

TURBO MACHINES (POMPES CENTRIFUGES)

TRACE DES CARACTERISTIQUES DES POMPES
ISOLEES, COUPLEES EN PARALLELE ET EN SERIE

I. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Le banc d'essai permet l'étude des caractéristiques de deux pompes centrifuges (diamètre de roue $D = 0.104m$) montées en série ou en parallèle. Un jeu de vanne permet d'utiliser : soit une pompe isolée, soit les deux pompes en parallèle, soit les deux pompes en série (Figure 1). Le débit total est mesuré par un débitmètre à flotteur Kobold avec une précision, due aux erreurs de lecture, de $\pm 10\%$. Les débits sortants des deux pompes sont mesurés aussi avec des débitmètres à flotteur, mais avec une précision meilleur ($\pm 3\%$). Les pressions sont mesurées par des manomètres à effet Bourdon. L'une des pompes est équipée d'un variateur de vitesse avec afficheur (avec une précision de $\pm 1\%$) et d'un moteur monté en balance pour mesurer la puissance absorbée. La puissance électrique est mesurée grâce à un ampèremètre.

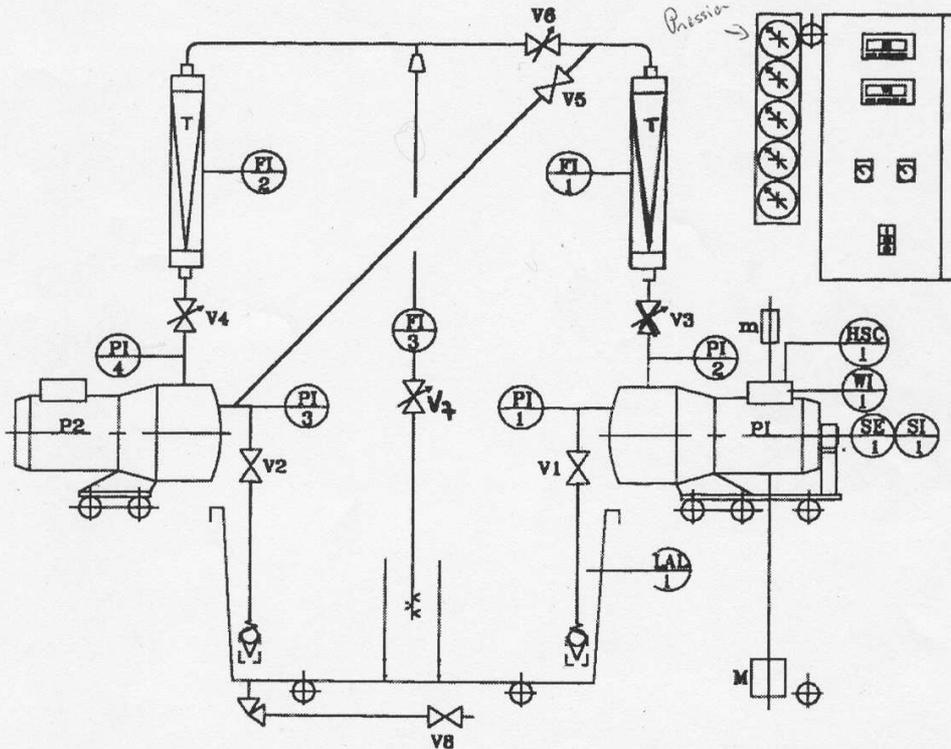


Figure 1 : Disposition des pompes, des vannes, des débitmètres et des manomètres sur le dispositif expérimental

Brancher la prise d'alimentation générale puis mettre sous tension le procédé en appuyant sur le bouton vert «1». Alors, le voyant blanc de mise sous tension s'allume. Les pompes 1 et 2 se mettent en marche grâce aux boutons tournants 2 positions Marche/Arrêt. On peut faire varier la vitesse de rotation de l'arbre de la pompe 1 avec le potentiomètre. Enfin, pour arrêter l'installation, fermer toutes les vannes et mettre hors tension l'armoire électrique.

II. ETUDE DE LA POMPE 1 SEULE

Le but de cette manipulation est d'observer les variations des pressions amont et aval en faisant varier le débit à l'aide de la vanne de sortie de la pompe (V3) pour une vitesse de rotation du moteur stable et d'effectuer ensuite différents calculs.

Commencer par remplir le tableau 1a correspondant au mode opératoire (état des vannes) convenable avec cette manipulation. Utiliser pour cela les symboles suivants : F = fermée, O = ouvert et ↗ variable.

Après avoir positionné les vannes, mettre en marche la pompe 1. Agir sur le potentiomètre de réglage de la vitesse du moteur afin d'obtenir une vitesse de rotation stable. Pour une vitesse de rotation «N = 2000 tr/mn», faire varier le débit à l'aide de la vanne (V3) et relever les valeurs du débit volumique Q_{v1} et les pressions amont et aval (P_1 et P_2). Effectuer d'autres mesures pour trois différentes valeurs de la vitesse de rotation du moteur (N= 2300, 2600 et 2900 tr/mn).

Rappelons que l'expression mathématique de la hauteur manométrique est la suivante :

$$H.M.T = \frac{P_{aval} - P_{amont}}{\rho g}$$

P_{amont} (P_1 ou P_3) est la pression en amont de la pompe (Pa). P_{aval} (P_2 ou P_4) étant la pression en aval de la pompe (Pa). ρ est la masse volumique (= 1000 $kg.m^{-3}$) et g est l'accélération de la pesanteur ($\approx 9.81m.s^{-2}$).

Q1 : Compléter les tableaux 2,3,4 et 5 puis tracer la courbe caractéristique de la hauteur manométrique en fonction du débit $HMT(Q_{v1})$ (figure 2). Faire une exposition des résultats obtenus.

Q2 : Préciser la notion de la hauteur manométrique et la définition du point de fonctionnement. En admettant que le rendement maximal de la pompe correspond à un débit d'environ 1200 l/h, citer quelques cas pratiques d'installation avec ce type de pompe.

Q3 : Rappeler les principes de similitude des écoulements permanents.

En admettant que le fonctionnement normal des turbomachines machines suppose l'existence de la loi suivante :

$$\mu = G(\varphi)$$

où μ est le coefficient manométrique, φ étant le coefficient de débit et G est une fonction inconnue (il n'y a que l'expérience qui nous confirme l'existence de cette fonction) :

$$\mu = \frac{gH}{D^2 \times N^2} \quad ; \quad \varphi = \frac{Q_v}{D^3 N}$$

Indiquer l'intérêt de cette présentation. Appliquer les résultats à une même roue tournant à différentes vitesses.

Q4 : Calculer le coefficient de débit et le coefficient manométrique, puis compléter les tableaux 2,3,4 et 5. Construire en suite le graphique du coefficient de pression en fonction du coefficient de débit (figure 3). L'expérience confirme-t-elle les règles de similitude, c'est-à-dire l'existence de la fonction G ?

III. ETUDE DE LA POMPE 2 SEULE

Le but final de cette manipulation est d'estimer la vitesse de rotation de la pompe 2. Commencer par remplir le tableau 1b correspondant à l'état des vannes (utiliser les mêmes symboles que précédemment). Positionner les vannes puis mettre en marche la pompe 2. Relever sur les manomètres les pressions amont et aval (P_3 et P_4) et le débit « Q_{v2} ».

Q5 : Compléter le tableau 6 et tracer sur la figure 2 la hauteur manométrique en fonction du débit. Comparer les résultats et déduire la vitesse de rotation de la pompe 2 (précisons que les deux pompes sont identiques).

IV. ETUDE DU COUPLAGE DES POMPEES EN SERIE

Le but de cette manipulation est de voir l'intérêt du couplage en série des pompes 1 et 2. On observe les variations des pression amont et aval de chaque pompe en fonction du débit total en faisant varier le débit à l'aide de la vanne (V7).

Compléter le tableau 1d du mode opératoire. Mettre en position les différentes vannes, puis mettre en fonctionnement les deux pompes 1 et 2 à plein régime. Relever les valeurs des différentes pressions (P_1 , P_2 , P_3 et P_4) et le débit total. Effectuer plusieurs mesures en faisant varier le débit grâce à la vanne (V7) (prendre de préférence une vitesse de rotation de la pompe 1 égale à la vitesse de la pompe 2).

Q6 : Compléter le tableau 8 et tracer sur la figure 4 les courbes (hauteur manométrique – débit) : de la pompe 1 $HMT_1(Q_{v1})$, de la pompe 2 $HMT_2(Q_{v2})$ et du couplage $HMT_c(Q_{vt})$. Comparer ces résultats et montrer l'intérêt pratique du couplage en série ; on peut noter que ce couplage est peu utilisé, il est plus intéressant d'installer une pompe multicellulaire (plusieurs roue dans un seul corps de pompe).

V. ETUDE DU COUPLAGE DES POMPEES EN PARALLELE

Le but de cette manipulation est de voir l'intérêt du couplage parallèle des pompes 1 et 2. On observe les variations des pression amont et aval de chaque pompe en fonction du débit total en faisant varier le débit à l'aide de la vanne (V7).

Quelle est l'état des vannes correspondant à cette manipulation? compléter le tableau 1c. Mettre en position les différentes vannes, puis mettre en fonctionnement les deux pompes 1 et 2 à plein régime. Relever les valeurs des différentes pressions (P_1 , P_2 , P_3 , P_4) et le débit

total. Effectuer plusieurs mesures en faisant varier le débit grâce à la vanne (V7) (prendre de préférence une vitesse de rotation de la pompe 1 égale à la vitesse de la pompe 2).

Q7 : Compléter le tableau 7 et tracer sur la figure 5 les courbes (hauteur manométrique – débit) : de la pompe 1 $HMT_1(Q_{v1})$, de la pompe 2 $HMT_2(Q_{v2})$ et du couplage $HMT_c(Q_v)$ ($HMT_c \approx HMT_1$). Comparer les résultats et montrer l'intérêt pratique du couplage en parallèle.

ANNEXE

Fiche de calcul

Calcul de la hauteur manométrique totale (m): H.M.T

$$H.M.T = \frac{P_{aval} - P_{amont}}{\rho g}$$

P_{aval} (P_1 ou P_3) est la pression en aval de la pompe (Pa). P_{amont} (P_2 ou P_4) étant la pression en amont de la pompe (Pa). ρ est la masse volumique ($= 1000 \text{ kg.m}^{-3}$) et g est l'accélération de la pesanteur ($\approx 9.81 \text{ m.s}^{-2}$).

Calcul de la charge nette d'aspiration hauteur manométrique totale (m): N.P.S.H

$$N.P.S.H = \frac{P_{amont} - P_{vap}}{\rho g} + \frac{Q_v^2}{2 \times g \times \pi^2 \times d^2}$$

d est le diamètre de la conduite à l'entrée des pompes ($= 0.05 \text{ m}$), Q_v en (m^3/s) et P_{vap} ($= 2400 \text{ Pa}$ à 20°C) est la pression de vapeur.

Calcul du couple (m. N) : C (voir «mesure du couple»)

$$C = M \times g \times L \times \sin(\theta)$$

Calcul de la puissance en bout d'arbre : P_M

$$P_M = 2\pi \times C \times N$$

P_M en (W), C en (N.m) et N en tr/s

Calcul du rendement (η) de l'ensemble moto-pompe :

$$\eta = \frac{P_F}{P_A}$$

P_F est la puissance reçue par le fluide à l'intérieur de la pompe $= \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_v$ où $H = H.M.T$. P_A est la puissance totale absorbée (lue sur le wattmètre).

Variables réduites :

- Coefficient de débit φ :

$$\varphi = \frac{Q}{N \times D^3}$$

- Coefficient manométrique (ou de pression) :

$$\mu = \frac{g \times H}{N^2 \times D^2}$$

- Coefficient de puissance :

$$\nu = \frac{P_M}{\rho \times N^2 \times D^5}$$

- Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\rho \times N \times D^2}{\mu_f}$$

μ_f est la viscosité $\approx 10^{-3} Pa.s$ à 25 °C et 1atm

TURBO MACHINES (POMPES CENTRIFUGES)

Compte rendu expérimental

Groupe :	Date :
Noms :	

VI. ETUDE DE LA POMPE 1 SEULE

Le mode opératoire :

Tableau 1a : Mode opératoire pour l'étude de la pompe 1 seule

F = fermée, O = ouvert et ↗ variable

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7

Q1 : Compléter les tableaux 2,3,4 et 5 puis tracer la courbe caractéristique de la hauteur manométrique en fonction du débit $HMT(Q_{v1})$ (figure 2). Faire une exposition des résultats obtenus.

Commentaire

Q2 : Préciser la notion de la hauteur manométrique et la définition du point de fonctionnement. En admettant que le rendement maximal de la pompe correspond à un débit d'environ 1200 l/h, citer quelques cas pratiques d'installation avec ce type de pompe.

Groupe : **Date :**
Noms :.....

Q3 : Rappeler les principes de similitude des écoulements permanents.

En admettant que le fonctionnement normal des turbomachines machines suppose l'existence de la loi suivante :

$$\mu = G(\varphi)$$

où μ est le coefficient manométrique, φ étant le coefficient de débit et G est une fonction inconnue (il n'y a que l'expérience qui nous confirme l'existence de cette fonction) :

$$\mu = \frac{g \times HMT}{D^2 \times N^2} \quad ; \quad \varphi = \frac{Q_v}{D^3 N}$$

Indiquer l'intérêt de cette présentation. Appliquer les résultats à une même roue tournant à différentes vitesses.

Groupe :

Date :

Noms :

.....

.....

Q4 : Calculer le coefficient de débit et le coefficient manométrique, puis compléter les tableaux 2,3,4 et 5. Construire en suite le graphique du coefficient de pression en fonction du coefficient de débit (figure 3). L'expérience confirme-t-elle les règles de similitude, c'est-à-dire l'existence de la fonction G ?

Commentaire

VII. ETUDE DE LA POMPE 2 SEULE

Le mode opératoire :

Tableau 1b : Mode opératoire pour l'étude de la pompe 2 seule

F = fermée, O = ouvert et ↗ variable

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7

Q5 : Compléter le tableau 6 et tracer sur la figure 2 la hauteur manométrique en fonction du débit. Comparer les résultats et déduire la vitesse de rotation de la pompe 2 (précisons que les deux pompes sont identiques).

Commentaire

Groupe :

Date :

Noms :

.....

.....

Tableau 2 (**Q1 et Q4**): Etude de la pompe 1 seule : N= 2000 tr/mn

Q_{v1}	P_1	P_2	HMT	φ	μ
2600					
2400					
2200					
2000					
1800					
1600					
1400					
1200					
1000					
800					
600					
400					
200					
0					
(l/h)	(bar)	(bar)	(m)		

Tableau 3 (**Q1 et Q4**): Etude de la pompe 1 seule : N= 2300 tr/mn

Q_{v1}	P_1	P_2	HMT	φ	μ
2600					
2400					
2200					
2000					
1800					
1600					
1400					
1200					
1000					
800					
600					
400					
200					
0					
(l/h)	(bar)	(bar)	(m)		

Groupe :

Date :

Noms :

.....

.....

Tableau 4 (Q1 et Q4): Etude de la pompe 1 seule : N= 2600 tr/mn

Q_{v1}	P_1	P_2	HMT	φ	μ
2600					
2400					
2200					
2000					
1800					
1600					
1400					
1200					
1000					
800					
600					
400					
200					
0					
(l/h)	(bar)	(bar)	(m)		

Tableau 5 (Q1 et Q4): Etude de la pompe 1 seule : N= 2900 tr/mn

Q_{v1}	P_1	P_2	HMT	φ	μ
2600					
2400					
2200					
2000					
1800					
1600					
1400					
1200					
1000					
800					
600					
400					
200					
0					
(l/h)	(bar)	(bar)	(m)		

Groupe :

Date :

Noms :

Tableau 6 (Q5): Etude de la pompe 2 seule

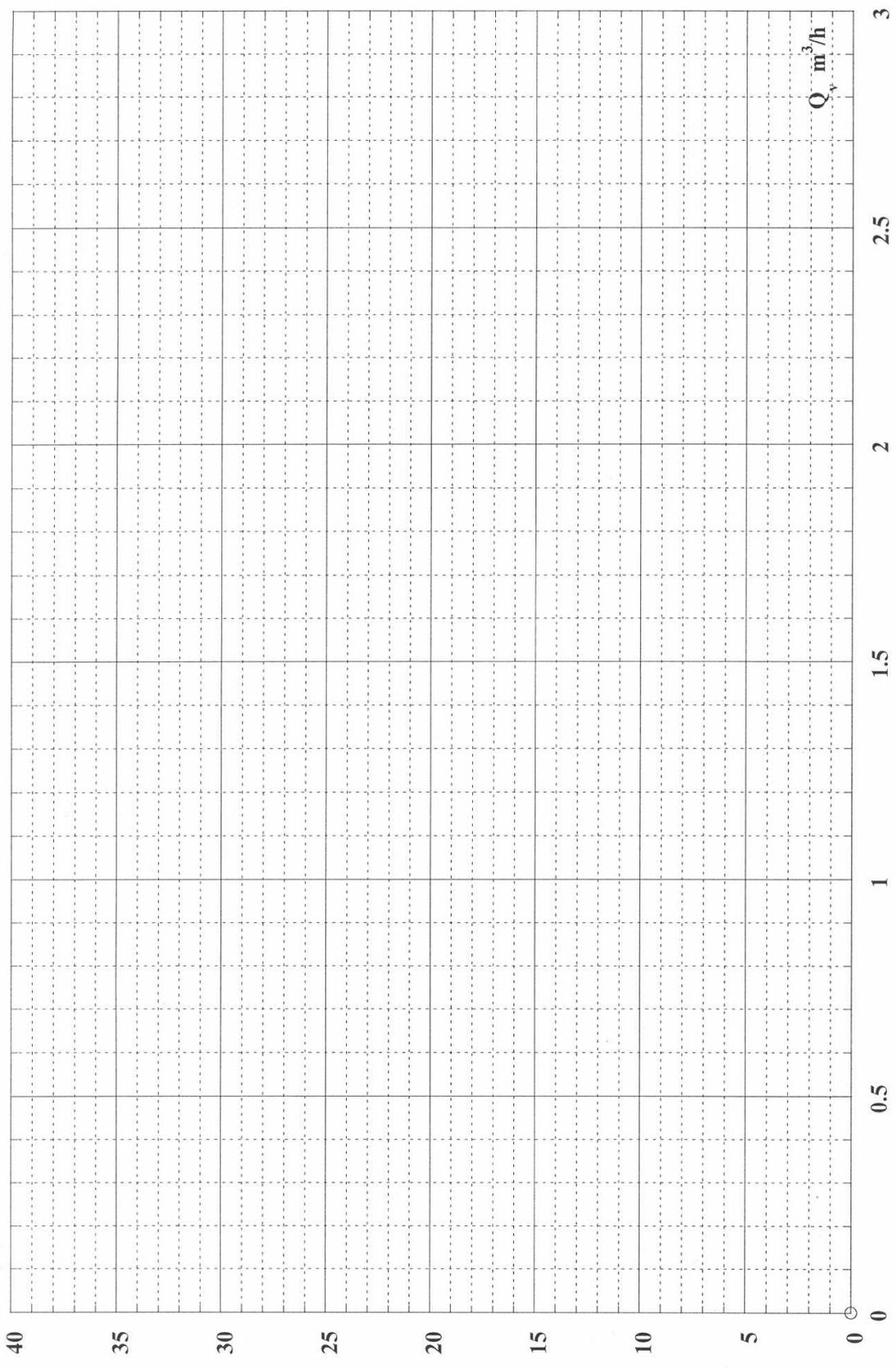
Q_{v2} (l/h)	P_3 (bar)	P_4 (bar)	H.M.T (m)
2600			
2400			
2200			
2000			
1800			
1600			
1400			
1200			
1000			
800			
600			
400			
200			
0			

Groupe :	Date :
Noms :	

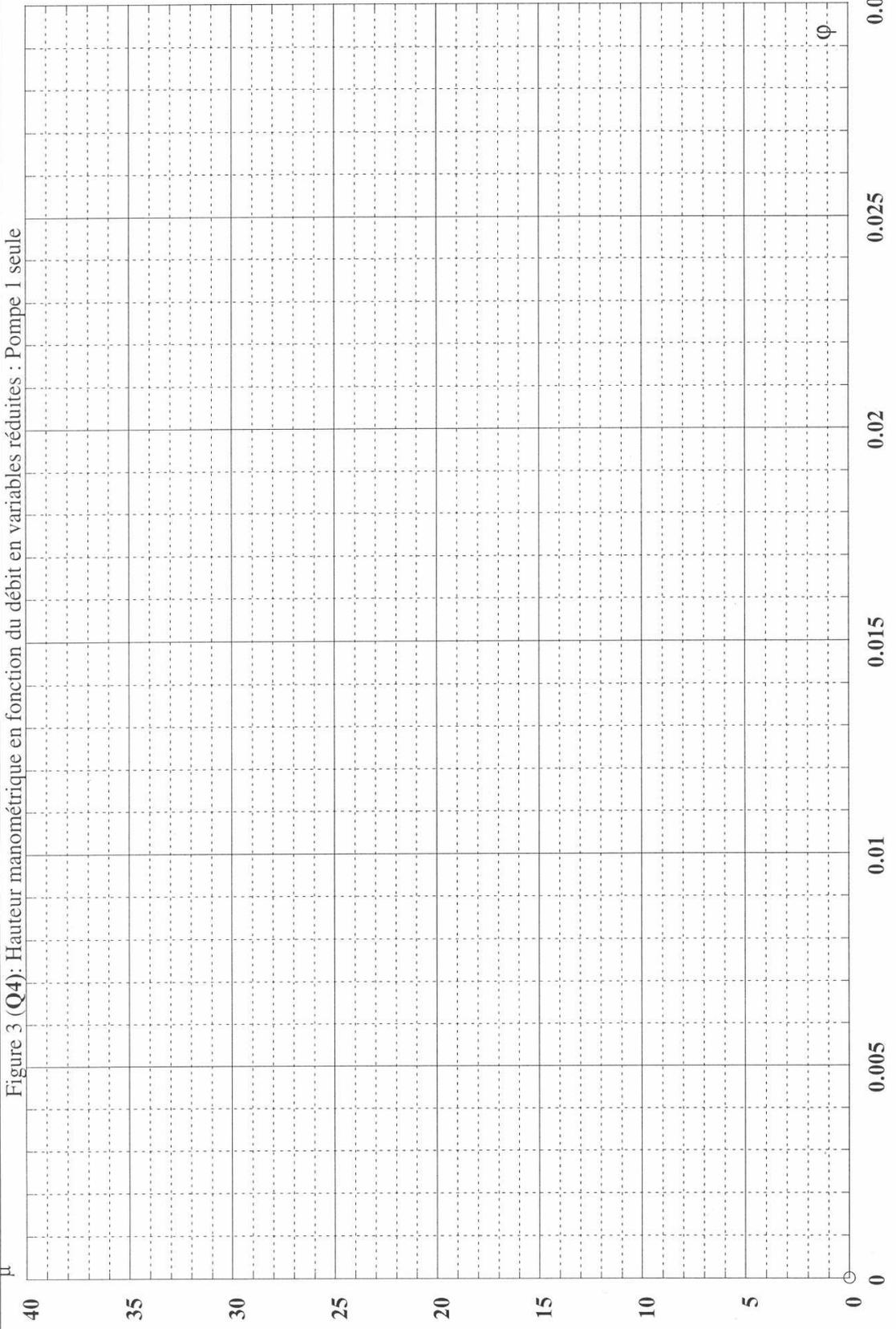
Groupe : Date : 12

Noms :
.....

Figure 2 (Q1 et Q5): Hauteur manométrique en fonction du débit: Pompe 1 et 2 seules



Groupe : Date : 13
Noms :
.....



VIII. ETUDE DU COUPLAGE DES POMPEE EN SERIE

Le mode opératoire :

Tableau 1c : Mode opératoire pour l'étude du couplage des pompes en série

F = fermée, O = ouvert et ↗ variable

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7

Q6 : Compléter le tableau 8 et tracer sur la figure 4 les courbes (hauteur manométrique – débit) : de la pompe 1 $HMT_1(Q_{v1})$, de la pompe 2 $HMT_2(Q_{v2})$ et du couplage $HMT_c(Q_{vt})$. Comparer ces résultats et montrer l'intérêt pratique du couplage en série ; on peut noter que ce couplage est peu utilisé, il est plus intéressant d'installer une pompe multicellulaire (plusieurs roue dans un seul corps de pompe).

Tableau 7 (Q6) : Etude du couplage des pompes en série

Q _{v1} (L/h)	Q _{v2} (L/h)	Q _{vt} (L/h)	P ₁ (bar)	P ₂ (bar)	P ₃ (bar)	P ₄ (bar)	H.M.T (m)		
							Pompe1	Pompe2	Couplage

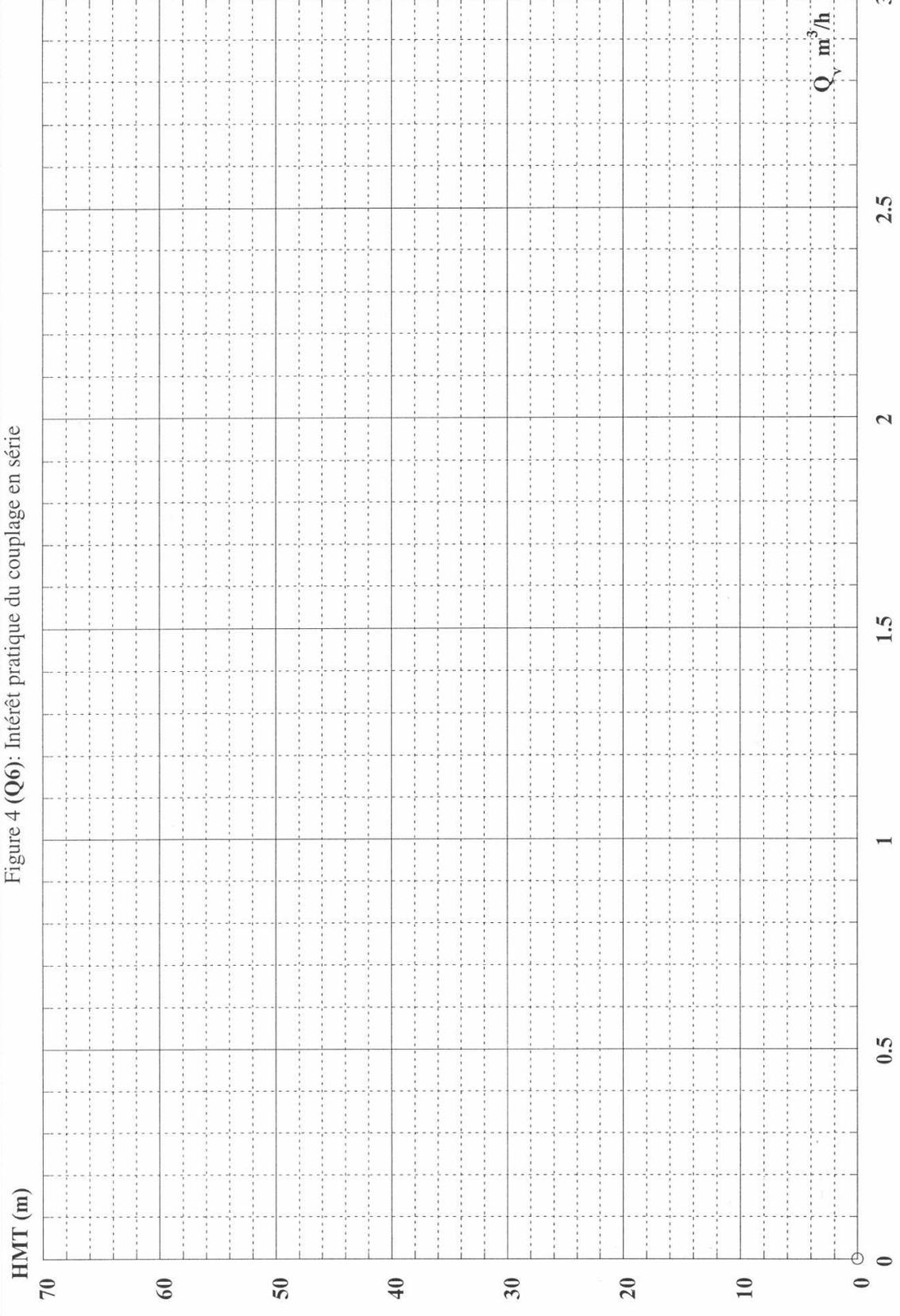
Commentaire

Groupe : Date :

Noms :

Groupe : Date : 15

Noms :



IX. ETUDE DU COUPLAGE DES POMPEE EN PARALLELE

Le mode opératoire :

Tableau 1c : Mode opératoire pour l'étude du couplage des pompes en parallèle

F = fermée, O = ouvert et ↗ variable

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7

Q7 : Compléter le tableau 7 et tracer sur la figure 5 les courbes (hauteur manométrique – débit) : de la pompe 1 $HMT_1(Q_{v1})$, de la pompe 2 $HMT_2(Q_{v2})$ et du couplage $HMT_c(Q_{vt})$ ($HMT_c \approx HMT_1$). Comparer les résultats et montrer l'intérêt pratique du couplage en parallèle.

Tableau 8 (Q7): Etude du couplage des pompes en parallèle

Q _{v1} (L/h)	Q _{v2} (L/h)	Q _{vt} (L/h)	P ₁ (bar)	P ₂ (bar)	P ₃ (bar)	P ₄ (bar)	H.M.T (m)	
							Pompe 1 ≈ Couplage	Pompe2

Commentaire

Groupe : Date :

Noms :

Groupe : Date : 17
Noms :
.....

Figure 5 (Q7): Intérêt pratique du couplage en parallèle

