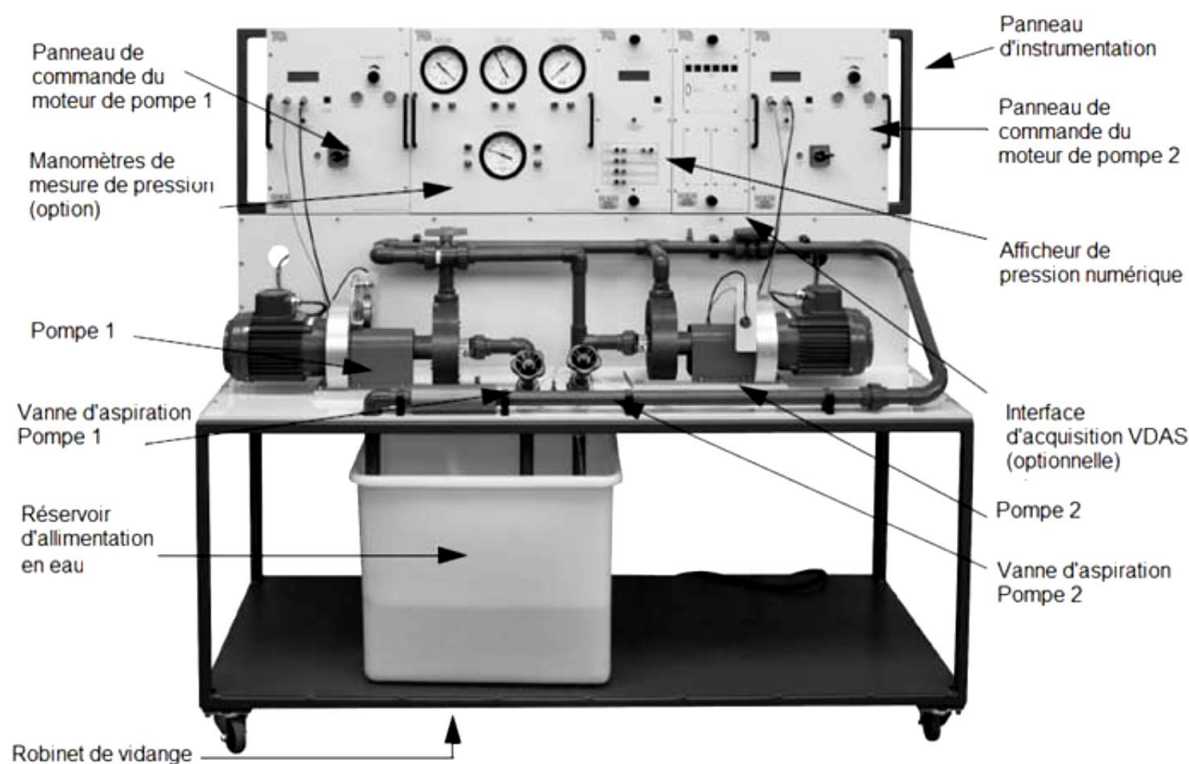


Fig. 2 Nomenclature Générale – Banc montré avec tous les instruments optionnels

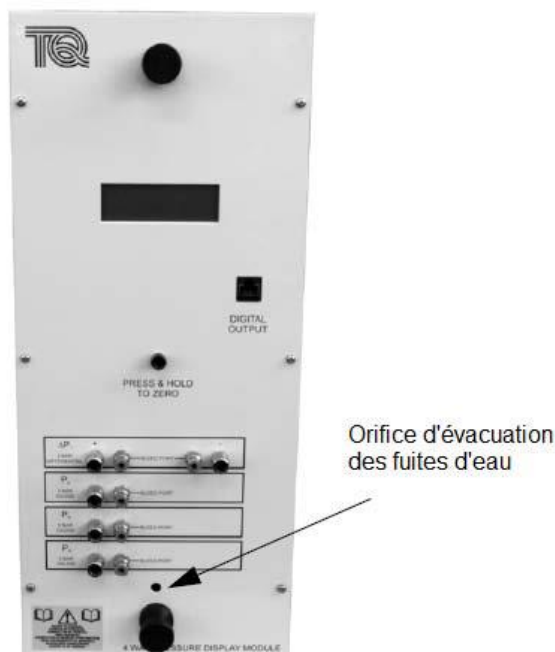
### 2.1/ Variateur du moteur (inclus en standard)

Chaque panneau de commande de moteur (il y en a deux fournis avec le banc H83) possède un bouton Marche, un bouton Arrêt et un bouton pour contrôler la vitesse du moteur d'entraînement de la pompe. Chaque panneau comprend également un afficheur numérique qui permet de visualiser la vitesse, le couple et calcule automatiquement la puissance (la puissance = le couple x la vitesse). L'afficheur comprend également une prise de 'Sortie Numérique' pour le relier au système d'acquisition de données optionnel VDAS de TecQuipment. La vitesse du moteur est contrôlée par un variateur électronique situé à l'intérieur de chaque panneau de commande. Ce variateur limite la vitesse maximale du moteur et permet d'appliquer une 'rampe de vitesse', afin d'appliquer un court retard avant que le moteur n'atteigne la vitesse de consigne. Cela permet de prolonger la durée de vie du moteur et de réduire la probabilité d'endommager le système de dynamomètre. De plus, pour se conformer aux normes de sécurité européennes, les moteurs des pompes possèdent chacun un capteur thermique (thermistance) pour arrêter leur entraînement au cas où le moteur viendrait à surchauffer.

### 2.2/ Afficheurs de Pression

Selon votre commande, l'équipement inclura l'afficheur de numérique ou analogique, mais vous pouvez également avoir les deux. Des pièces en 'T' sont fournies sur les éléments de tuyauterie, afin que les deux types d'afficheurs de pression analogiques et numériques puissent être utilisés en même temps.

### L'Afficheur de Pression Numérique (DP1)



**Fig. 3 Module d'Affichage de Pression Numérique**

C'est un module unique qui vient se loger dans le rail du panneau d'instrumentation. Il comprend quatre prises de pression raccordées à quatre capteurs de pression électroniques, le premier capteur (P1) est un capteur de pression différentielle qui se connecte au tube Venturi. Les capteurs de pression P2, P3 et P4 se raccordent aux de prises de pression situées sur la tuyauterie du banc afin d'indiquer les pressions en entrée et sortie de pompes comme indiqué dans le Tableau 1. Chaque capteur de pression est équipé d'un port de purge. Ces ports de purge sont nécessaires pour purger l'air piégé dans les tubes de prise de pression.

Le module comprend un afficheur numérique pour l'enregistrement manuel des résultats et un connecteur pour le relier à une interface d'acquisition optionnelle VDAS. Au milieu de la l'afficheur de pression se trouve un bouton sur lequel est marqué "Press and Hold to Zero Display". (Appuyez et maintenez le bouton enfoncé pour mettre l'indicateur à zéro). Utilisez ce bouton pour mettre à zéro les valeurs de pression.

Capteur de pression	Raccordement à
$\Delta P_1$	Tube de Venturi
P <sub>2</sub>	Entrée de pompe 1
P <sub>3</sub>	Entrée de pompe 2
P <sub>4</sub>	Sortie de pompe (refoulement)

**Tableau 1 Connexions de Transducteur de pression**

## 2.3/ Les Vannes

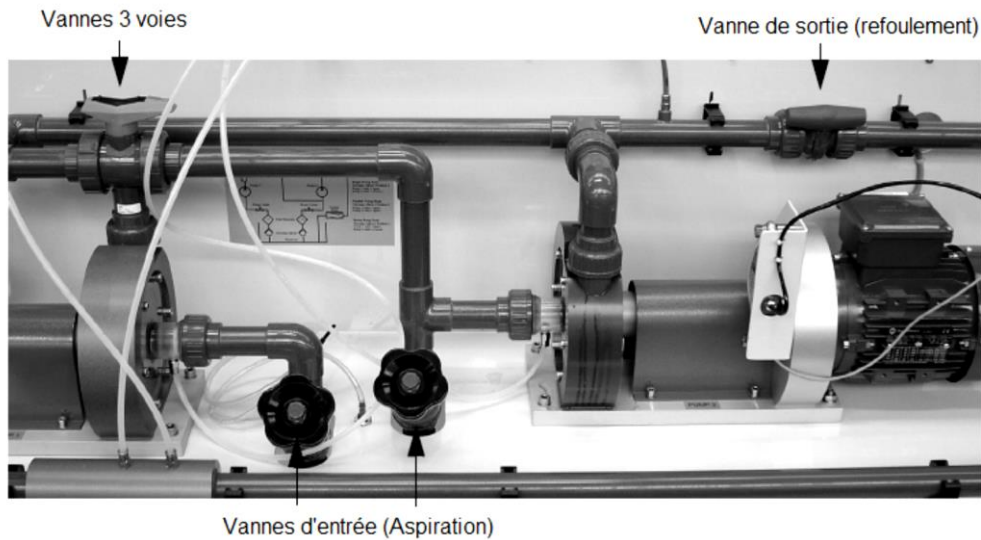


Fig. 4 Les vannes d'aspiration et de refoulement

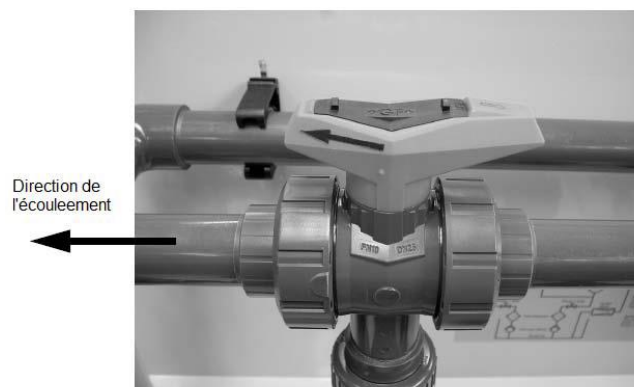
### **La vanne de sortie (refoulement)**

La vanne de sortie est contrôlée manuellement. La pression de refoulement augmente lorsque vous la fermez. La pression de refoulement diminue lorsque vous l'ouvrez. Elle tourne de 90 °. Elle est ouverte lorsqu'elle est parallèle à la conduite. Elle est fermée lorsqu'elle est à 90 ° par rapport à la conduite.

### **Les vannes d'entrée (d'aspiration)**

La vanne d'aspiration est contrôlée manuellement. La pression d'aspiration augmente lorsque vous la fermez. La pression d'aspiration diminue lorsque vous l'ouvrez. Tournez-la dans le sens des aiguilles d'une montre pour la fermer et en sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'ouvrir.

### **La vanne 3 voies**



La vanne 3 voies dirige l'écoulement de la Pompe 1 vers l'entrée de la Pompe 2 (pour le montage en série), ou directement au tuyau d'évacuation (pour le montage en parallèle).

Tournez la vanne en position 1 (vers la gauche) pour diriger l'écoulement directement vers la vanne de refoulement. Tournez la vanne en position 2 (vers la droite) pour diriger l'écoulement vers l'entrée de la pompe 2.

## Le tube Venturi

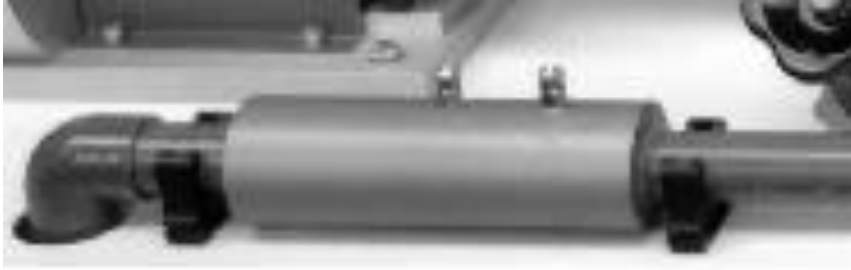


Fig. 5 Le tube Venturi

Le Tube Venturi est un appareil de mesure de débit. Il y a deux prises de pressions sur le Venturi, une à l'entrée et l'autre au col. Lorsque l'eau passe dans le Venturi, il se produit une différence de pression entre les deux prises de pression. La différence de pression est liée au débit d'eau, plus le débit est important, plus la différence de pression est importante. Vous pouvez calculer le débit d'eau à partir de la mesure de la différence de pression. Référez-vous au paragraphe 'Débit' de la section Equations utiles et Théorie pour plus de détails.

## 2.5/ Le Système d'Acquisition de données universel (VDAS®) optionnel



Fig. 6 L'interface et le logiciel VDAS

Le système VDAS de TecQuipment est un produit constitué de deux parties (Matériel et logiciel) qui va :

- Enregistrer automatiquement les données de vos expériences
- Calculer automatiquement les données pour vous
- Vous permettre de gagner du temps
- Réduire les erreurs de mesure
- Créer des graphiques et des tableaux à partir de vos données
- Exporter vos données pour les traiter dans un autre logiciel

## 2.6/ La roue de la pompe

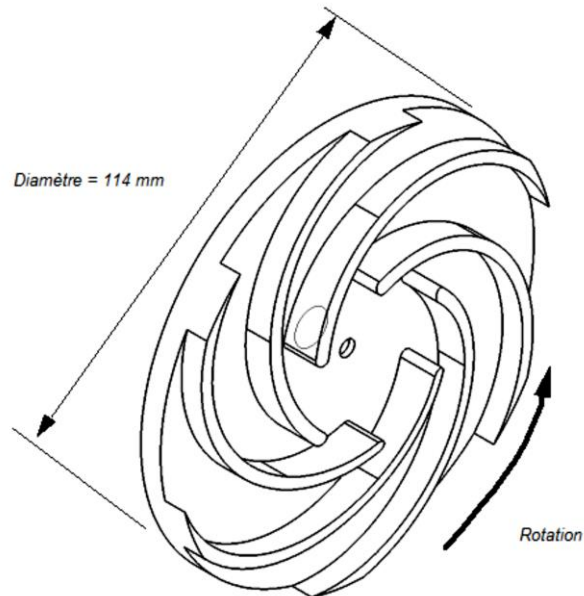


Fig.7 Roue de la pompe

La Figure 7 montre un schéma de la roue utilisée dans le corps de la pompe. La roue possède des aubes courbées vers l'arrière pour fournir une pression de refoulement raisonnable avec un débit et un rendement correct.

## 2.7/Le tube Venturi

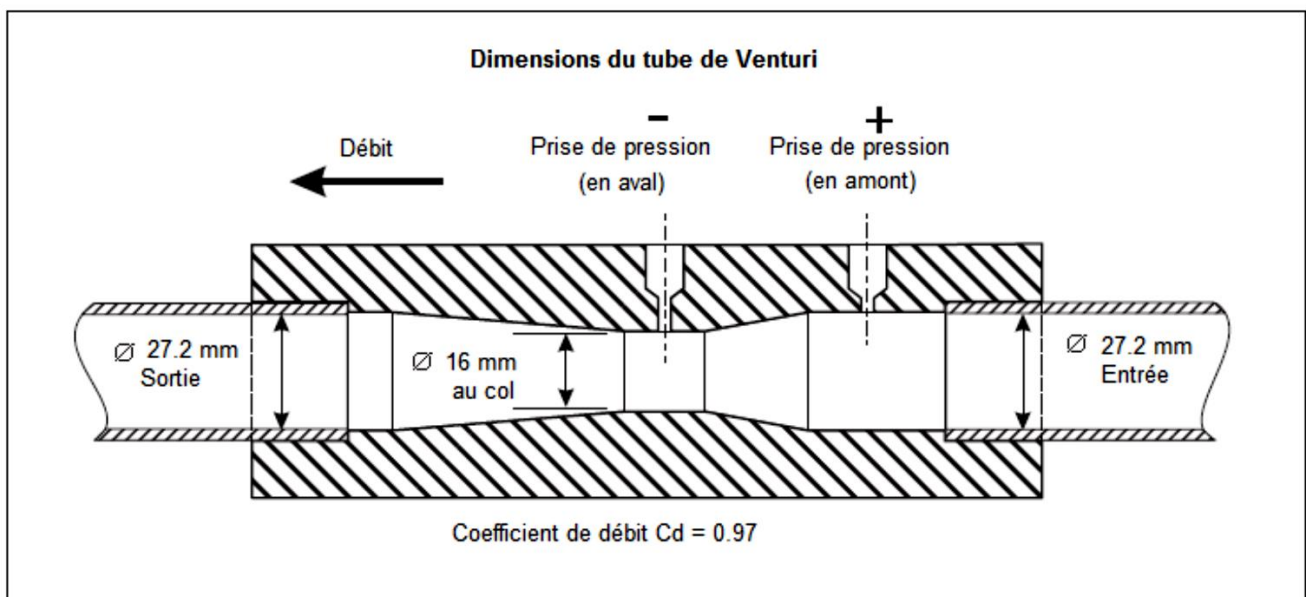


Fig. 8 Les dimensions du tube Venturi

### 3. Équations utiles et Théorie

#### 3.1/ Notation

Pression statique à l'aspiration de la pompe	$P_I$	$N.m^{-2}$
Pression statique au refoulement de la pompe	$P_O$	$N.m^{-2}$
Débit volumétrique	$Q$	$m^3.s^{-1}$
Vitesse de la pompe	$N$	Tr.min <sup>-1</sup> ou Rad.s <sup>-1</sup>
Puissance électrique absorbée par la pompe	$W_1$	Watts
Puissance hydraulique de la pompe	$W_2$	Watts
Pertes ( $W_1 - W_2$ )	$L$	Watt
Rendement de la pompe	$\eta$	%
Diamètre de roue	$D$	m
Diamètre intérieur de la tuyauterie	$d$	m
Hauteur totale d'élévation de la pompe	$H$	Pa ou $N.m^{-2}$
Accélération due à la gravité	$g$	$m.s^{-2}$
Couple	$T$	N.m
Viscosité de l'eau	$\mu$	Pa.s
Masse volumique de l'eau	$\rho$	$kg.m^3$

#### 3.2/ Performance de la pompe

La performance d'une pompe centrifuge peut être déterminée par l'utilisation de l'équation de 'la conservation d'énergie en écoulement permanent'. Dans sa forme simplifiée (où le liquide utilisé est incompressible); l'équation par unité de temps peut alors s'écrire sous la forme suivante :

$$p_O Q - p_I Q = W_1 - L \quad (1)$$

Cette équation indique que le travail transmis au liquide par la pompe, en ignorant l'énergie cinétique et la différence de niveau entre l'entrée et la sortie de la pompe est égal à la puissance consommée par la pompe, moins les éventuelles pertes.

Une étude complète devrait prendre en compte la charge hydrodynamique à l'entrée et à la sortie et la différence entre la charge statique et totale. Celles-ci ne sont pas importantes pour les essais sur cet équipement, car les vitesses d'entrée et de sortie d'eau sont approximativement égales.

### 3.3/ Charge Hydraulique

La Charge totale (H) correspond au changement de pression à travers la pompe (la pression de sortie - la pression d'entrée).

Pour déterminer la charge totale (en Pascal), vous devez utiliser l'équation :

$$H = p_O - p_I \quad (2)$$

Souvenez-vous que les afficheurs de pression affichent la pression en Bar, donc vous devez multiplier votre réponse par 100000 pour obtenir H en Pascal.

La charge totale est simplement la différence entre la pression de sortie et d'entrée.

### 3.4/ Puissance Hydraulique

La puissance hydraulique de la pompe (quelquefois appelée 'le cheval-vapeur hydraulique' est donnée par :

$$W_2 = (p_O - p_I)Q \quad (3)$$

### 3.5/ Rendement

Le rendement total de la pompe est donné par :

$$h = \frac{W_2}{W_1} \quad (4)$$

### 3.6/ Puissance Absorbée

La puissance absorbée par la pompe est donnée par :

$$W_1 = \frac{2\pi NT}{60} \quad (5)$$

### 3.7/ Débit

Pour calculer le débit (Q) (en  $m^3.s^{-1}$ ) à partir de la pression le long du venturi, utilisez la formule :

$$Q = C_d A_1 \sqrt{\frac{2\Delta p}{r \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}} \quad (6)$$

Où :

$A_1$  = la Surface à l'entrée du tube de Venturi ( $m^2$ )

$A_2$  = la Surface au col du tube de Venturi ( $m^2$ )

$C_d$  = le Coefficient de débit

$r$  = la masse volumique de l'eau (en  $kg/m^3$ ) – Pour de l'eau propre à la température ambiante, vous pouvez utiliser  $1000 \text{ Kg.m}^{-3}$  pour les calculs)

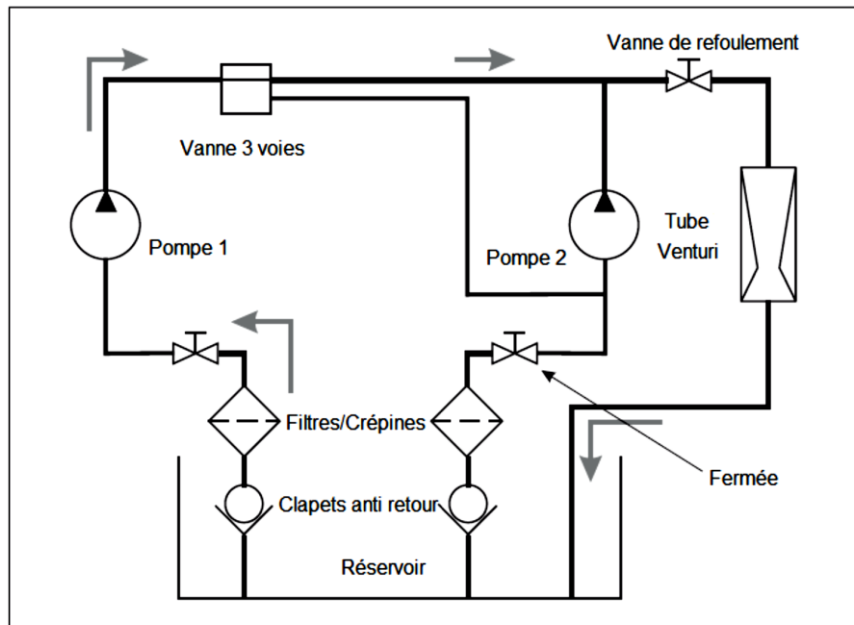
$\Delta p$  = la chute de pression au travers du venturi (Pascal ou  $N.m^{-2}$ )

## 4. Essais sur la pompe (Test de performance standard)

### Objectifs

- Déterminer les caractéristiques de performance standard de la pompe.
- Comparer le nombre de Reynolds pour la pompe à différentes vitesses.

### Procédure 1 - Essai de Performance test de performance standard – Une seule pompe



**Figure 9** Schéma hydraulique pour le TP d'étude d'une seule pompe (Pompe P1)

1. Créez un tableau de résultats vierge similaire au Tableau 2.
2. Utilisez uniquement la Pompe 1. Positionnez le sectionneur principal du variateur de la pompe en position Arrêt
3. Fermez la vanne d'aspiration de la Pompe 2 et réglez la vanne trois voies en mode d'écoulement direct vers la conduite d'évacuation (voir la Figure 9). Ouvrez complètement la vanne d'aspiration de la Pompe 1 et la vanne de refoulement.
4. Tournez le sectionneur principal du variateur du moteur de Pompe 1 en position Marche. Démarrez le moteur de la pompe et réglez-la à sa vitesse maximale.
5. Utilisez la ligne de purge pour purger tous les manomètres.
6. Réglez la vitesse du moteur à la vitesse nécessaire pour l'expérience - normalement 3000 Tr.min<sup>-1</sup>.
7. Assurez-vous que la vanne de refoulement soit complètement ouverte. Réajustez la vitesse du moteur si nécessaire. Enregistrez toutes les valeurs de pression.
8. Par pas de 0.1 Bar, utilisez la vanne de refoulement pour augmenter la pression de sortie. **Ne réglez pas la vanne d'aspiration.** À chaque étape, réglez la vitesse du moteur vers sa position initiale et relevez les valeurs de pression.
9. Tracez les graphes représentatifs du rendement, de la puissance absorbée et de charge totale en fonction du débit.

## Expérience supplémentaire – Nombre de Reynolds

Répétez l'essai de performance pour différentes vitesses.

Calculez et comparez le nombre de Reynolds pour chaque vitesse.

### Procédure 2 - Test de performance standard – Montage des pompes en parallèle

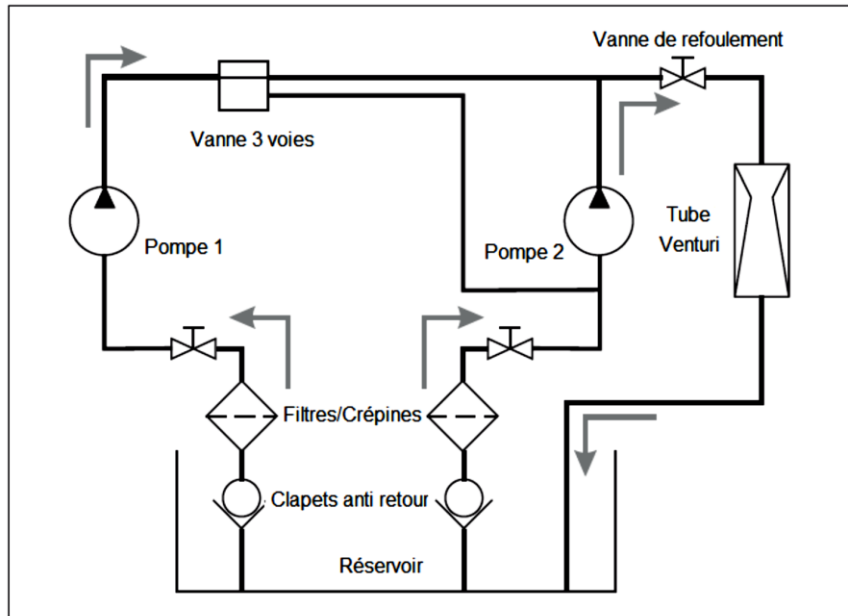
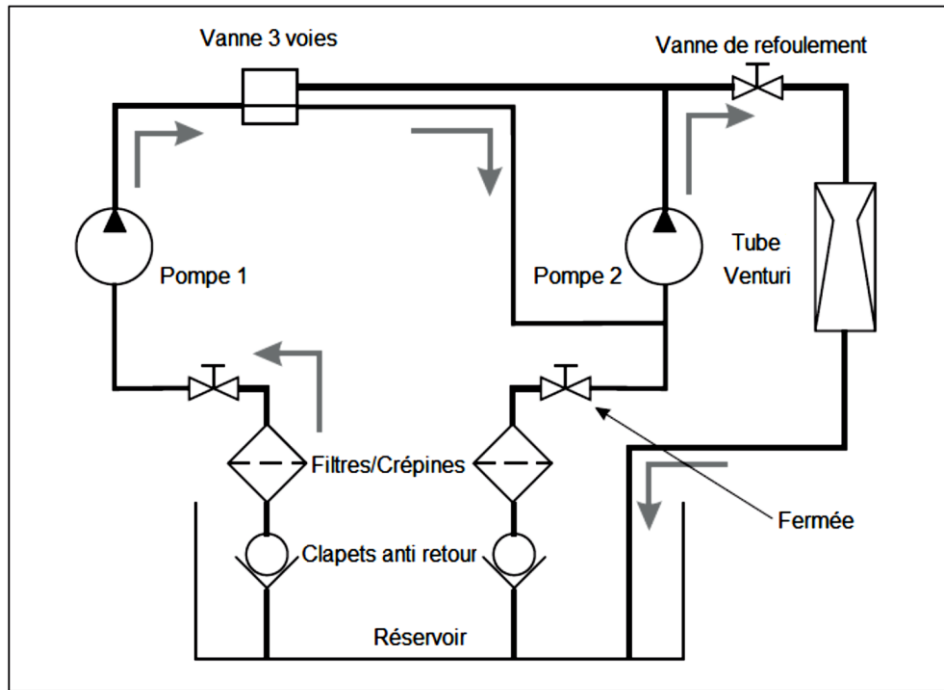


Figure 10 Schéma hydraulique pour le TP d'étude de pompes montées en parallèle

1. Créez un tableau de résultats vierge similaire au Tableau 2.
2. Utilisez les deux pompes. Positionnez les sectionneurs des variateurs de pompes en position Arrêt
3. Ouvrez les deux vannes d'aspiration et réglez la vanne trois voies en mode d'écoulement direct vers la conduite d'évacuation (voir la Figure 10). Ouvrez complètement la vanne d'aspiration de la Pompe 1 et la vanne de refoulement.
4. Tournez les sectionneurs des variateur des moteur de pompes en position Marche.. Démarrez les moteurs de pompes et réglez-les à leurs vitesses maximales.
5. Utilisez la ligne de purge pour purger tous les manomètres.
6. Réglez la vitesse des moteurs à leurs vitesses nécessaire pour l'expérience - normalement 3000 Tr.min-1.
7. Relevez toutes les valeurs de pression.
8. Par pas de 0.1 Bar, utilisez la vanne de refoulement pour augmenter la pression de sortie. **Ne réglez pas la vanne d'aspiration.** À chaque étape, réglez la vitesse du moteur vers sa position initiale et relevez les valeurs de pression.
9. Tracez les graphes représentatifs du rendement, de la puissance absorbée et de charge totale en fonction du débit.

### Procédure 3 - Test de performance standard – Montage des pompes en série



**Figure 11** Schéma hydraulique pour le TP d'étude de pompes montées en série

1. Créez un tableau de résultats vierge similaire au Tableau 2.
2. Utilisez les deux pompes. Positionnez les sectionneurs des variateurs de pompes en position Arrêt
3. Ouvrez la vanne d'aspiration de la Pompe 1. Fermez la vanne d'aspiration de la Pompe 2. Réglez la vanne trois voies en mode d'écoulement direct vers l'entrée de la Pompe 2 (voir la Figure 11 Ouvrez complètement la vanne de refoulement.
4. Tournez les sectionneurs des variateur des moteur de pompes en position Marche.. Démarrez les moteurs de pompes et réglez-les à leurs vitesses maximales. Utilisez la ligne de purge pour purger tous les manomètres.
5. Réglez la vitesse des moteurs à leurs vitesses nécessaire pour l'expérience - normalement 3000 Tr.min-1.
6. Réglez délicatement la vanne de refoulement pour obtenir une pression de refoulement (sortie) de 0.3 bar. Réajustez la vitesse du moteur si nécessaire. Relevez les valeurs de pression.
7. Par pas de 0.2 à 0.3 bar, utilisez la vanne de refoulement pour augmenter la pression de sortie. **Ne réglez pas les vannes d'aspiration.** À chaque étape, réglez la vitesse du moteur vers sa position initiale et relevez les valeurs de pression.
8. Tracez les graphes représentatifs du rendement, de la puissance absorbée et de charge totale en fonction du débit.

**Tableau 2. Tableau de Résultats vierge**

Pression d'entrée (aspiration) Pompe 1 P <sub>2</sub> [Bar]	Pression d'entrée (aspiration) Pompe 2 P <sub>3</sub> [Bar]	Pression de sortie (refoulement) P <sub>4</sub> [Bar]	Charge totale H [kPa]	$\Delta P$	Débit Q [L/s]	Puissance Totale Absorbée W <sub>1</sub> [Watts]	Puissance Hydraulique Totale W <sub>2</sub> [Watts]	Rendement (%)	Couple T <sub>1</sub> [N.m]	Couple T <sub>2</sub> [N.m]