

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP



Gm, 0045

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
Centre de Thiès
Département Génie Mécanique

PROJET DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception

Sujet :

*Reconstitution de la documentation technique d'une station
d'essais et de simulations hydrauliques.*

Présenté et soutenu par Thierno DIOP le 21 juillet 2003

Directeur : M.Séni Tamba

Co-Directeur : M.Mamadou Khalifa SIBY

Directeur externe : M.Soulèyemane DEME

Année académique 2002-2003

Dédicaces :

*A mes grands-parents pour l'éducation qu'ils ont
donnée, que la terre te soit légère*

A mes parents , je ne saurais comment vous remercier,

A mes frères et sœurs,

A tous mes camarades de promotion,

Sommaire

Le présent rapport est le fruit d'un travail accompli dans le cadre d'un Projet de Fin d'Etude intitulé : Reconstitution de la documentation technique d'une station d'essai et de simulation hydraulique.

L'objectif final de ce rapport est de rédiger un cahier de laboratoire pour une bonne conduite des manipulations sur les pompes.

Cette étude ne pouvait se faire sans une bonne maîtrise de certaines théories concernant le transport des fluides mais aussi le comportement des moteurs asynchrones qui servent de force motrice aux pompes : ce qui constitue la première partie du travail.

Le deuxième chapitre traite essentiellement des aspects de l'installation : sa description, son principe de fonctionnement, les caractéristiques du matériel, les configurations du système, mais aussi de quelques modifications simples à faire pour un meilleur fonctionnement.

Le troisième chapitre traite de modifications électriques en vue d'une commande pour une installation plus sécuritaire et plus fiable.

La quatrième partie énonce les manipulations et leurs buts pédagogiques.

Enfin la cinquième et dernière partie consiste en un cahier de conduite de manipulation.

Remerciements

Nous n'aurions pu faire ce travail et le présenter sans l'appui de tout le corps professoral qui a été à au début et à la fin de notre formation et que nous ne pourrions manquer de remercier.

J'aimerais par conséquent remercier plus particulièrement MM. Séni TAMBA , Mamadou Khalifa SIBY professeurs à l'Ecole Supérieure Polytechnique pour leur disponibilité et leur compréhension.

Mes remerciements vont aussi à MM. Moussa FAYE : ingénieur polytechnicien, Soulye DEME, coordonnateur du PDI, Daouda NDOYE , *formateur* au PDI, Massar DIEYE, *formateur* au PDI ainsi que tout le personnel du PDI pour leur bonne collaboration.

Je voudrais enfin exprimer ma reconnaissance à Ndongo Gueye élève-ingénieur DIC1 pour m'avoir assisté dans la réalisation des schémas.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----|
| Liste des symboles et abréviations : | I |
| Liste des tableaux : | II |
| liste des figures : | III |
| Liste des planches | IV |
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE 1 : GENERALITES | 2 |
| Introduction | 2 |
| 1.1- Le transport des fluides dans les conduites | 2 |
| 1.1.1- La théorie de Bernoulli | 2 |
| 1.1.2- Pertes de charges | 2 |
| 1.1.3- Les pompes | 4 |
| 1.1.4- grandeurs caractéristiques d'une pompe | 6 |
| 1.1.5- Courbe de performance d'une pompe | 6 |
| 1.1.6- Courbe de performance de deux pompes en série | 7 |
| 1.1.7- Courbe de performance de deux pompes en parallèle | 8 |
| 1.1.8- Caractéristique du réseau et point de fonctionnement: | 9 |
| 1.1.9- diamètres intérieurs caractéristiques de tuyaux en acier : | 10 |
| 1.1.10-Le phénomène de cavitation | 10 |
| 1.2- Entraînement des pompes | 12 |
| 1.2.1- Constitution générale d'un moteur asynchrone | 12 |
| 1.2.2- Grandeurs d'entrée et grandeurs de sortie. | 13 |
| 1.2.3- Vitesse de rotation des moteurs asynchrones | 14 |
| 1.2.4- Démarrage des moteurs | 15 |
| Chapitre 2 : LE SYSTEME DE POMPAGE | 17 |
| Introduction | 17 |
| 2.1- Principe de fonctionnement de l'installation | 17 |
| 2.1.1- Description de l'installation (voir planches) | 17 |
| 2.1.2- Fonctionnement (voir planches) | 17 |
| 2.2- Le matériel hydraulique et hydroélectrique | 18 |
| 2.2.1- les motopompes | 18 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2- Bâches des pompes | 19 |
| 2.2.3- Vannes manuelles : | 19 |
| 2.2.4- Autres accessoires | 20 |
| 2.3- Vérification de la canalisation | 20 |
| 2.3.1- Vitesse maximale de circulation | 20 |
| 2.3.2- pression maximale..... | 20 |
| 2.4- Quelques modifications et adaptations | 21 |
| 2.4.1-Mise en place d'un système d'amorçage | 21 |
| 2.4.2- Système de contrôle et de régulation | 22 |
| 2.4.3- dispositif d'évacuation de trop plein | 22 |
| Chapitre 3 : LA COMMANDE ELECTRIQUE | 23 |
| Introduction | 23 |
| III.1- Moteurs asynchrones triphasés à rotor à cage | 23 |
| 3.2- Centralisation de la commande électrique | 24 |
| 3.3- Dispositif de sécurité | 25 |
| Chapitre 4 : MANIPULATIONS ET PEDAGOGIE..... | 26 |
| Introduction | 26 |
| 4.1- performances d'une pompe immergée | 26 |
| 4.1.1- mesures des grandeurs caractéristiques..... | 26 |
| 4.1.2- exploitation des résultats..... | 27 |
| 4.2- performances de la pompe centrifuge à axe vertical | 28 |
| 4.2.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 28 |
| 4.2.2- exploitation des résultats..... | 28 |
| 4.3- Etude d'une pompe centrifuge à axe horizontal | 29 |
| 4.3.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 29 |
| 4.3.2- exploitation des résultats..... | 30 |
| 4.4- Etude de la turbopompe | 30 |
| 4.4.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 31 |
| 4.4.2- exploitation des résultats..... | 31 |
| 4.5- couplage en série de deux pompes | 32 |
| 4.5.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 32 |
| 4.5.2- exploitation des résultats..... | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 4.6- couplage en parallèle des pompes..... | 34 |
| 4.6.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 34 |
| 4.6.2- exploitation des résultats..... | 35 |
| 4.7- performances d'une pompe volumétrique | 35 |
| 4.7.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 35 |
| 4.7.2- exploitation des résultats..... | 36 |
| 4.8- comparaison d'une pompe volumétrique et d'une turbopompe..... | 37 |
| 4.8.1- mesure des grandeurs caractéristiques | 37 |
| 4.8.2- exploitation des résultats..... | 37 |
| CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS | 39 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 40 |
| ANNEXE 1: exemple de vérification de cavitation | |
| ANNEXE 2 : cahier de laboratoire | |
| ANNEXE 3 : courbes de performance des pompes | |

Liste des symboles et abréviations :

- $\cos\phi$: facteur de puissance, sans unité
- D : diamètre en mètres (m)
- E_p : hauteur d'élévation d'une pompe ou hauteur de chute d'une turbine en mètres (m)
- f : coefficient de frottement
- f_r : fréquence électrique du réseau en Hertz (Hz)
- g : intensité de la pesanteur en mètres en seconde carré (m/s^2) ; $g=9.81 m/s^2$
- G : glissement en pourcentage (%)
- H_f : pertes de charge en mètres (m)
- H_n : hauteur nette en mètres (m)
- I : intensité de courant en ampères (A)
- K : coefficient de singularité
- N : vitesse de rotation en tours par minute (tr/min)
- N_s : vitesse de synchronisme d'un moteur asynchrone en tour par seconde (tr/s)
- P : pression en bars ou en Pascal (Pa)
- P_{at} : pression atmosphérique en bars ; $P_{at}=1.0135 \text{ bars}=101350 \text{ Pa}$
- P_p : nombre de paires de pôles pour un moteur asynchrone
- P_{ref} : pression de refoulement d'une pompe volumétrique en bars (bar)
- Q : débit en mètres cube par seconde (m^3/s) ou en mètres cubes par heure (m^3/h)
- Re : nombre de Reynolds
- T : couple en Newton mètre ($N\cdot m$)
- U : tension composée, entre phase en volts (V)
- \dot{V} : tension simple, entre phase et neutre en volts (V)
- V : vitesse en mètres par seconde (m/s)
- W : puissance en Watt (W)
- Z : cote en mètres (m)
- γ : poids spécifique en Newton par mètres cube (N/m^3)
- ε : rugosité en millimètres (mm)
- ω : vitesse angulaire en radians par seconde (rad/s)
- η_M : rendement moteur
- η_{HM} : rendement hydromécanique

Liste des tableaux :

| | page |
|---|------|
| ▪ tableau 1.1 : diamètres intérieurs des tuyaux en acier..... | 10 |
| ▪ tableau 1.2 : vitesse de synchronisme d'un moteur en fonction du nombre de pôles..... | 14 |
| ▪ tableau 1.3 : température admissible suivant la classe d'isolation..... | 15 |
| ▪ tableau 1.4 : étude comparative des démarrages des moteurs asynchrones..... | 16 |
| ▪ tableau 2.1 : caractéristiques techniques des motopompes..... | 19 |
| ▪ tableau 3.1 : nombre de démarrages admissibles par heure en fonction de la puissance du moteur..... | 22 |

liste des figures :

| | page |
|---|------|
| ▪ figure 1.1 : courbe caractéristique d'une pompe centrifuge..... | 7 |
| ▪ figure 1.2 : courbe caractéristique d'un montage en série de deux pompes centrifuges..... | 7 |
| ▪ figure 1.3 : courbe caractéristique de deux pompes centrifuges montées en parallèle..... | 8 |
| ▪ figure 1.4 : courbe caractéristique de montage en parallèle d'une pompe centrifuge et d'une pompe volumétrique..... | 9 |
| ▪ figure 1.5 : point de fonctionnement..... | 10 |
| ▪ figure 1.6 : NSPH requis et NSPH disponible..... | 12 |
| ▪ figure 2.1 : dispositif d'amorçage..... | 21 |
| ▪ figure 2.2 : dispositif de contrôle de niveau..... | 22 |
| ▪ figure 2.3 : dispositif d'évacuation de trop plein..... | 22 |
| ▪ figure 3.1 : nombre de démarrage par heure en fonction de la puissance du moteur..... | 23 |
| ▪ figure 3.2 : localisation du pupitre central..... | 24 |

Liste des planches

- Planche 1- pompe immergée
- Planche 2- Mur 1 de l'installation- pompes centrifuges
- Planche 3- Mur 2 de l'installation- turbopompe
- Planche 4- Mur 2 de l'installation (suite)-pompe volumétrique

Introduction

INTRODUCTION

L'existence de l'eau et sa non disponibilité ont toujours conduit les hommes à chercher des moyens de mettre ce liquide précieux à leur portée et pour une meilleure utilisation. Ainsi on est passé de l'utilisation de la gourde et desalebasses aux pompes en passant par le chadouf et bien d'autres moyens d'élévation et de transport de l'eau.

Les pompes qui constituent aujourd'hui des éléments essentiels dans les domaines où l'élévation ou le transport des fluides sont utilisées notamment dans le domaine de l'industrie, elles jouent un rôle incontournable dans l'exploitation aussi bien industrielle que domestique de l'eau. Très efficaces par leur fonction, leur maîtrise est indispensable pour une bonne conduite, mais aussi pour une utilisation optimale de ces outils à consommation d'énergie relativement élevée.

C'est ainsi que face à la demande des industries pour une adaptation de leur personnel aux différentes techniques notamment de transport des fluides et d'hydraulique en général, le Pôle de Développement Industriel (PDI) dispose d'une station d'essai et de simulation hydraulique, de bancs de pompe pour la formation professionnelle. Pour toute conduite de laboratoire, il doit y avoir une documentation pour une meilleure exploitation des infrastructures, raison pour laquelle il nous a été proposé de rédiger un manuel pour la conduite des essais de simulation.

Après avoir formulé quelques rappels concernant le transport des fluides et les problèmes corollaires telle la source d'énergie, nous allons faire une présentation de la station pour finir avec la conception d'un cahier de laboratoire.

Notons que quelques adaptations seront apportées sur l'installation.

Chapitre 1 : GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Introduction

Toute maîtrise d'un domaine nécessite au préalable la connaissance de la théorie qui le fonde. C'est dans cet ordre d'idée que nous allons présenter ce chapitre qui traite du transport des liquides mais aussi de l'entraînement des pompes.

1.1- Le transport des fluides dans les conduites

1.1.1- La théorie de Bernoulli

L'énergie hydraulique peut se présenter sous différentes formes notamment :

- ✓ Une énergie de pression caractérisée par la pression statique en ce point,
- ✓ Une énergie cinétique caractérisée par le carré de la vitesse d'une particule,
- ✓ Une énergie potentielle caractérisée par la cote du point considéré par rapport à une référence unique qu'on peut choisir arbitrairement.

Pour passer d'un point donné à un autre ayant un niveau d'énergie différent il faut une source extérieure qui peut soit retrancher ou ajouter de l'énergie. Dans le cas de diminution d'énergie on peut prendre l'exemple de la turbine.

Pour une élévation du niveau d'énergie comme dans le cas du transport de fluide d'un bassin vers des réservoirs placés en hauteur on a recours à un système de pompage.

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \Big|_1 + E_p = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \Big|_2 \quad [2]$$

Dans notre cas E_p est positif : cas du pompage.

Lors de la circulation du fluide, une partie de l'énergie est perdue du fait des frottements dans les conduites et des imperfections de trajectoire d'où les pertes de charges.

1.1.2- Pertes de charges

En tenant compte de l'ensemble des pertes de charge on a l'expression suivante :

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \Big|_1 + E_p - \sum H_f = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \Big|_2 \quad [2]$$

Ces pertes de charge peuvent être linéaires ou singulières :

Expression des pertes de charges linéaires :

Les pertes de charge régulières sont dues aux frottements entre la tuyauterie et le fluide en mouvement donc elles sont fonction de la rugosité de l'intérieur de la canalisation.

Elles sont provoquées par la viscosité du fluide réel et apparaissent lorsqu'il y a mouvement entre les diverses particules des couches voisines du fluide se déplaçant avec des vitesses différentes.

Des abaques nous donnent un coefficient de frottement f en fonction de la rugosité relative (rapport de la rugosité par le diamètre intérieur) et du nombre de Reynolds.

En régime turbulent rugueux la rugosité relative seule suffit pour déterminer le coefficient de frottement car le nombre de Reynolds est suffisamment grand.

Ainsi les pertes de charge linéaires sont données par l'équation de Darcy Weichback [2]:

$$Hf = f \frac{L V^2}{2gD}$$

ou bien

$$hf = 0.0826 * f * \frac{L}{D^5} Q^2$$

L : longueur du tronçon considéré

D : diamètre intérieur de la tuyauterie du tronçon considéré

g : intensité de la pesanteur

Dans le cas d'un écoulement laminaire le coefficient de frottement peut être donné par la formule suivante [1]:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{avec} \quad Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Re : nombre de Reynolds

μ : viscosité cinématique

ρ : masse volumique

en régime turbulent de nombreuses expériences ont permis de mettre en évidence que f dépend :

- Du nombre de Reynolds
- De la rugosité relative ϵ/D

✓ Cas des tuyaux pleinement rugueux :

Von Karman propose [1]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(3.7 \frac{D}{\epsilon})$$

✓ Cas des tuyaux lisses :

L'équation de Von Karman modifiée par Prandtl est :

$$\frac{1}{(\sqrt{f})^{-0.25}} = 2 \log(\text{Re} \sqrt{f})^{-0.8}$$

Pour un nombre de Reynolds inférieur à 10^5 Blasius propose [1] :

$$f = 0.316 \text{Re}^{-0.25}$$

Pour tout type de tuyaux (lisses ou rugueux) Coolbrooke et White ont établi une formule [1] :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}}\right)$$

Expression des pertes de charges singulières :

Les pertes de charge singulières sont dues aux changements de direction ou de section de passage. Elles se produisent lorsqu'il y a perturbation de l'écoulement ou une présence d'obstacle.

Ainsi pour chaque type de singularité on a une perte de charge donnée par [1]:

$$hf = K * \frac{V^2}{2g}$$

K : coefficient qui dépend de la singularité

V : vitesse du fluide dans la conduite

Généralement la détermination des pertes de charge singulières se fait au moyen d'abaques donnant la longueur équivalente de l'accessoire considéré en mètres: Ce qui ramène à un calcul de pertes de charge régulières.

Etant données toutes ces pertes de charges ajoutées éventuellement à l'élévation, le transport des fluides nécessite une source de puissance extérieure d'où l'utilisation des pompes.

1.1.3- Les pompes

La pompe est un appareil qui communique de l'énergie hydraulique à un fluide en vue de son déplacement d'un point à un autre. Il existe une gamme très variée de pompes ; des critères nous permettent de faire une classification et ils peuvent être basés sur :

- ✓ Le principe de fonctionnement
- ✓ Le domaine d'application
- ✓ La limite de pression

Selon le premier critère les pompes peuvent être classées en deux catégories :

1- les pompes à déplacement positif ou pompes volumétriques: le liquide emprisonné entre les parties fixes et mobiles reçoit une poussée de ces dernières.

2- les pompes à énergie cinétique : Elles utilisent le principe de la force centrifuge : le liquide est amené en rotation , ayant tendance à s'éloigner du centre de la pompe et en à sortir s'il existe un passage.

Nous étudierons quelques types de pompes dans les paragraphes qui suivent.

Les pompes à énergie cinétique

Dans cette catégorie de pompes nous pouvons citer entre autre :

- Les turbopompes

Le principe de fonctionnement d'une turbopompe consiste à l'augmentation du moment cinétique ou de la circulation du liquide au moyen d'une roue munie d'aubes et d'ailettes fixes sur un arbre tournant. Une partie de cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression par réduction de la vitesse dans un organe appelé diffuseur, directrice ou volute .

Ce type de pompe est pratiquement le plus utilisé dans l'industrie classique du fait d'un certain nombre d'avantages :

- ✓ un entraînement facile nécessitent pas de liaison articulée
- ✓ une régularité de fonctionnement
- ✓ un encombrement petit
- ✓ des frais d'entretien peu élevés

Son utilisation est cependant liée à un certain nombre de problèmes :

- ✓ un rendement qui diminue à faible débit c'est à dire à forte hauteur d'élévation
- ✓ une nécessité d'amorçage
- ✓ usure rapide à vitesse élevée
- ✓ arrêt de l'élévation du liquide au cas d'une aspiration d'air malencontreuse (défaut d'étanchéité).

- Les pompes centrifuges

Dans ce type de pompe une roue (rotor) munie d'aubes ou d'ailettes, animée d'un mouvement de rotation, fournit au fluide l'énergie cinétique dont une partie est transformée en pression par réduction de vitesse dans un organe appelé collecteur. Les turbopompes et les pompes centrifuges sont distinguées suivant la forme de leur roue.

Afin d'avoir une pression de sortie très grande avec un encombrement moindre, on peut utiliser les pompes centrifuges multicellulaires dont la technologie consiste à monter une série de roues sur un même arbre.

Les pompes volumétriques

Plus souvent appelées pompes à déplacement positif, elles sont très variées et peuvent parfois être de construction très complexe.

Dans cette catégorie, on retrouve les pompes rotatives et les pompes alternatives. Parmi les pompes rotatives, on trouve ceux à engrenages, à vis, à lobe et excentrique et bien d'autres types, pour les pompes alternatives on peut citer ceux à piston, à membrane...

Ces pompes sont généralement utilisées pour fournir de grandes pressions à faible débit ou pour les liquides pâteux ou chargés.

1.1.4- grandeurs caractéristiques d'une pompe

- ✓ le débit volumétrique :

C'est le volume de liquide susceptible d'être refoulé par la pompe pendant l'unité de temps .[4]

- ✓ la hauteur effective h_{eff}

C'est la hauteur théorique à laquelle peut refouler une pompe sans pertes de charge ni à l'aspiration ni au refoulement.[4]

$$H_{eff} = H_{géo} + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g}(V_1^2 - V_2^2)$$

- ✓ hauteur de barbotage

C'est la hauteur mesurée par un débit mètre placé au refoulement fermé d'une pompe : c'est une hauteur mesurée à un débit nul.

- ✓ la hauteur nette ou hauteur manométrique totale

C'est la hauteur théorique diminuée des pertes de charge dues :

- aux frottements des filets liquides entre eux et contre les parois de la machine dans la roue et dans le diffuseur,
- aux chocs à l'entrée et à la sortie de la roue.

Cette hauteur est fonction de la vitesse de rotation et du débit [4] :

$$H_n = aN^2 + bNQ + cQ^2$$

1.1.5- Courbe de performance d'une pompe

Cette caractéristique à vitesse de rotation constante est donc par une parabole coupant l'axe des hauteurs en un point dont l'abscisse correspond à la hauteur à débit nul ou « hauteur

de barbotage ». Elle peut avoir des allures plongeantes (pompes stables) ou ascendantes (pompes instables) et ceci en fonction de la valeur de l'angle β de sortie des aubes de la roue.

Toutefois une caractéristique d'allure plongeante ($\beta < 90^\circ$) permet d'obtenir un fonctionnement stable de la pompe avec les avantages suivants :

- ✓ limitation de la puissance absorbée en cas d'incidents,
- ✓ facilité de couplage stable des pompes.

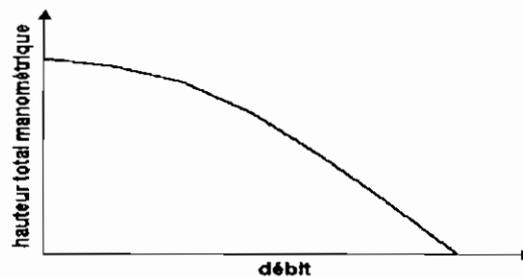


figure 1.1- courbe de performance d'une pompe centrifuge

1.1.6- Courbe de performance de deux pompes en série

Un tel couplage est utilisé pour l'accroissement de la hauteur manométrique : l'aspiration de la seconde pompe est reliée au refoulement de la première.

La courbe caractéristique $Hn=f(Q)$ de l'ensemble est obtenue en ajoutant les hauteurs (ordonnées) des courbes caractéristiques de chaque pompe.

Du point de vue pratique, il faut toutefois s'assurer que les pompes soient susceptibles de supporter les pressions auxquelles elles doivent être soumises, en particulier pour la ou les dernières pompes de la série.

Ce type de montage est mis en application sur les pompes centrifuges multicellulaires sur un même arbre et dans un même corps de pompe. Chaque élément appelé cellule ou étage comprend un rotor, un diffuseur et un canal de retour qui amène le fluide à la sortie du rotor vers l'œillard de la cellule suivante.

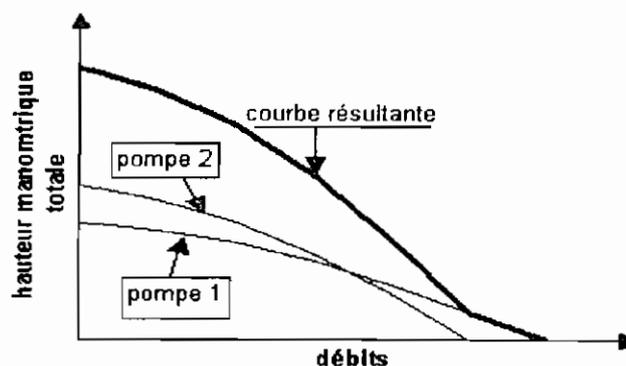


figure 1.2- courbe caractéristique d'un montage en série de deux pompes centrifuges

1.1.7- Courbe de performance de deux pompes en parallèle

Un tel couplage est utilisé pour l'accroissement du débit : l'aspiration de la seconde pompe est reliée à celle de la première.

La caractéristique de l'ensemble est obtenue en sommant pour une même hauteur nette ou HMT les débits q_1 et q_2 en abscisse des pompes.

Il faut noter que le débit Q correspondant au point de fonctionnement du montage est inférieur à la somme des débits q_1 et q_2 des deux pompes car la vitesse de circulation du fluide dans la conduite commune a augmenté du fait de l'addition des débits q_1 et q_2 . étant donné que la perte de charge croît avec la carré de la vitesse du fluide dans la conduite, la somme des pertes de charge ΔH_1 et ΔH_2 créés séparément dans une même conduite est inférieure à la perte de charge ΔH créée par les deux pompes associées.

Donc pour une même hauteur manométrique, la somme des débits q_1 et q_2 des pompes fonctionnant séparément est légèrement supérieure au débit des deux pompes fonctionnant en parallèle.

Si les deux pompes ne sont pas parfaitement identiques, la courbe résultante une partie commune avec celle de la pompe ayant la plus grande hauteur de barbotage qui s'étend de cette hauteur de barbotage au point ayant comme ordonnée l'autre point de barbotage.

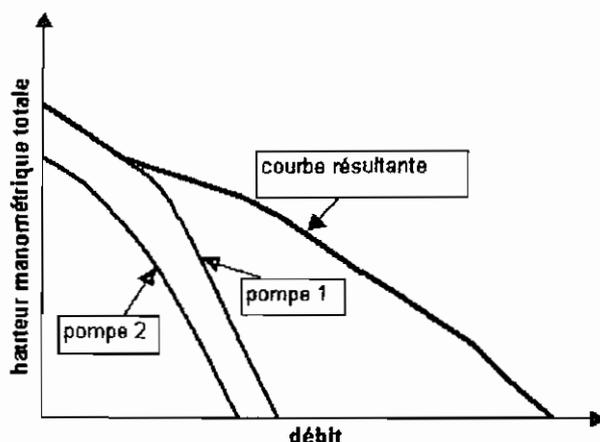


figure1.3- courbe caractéristique de deux pompes centrifuges montées en parallèle

Cas de la pompe volumétrique

Pour ce type de pompe le débit n'est pas une fonction dépendante de la hauteur manométrique ; pour un débit constant on peut avoir différentes hauteurs manométriques. Ce dernier n'est fonction que du volume des cavités (volume entre partie fixe et parties mobiles) de la pompes et de la cadence d'entraînement (vitesse de rotation du moteur).

Cependant on peut la coupler en parallèle avec une pompe centrifuge ; la caractéristique est par une translation de la caractéristique de la pompe centrifuge d'une valeur égale au débit de la pompe à déplacement positif.

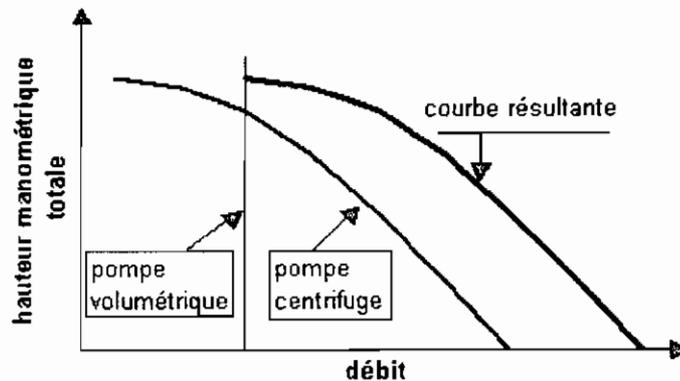


figure 1.4- courbe caractéristique de montage en parallèle d'une pompe centrifuge et d'une pompe volumétrique

1.1.8- Caractéristique du réseau et point de fonctionnement:

Le réseau constitue l'ensemble des canalisations qui conduisent le fluide des bâches d'aspiration aux pompes puis des pompes vers les lieux d'utilisation.

Il est composé de tuyaux et des appareils de robinetterie ayant pour fonction de permettre :

- le sectionnement des différents tronçons,
- la protection des conduites et appareils,
- l'équipement des réservoirs et des pompes.

L'étude du réseau doit permettre la détermination de sa caractéristique. Cette étude est basée sur celle des pertes de charge et caractéristiques principales du réseau et représentée par une courbe de pertes de charge totales en fonction du débit du fluide.

Les règles de détermination du réseau complexes s'énoncent ainsi :

- i. Pour deux tronçons de tuyauterie joints bout à bout, on dit qu'ils sont en série et leurs Hauteurs géométriques additionnées des pertes de charge respectives s'additionnent.
- ii. Pour deux tronçons dont leurs points d'entrée respectifs du fluide sont confondus, on dit qu'ils sont parallèle et leurs débits s'additionnent pour une même hauteur géométrique additionnée des pertes de charge.

Une fois la caractéristique du réseau trouvée, le point de fonctionnement-caractérisé par un débit et une hauteur manométrique totale-est donnée par l'intersection avec la courbe de performance de la pompe ou du montage de pompes (série ou parallèle).

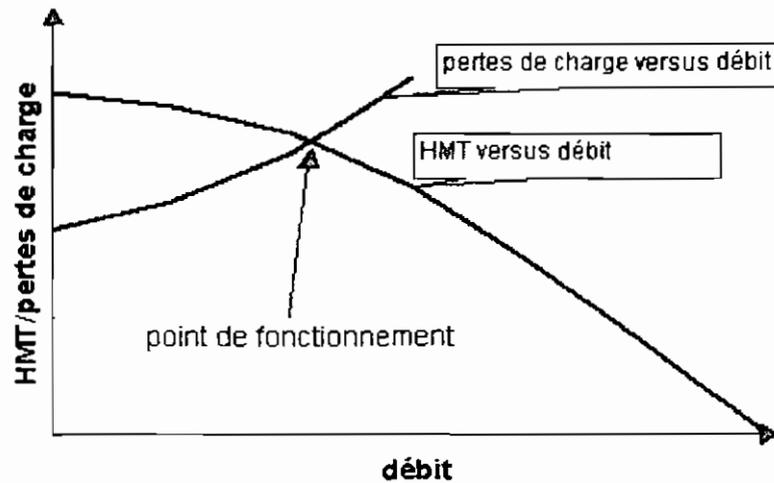


figure 1.5 : point de fonctionnement

1.1.9- diamètres intérieurs caractéristiques de tuyaux en acier :

Il existe une gamme de tuyaux en acier avec une nomenclature normalisée très simple qui nous permet de savoir le diamètre intérieur et le diamètre extérieur.

| | | | | | | |
|-------------------------|----------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|
| Dimensions conduites | 20/27 ¾" | 26/34 1" | 33/42 1"1/4 | 40/49 1"1/2 | 50/60 2" | 60/70 2"1/4 |
| Dimensions conduites | 66/76 2"1/2 | 80/90 3" | 102/114 4" | 125 | 150 | 175 |

Tableau 1.1 : diamètres intérieurs des tuyaux en acier [5]

1.1.10-Le phénomène de cavitation

Théoriquement, il est bien connu qu'en faisant le vide dans un tube, il est possible de faire monter l'eau à une hauteur dépendant de la pression atmosphérique pour l'altitude considéré.[4]

Pour l'altitude zéro, cette hauteur est de :

$$P = \rho Zg \quad P = P_{at}$$

$$P = \rho Zg \quad Z = \frac{P_{at}}{\rho g} = 10.33 \text{ m}$$

La hauteur pratique d'aspiration d'une pompe est notablement moins élevée car une partie de la pression disponible est nécessaire, d'une part pour vaincre les pertes de charge à l'aspiration ΔH_{asp} , et d'autre part pour donner au liquide la vitesse désirée.

Sous certaines conditions, pour des pressions d'aspiration relativement faibles le liquide peut avoir tendance à se vaporiser d'où la formation de bulles de vapeur ou de cavités ; c'est le phénomène de cavitation. Ce phénomène de cavitation très particulier aux pompes centrifuges se manifeste de plusieurs façons :

- des bruits et vibrations,
- chute brutale du débit et de la pression de refoulement,
- amorçage de la pompe,
- attaque brutale du métal du rotor.

Pour un fonctionnement normal de la pompe et en toute sécurité, il faut donc que la pression à l'entrée de la pompe soit largement au-dessus de la tension de vapeur du fluide.

Pour éviter qu'un tel phénomène se produise, les constructeurs et installateurs de pompes ont introduit la notion de « NPSH » : « net positive suction head » que l'on peut traduire par « charge nette à l'aspiration ». Le NPSH est la cote de la ligne piégométrique à l'entrée de la tubulure d'aspiration de la pompe, rapporté à l'axe de celle-ci, exprimée en mètres diminuée de la hauteur représentant la tension de vapeur du liquide[4].

La NPSH disponible est donnée par la relation suivante [2] :

$$NPSH_d = \frac{P_{at}}{\gamma} - |\Delta Z| - H_f - \frac{P_v}{\gamma} \left(\frac{\Delta V^2}{2g} \cong 0 \right)$$

avec $\frac{P_{at}}{\gamma} = 10.33$, on voit que ΔZ ne peut être égal à 10.33m.

Donc il y a une dénivellation maximale à l'aspiration ; elle est théoriquement de 10.33m ; en pratique, elle est voisine de 6 à 7m. [2]

Pour fonctionner de façon satisfaisante, chaque pompe centrifuge requiert à son aspiration une certaine énergie qui est fonction de la conception même de sa roue, principalement du diamètre de l'ouïe, de la forme et du nombre d'aubes, de la vitesse spécifique. Cette énergie appelée *charge nette absolue requise* H_{sv} ou NPSH requis, est définie comme étant la marge minimum entre la hauteur totale d'aspiration absolue et la tension de vapeur absolue du liquide. Le NPSH requis étant une caractéristique de la pompe, il doit être donné par le constructeur de la pompe, avec les courbes de performances. Il est évident que le fonctionnement d'une pompe ne sera possible que lorsque le NPSH disponible dans l'installation dépasse largement le NPSH requis par la pompe.

La façon la plus rationnelle d'étudier les possibilités d'aspiration d'une pompe dans le cadre de son installation est de représenter sur une même graphique les variations du NSPH disponible et celles du NPSH requis. [2]

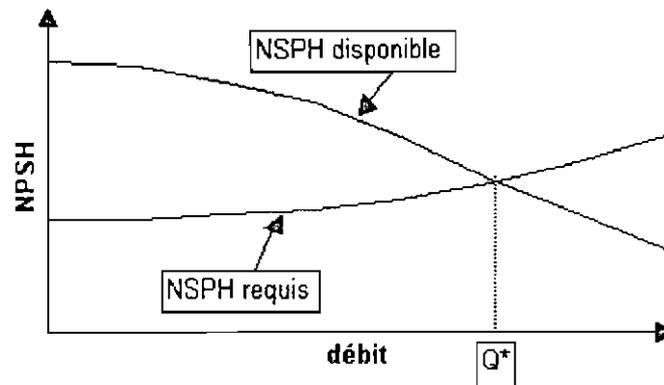


figure 1.6 : NSPH requis et NSPH disponible

La condition à vérifier pour l'installation sera toujours $\text{NSPH disponible} > \text{NPSH requis}$. Un exemple de calcul de vérification est présenté à l'annexe 1.

Les pompes étant des récepteurs passifs : elles nécessitent une force extérieure pour leur entraînement en rotation.

1.2- Entraînement des pompes

L'entraînement des pompes en rotation nécessite une force d'une source extérieure, l'utilisation des moteurs asynchrones devient de plus en plus prépondérante bien qu'il existe d'autres moyens comme le moteur à vapeur.

Le moteur asynchrone d'induction qui est le moteur de base de l'industrie actuelle convient surtout pour la commande à vitesse constante.

1.2.1- Constitution générale d'un moteur asynchrone

On classe les différentes pièces rencontrées dans toute machine tournante selon trois grandes fonctions réalisées : électriques, magnétiques et mécaniques.

▪ organes électriques

Dans cette catégorie on distingue pour le moteur :

- les enroulements rotoriques
- les enroulements statoriques

▪ organes magnétiques

on peut citer :

- le circuit magnétique fixe
- le circuit magnétique mobile

▪ **organes mécaniques**

Ces organes sont les volumineux dans la constitution d'un moteur ; on y distingue :

- la carcasse avec fixation ou stator : C'est la partie fixe du moteur, il est constitué d'une carcasse sur laquelle est fixée une couronne de tôles d'acier de qualité spéciale munies d'encoches. Des bobinages de section appropriée sont répartis dans ces dernières et forment un ensemble d'enroulements qui comporte autant de circuits qu'il y a de phases sur le réseau d'alimentation.

- le rotor avec l'arbre : C'est la partie mobile du moteur, il est placé à l'intérieur du stator et constitué d'un empilage de tôles d'acier formant un cylindre claveté sur l'arbre du moteur. Il tourne à une vitesse inférieure à celle du champ tournant par rapport à lui dans lequel il est placé. Il doit être feuilleté pour réduire les pertes par courant de Foucault.

Sa mise en vitesse au moment du démarrage est liée à la surintensité admissible dans l'installation électrique, au couple nécessaire à la machine entraînée et à la durée du démarrage admissible.

- les tiges de montage
- les roulements à bille
- le ventilateur
- le capot de ventilateur
- la plaque à bornes

1.2.2- Grandeurs d'entrée et grandeurs de sortie.

Etant donné que le moteur asynchrone est une machine électrique transformant de l'énergie électrique en énergie mécanique, il est caractérisé par des grandeurs d'entrée qui sont électriques et des grandeurs de sortie qui sont mécaniques.

▪ **Grandeurs d'entrée**

U : tension entre phase (V)

V : tension entre phase et neutre (V)

I : courant absorbé (A)

φ : angle de déphasage entre la tension entre phase et le courant absorbé (rad)

Pe : puissance électrique (W)

Ces grandeurs électriques sont liées par la relation [3]:

$$Pe = \sqrt{3} * UI \cos \varphi = 3 * VI \cos \varphi$$

U et I représentant les tension de phase ou tension composée et intensité de ligne du réseau triphasé.

▪ Grandeurs de sortie

P_m : puissance mécanique (W)

T : couple moteur (Nm)

ω : vitesse angulaire (rad/s)

N_s : vitesse de synchronisme (tr/s)

p : nombre de paires de pôles par phase

f_r : fréquence du réseau (Hz)

Ces grandeurs sont liées par les relations [3] :

$$P = T\omega; N_s = f/p$$

Ainsi on peut définir le rendement (électrique) du moteur par le rapport de la puissance mécanique par celle électrique ; généralement il est donné par le constructeur en fonctionnement nominal.

1.2.3- Vitesse de rotation des moteurs asynchrones

Dans les alternateurs, les enroulements statoriques sont soumis à l'influence des pôles « nord » et « sud » qui en se déplaçant induisent la force électromotrice alternative par sa fréquence et sa tension.

La fréquence est liée à la vitesse de synchronisme et au nombre de pôles

Pour une fréquence de 50 Hz les vitesses de synchronisme sont données dans le tableau

Suivant :

| Moteurs | Nombre de paires de pôles | Vitesse de synchronisme (tr/s) | Vitesse de synchronisme (tr/min) |
|----------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 2 pôles | 1 | 50 | 3000 |
| 4 pôles | 2 | 25 | 1500 |
| 6 pôles | 3 | 16.66 | 1000 |
| 8 pôles | 4 | 12.5 | 750 |
| 10 pôles | 5 | 10 | 600 |

tableau 1.2 : vitesse de synchronisme d'un moteur en fonction du nombre de pôles[3]

Du fait du glissement la vitesse de rotation de l'arbre est légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme du moteur. Ainsi en guise d'exemple pour une vitesse de synchronisme de 1500tr/min on peut avoir une vitesse de rotation réelle de 1450 tr/min soit un glissement de 3.33%.

G : glissement (%)

N_s : vitesse de synchronisme (tr/min)

N : vitesse de rotation de l'arbre (tr/min)

$$G = \frac{N_s - N}{N_s} \quad [3]$$

La vitesse de rotation du moteur dépendant du nombre de pôles qui est une fonction du constructeur et de la fréquence du réseau d'alimentation ; ces moteurs sont considérés comme des machines à vitesse constante.

1.2.4- Démarrage des moteurs

Un moteur ne peut amorcer son mouvement de rotation que si le couple délivré est supérieur au couple résistant produit par la machine à entraîner.

Les arbres des pompes véhiculant des fluides comme l'eau peuvent parfois faire l'objet de corrosion si elles restent longtemps au repos: ainsi au démarrage un couple important doit être vaincu ; ce qui n'est pas toujours évident. Dans ce cas lors d'un essai de démarrage le moteur ronfle et toute la puissance se transforme en chaleur pouvant endommager le moteur. Suivant la classe d'isolation on a les températures maximales admises pour le moteur sous forme de tableau :

| Classe d'isolation | E | B | F | H |
|---|-----|-----|-----|-----|
| Echauffement maxi (C) Par mesure de résistance | 75 | 80 | 100 | 125 |
| Température limite (C) du bobinage (échauffement+ambiance) | 115 | 120 | 140 | 165 |

tableau 1.3 : température admissible suivant la classe d'isolation

Suivant des conditions liées à la puissance et au mode d'utilisation on peut avoir différents types de démarrage dont une étude comparative est présentée au tableau suivant :

| | Rotor bobiné | Rotor à cage | | | |
|---------------|--|---|--|--|---|
| | Démarrage rotorique | Démarrage direct | Démarrage étoile-triangle | Démarrage statorique | Démarrage par auto transformateur |
| Couple | Suivant la demande de l'utilisateur $\frac{C'd < C_{max}}{C_n}$ | Donné par le moteur Cd/Cn | Donné par le moteur $\frac{C'd = 1 * Cd}{C_n \cdot 3 \cdot C_n}$ | Suivant la demande de l'utilisateur $\frac{C'd < Cd}{C_n}$ | Suivant la demande de l'utilisateur $\frac{C'd < Cd}{C_n}$ |
| Intensité de | Suivant le couple demandé $I_n * 1.3 * \frac{C'd}{C_n}$ | Donné par le moteur Id/In | Donné par le moteur $\frac{1}{3} Id/in$ | Suivant le couple demandé $\frac{Id}{In} \sqrt{\frac{C'd/Cn}{Cd/cn}}$ | Suivant le couple demandé $\frac{Id}{In} \left(\frac{C'd/Cn}{Cd/Cn} \right)$ |
| Avantages | Pour un couple donné, conduit à un appel de courant nettement plus réduit que les autres modes de démarrage. Prix intéressant en haute tension et pour les puissances importantes (W>100CV) | Appareillage simple. Bon march. | Relativement bon marché. | Démarrage progressif. Pas de courant transitoire pendant le démarrage. Choix du couple en fonction de la machine entraînée. Couple moteur croissant pendant le démarrage. | Démarrage progressif. Choix du couple en fonction de la machine entraînée. Prix intéressant pour les puissances importantes > 100CV. Appel de courant réduit |
| Inconvénients | Prix du moteur élevé. Entretien des bagues et des balais du moteur | Démarrage brutal. Pointe de courant élevé au démarrage | Limité aux démarrages à vide ou sous faible charge. courants transitoires importants au passage de l'étoile sur le triangle | A couple égal, appel de courant plus élevé qu'avec les démarrages étoile-triangle ou par autotransformateur | Prix élevé pour les faibles puissances. (W inférieure à 50 CV) |

C'd/Cn=couple de démarrage sous tension réduite. Cd/Cn=couple de démarrage sous pleine tension.

tableau 1.4 : étude comparative des démarrages des moteurs asynchrones [3]

Chapitre 2 : LE SYSTEME DE POMPAGE

Chapitre 2 : LE SYSTEME DE POMPAGE

Introduction

L'installation est une infrastructure à orientation didacticielle, ce qui fait que beaucoup d'éléments sont placés dans un espace restreint afin d'avoir une vision globale plus nette et de mieux comprendre le principe de fonctionnement.

Ce chapitre présentera l'installation dans sa configuration actuelle mais aussi fera l'objet d'exposition de quelques retouches pour une meilleure utilisation.

2.1- Principe de fonctionnement de l'installation

2.1.1- Description de l'installation (voir planches)

L'installation est composée de trois pompes centrifuges dont une pompe multicellulaire horizontale, une pompe multicellulaire verticale, une pompe volumétrique à vis en queue de cochon avec variateur de vitesse et une pompe immergée. Ces quatre premières pompes servent au remplissage de deux groupes de quatre et cinq réservoirs comme indiqué sur les dessins d'ensemble.

2.1.2- Fonctionnement (voir planches)

La pompe 2 (centrifuge à axe vertical) aspire par la nourrice d'alimentation qui est plongée dans la bêche d'aspiration ; au refoulement par un système de vanne le fluide a trois possibilités

- Retourner dans la fosse (même bêche d'aspiration) par le tuyau de refoulement (évacuation)

- Aller à l'aspiration de la pompe 3

La pompe 3 (centrifuge à axe horizontal) peut aspirer par la nourrice d'alimentation ou bien par le refoulement de la pompe 2 dans le cas du montage en série des pompes 2 et 3 ; au refoulement par un système de vanne le fluide a trois possibilités

- Retourner dans la fosse par le tuyau de refoulement (évacuation)
- Rejoindre le refoulement de la pompe 3 dans le cas du montage en parallèle des deux pompes 2 et 3.

La pompe 4 (turbopompe) aspire par la nourrice d'aspiration ; au refoulement par un système de vanne le fluide a deux possibilités :

- Verser dans le collecteur d'évacuation
- Remplir suivant une sélectivité ou simultanément les quatre premiers réservoirs

La pompe 5 (pompe volumétrique) aspire par la nourrice ; au refoulement par un système de vanne le fluide a deux possibilités :

- Verser dans le collecteur
- Remplir suivant une sélectivité ou simultanément les cinq derniers réservoirs.

A partir des cinq réservoirs on peut pomper par P4 en passant par deux cuves en cascade avec un système de flotteur. Le remplissage de la première cuve, la commutation sur l'autre et la liaison entre les cinq réservoirs et le collecteur se fait à l'aide de vannes à commande électrique. Il existe aussi un système de vanne d'évacuation pour les quatre réservoirs.

Une pompe immergée (pompe1) est bouclée en circuit fermé dans la fosse avec un dispositif de clapet de sécurité.

Le système présente de nombreuses singularités (coudes, raccords) dues notamment système de changement de circuit mais aussi aux modifications.

Ceci rend la maîtrise des différents circuits difficile.

2.2- Le matériel hydraulique et hydroélectrique

En plus des tuyaux, on a certain lot de matériel hydraulique et hydroélectrique à savoir :

2.2.1- les motopompes

Elles constituent les organes essentiels de l'installation.

| Caractéristiques | Groupe de pompage 2 | Groupe de pompage 3 | Groupe de pompage 4 | Groupe de pompage 5 |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|
| Facteur de puissance | 0.86 | 0.9 | 0.75 | Non disponible |
| Courant nominal 220 V (A) | 13.8 | 10.8 | 2.9 | Non disponible |
| Courant nominal 380 V (A) | 7.9 | 6.25 | 1.65 | Non disponible |
| Puissance (kW) | 3.7 | 3 | 0.55 | Non disponible |
| Rendement | 82% | 81% | 69% | Non disponible |
| Vitesse de rotation (tr/min) | 2850 | 2850 | 1400 | 720 à 1450 |
| Isolement | Classe B | Classe B | Classe B | Classe B |
| Température ambiante maxi | 40°C | 40°C | 40°C | 40°C |
| Marque pompe | Guinard | Guinard | Guinard | Guinard |
| Description de la pompe | Multicellulaire verticale | Multicellulaire Horizontale | centrifuge | A vis en queue de cochon |
| Type pompe | 3M5F | 5M3 | NE 3*16 | Non disponible |
| Série | 899410 | 899410 | 159942 | Non disponible |

Tableau 2.1 : caractéristiques techniques des motopompes [3]

2.2.2- Bâches des pompes

Le bassin doit pouvoir alimenter en eau les quatre pompes et la canalisation ainsi que les réservoirs d'eau en hauteur. Il faut aussi prendre en compte que les crépines doivent être situées au-dessus de 30cm du fond de la cuve.

C'est deux série de quatre d'environ 70L chacun et cinq de 128 L chacun. Les réservoirs sont suspendus et sont alimentés en col de cygne.

La bâche a un volume d'environ 5 m³ ; ce qui prouve que les réservoirs pourrons être remplis sans problème.

2.2.3- Vannes manuelles :

Celles-ci permettront de simuler les pertes de charge en étranglant la circulation du fluide ou tout simplement en la coupant. Il existe des vannes à passage direct et celles à boisseau sphérique

2.2.4- Autres accessoires

Pour le contrôle et la sécurité certaines accessoires sont installées :

- Manomètres
- Débitmètres
- Soupape de sécurité
- Clapets anti-retour
- Soupapes de sécurité

2.3- Vérification de la canalisation

La circulation de l'eau dans les tuyaux d'alimentation répond à un certain nombre de règles notamment la vitesse d'écoulement qui doit être comprise entre 0.5 et 2.5m/s pour limiter le niveau sonore à un seuil donné mais aussi la pression à l'intérieur des tuyaux conformément à la nature de ces derniers pour des raisons de sécurité. Ainsi nous nous proposons de vérifier la tuyauterie surtout pour le cas où les pompes sont montées en parallèle pour la vitesse de circulation ou en série pour la pression.

2.3.1- Vitesse maximale de circulation

Dans cette étude nous allons prendre le cas de la pompe 2 montée seule fournissant un débit maximal correspondant à une hauteur de charge de 10m qui est de 16m³/h. Ce débit correspond à une vitesse de 3.54m/s d'où la justification d'un éventuel niveau sonore lors du fonctionnement.

Notons qu'on n'a pas traité le cas du montage en parallèle qui donnerait une vitesse plus grande.

2.3.2- pression maximale

La pression maximale est obtenue avec le montage en série des pompes 2 et 3 mais elle est limitée par des soupapes de sécurité positionnées aux refoulements de ces dernières.

2.4- Quelques modifications et adaptations

2.4.1-Mise en place d'un système d'amorçage

L'amorçage est le principal problème de l'installation d'autant plus quelle comporte trois pompes (centrifuges) qui nécessitent une telle opération avant démarrage. Le fonctionnement de ces pompes sans charge hydraulique endommage les presse-étoupe.

Actuellement la mise en service de l'installation nécessite un remplissage préalable par système extérieur : ce qui peut prendre beaucoup de temps sinon même impossible parfois pour des raisons techniques : utilisation d'un raccord.

Nous proposons de mettre en place un système permettant un amorçage rapide pour une meilleure utilisation. Pour cela nous préconisons un réservoir –qui peut faire l'objet d'un fût- placé à coté de la nourrice d'aspiration avec un volume donné pour permettre son remplissage. Dans ce cas la pompe immergée peut être utilisée pour remplir ce réservoir.

La mise en place d'un clapet anti-retour est pratiquement indispensable pour un amorçage rapide pour chaque démarrage. Ce système (*figure 2.1*) permettra de faire fonctionner le système par un amorçage rapide mais aussi d'éviter que les pompes se vident d'eau à l'arrêt par le dispositif de crépine et clapet anti-retour.

Le réservoir doit avoir un volume minimal de 80 Litres, soit le triple du volume nécessaire pour noyer les pompes(pompes remplies d'eau au repos).

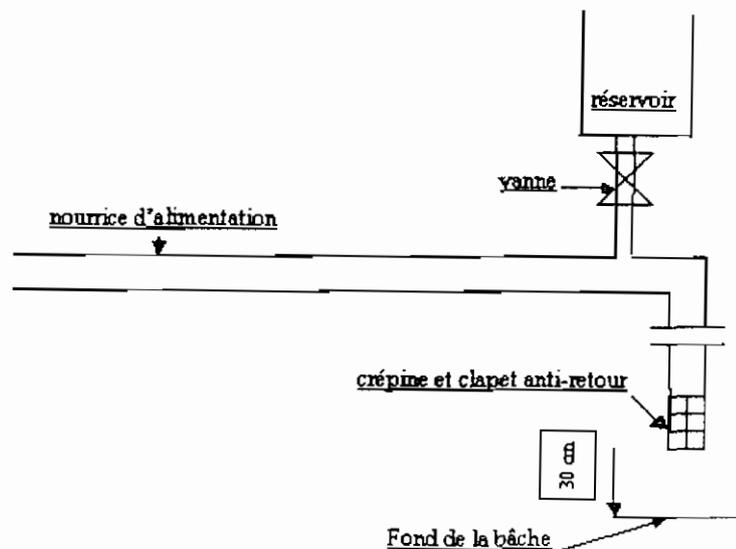


figure2.1 : dispositif d'amorçage

2.4.2- Système de contrôle et de régulation

La solution idéale serait de coupler des capteurs de niveau (flotteur par exemple) aux vannes qui conditionnent l'alimentation. Vu le contexte de travail et la disponibilité d'un financement, on peut avoir un système simple de contrôle des niveaux des réservoirs et un système de limitation du niveau dans les réservoirs.

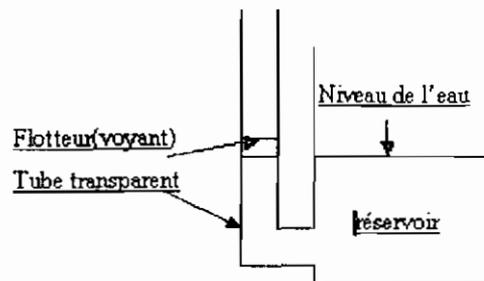


figure2.2 : dispositif de contrôle de niveau

Le système de contrôle de niveau (figure 2.2) consiste à piquer un tube de diamètre relativement petit (forte perte de charge) transparent en verre ou en plastique en bas du réservoir : le niveau dans le tube suit le niveau du réservoir. Pour bien visualiser le niveau on peut même mettre un petit flotteur **très léger** en couleur vive dans le tube.

2.4.3- dispositif d'évacuation de trop plein

Pour la régulation des niveaux de réservoirs on peut mettre un tuyau d'évacuation de trop plein qui sera à un niveau inférieur à celui du tube de contrôle.

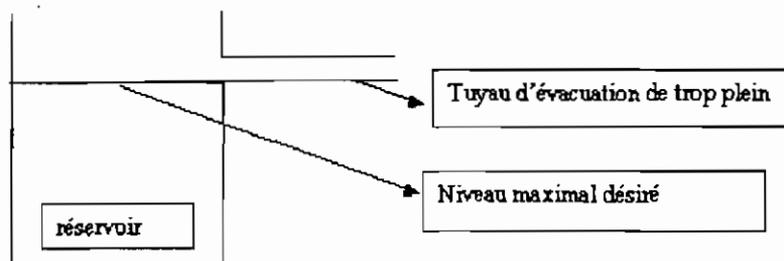


figure2.3 : dispositif d'évacuation de trop plein

Ce système d'évacuation (*figure 2.3-*) permet de ne pas faire marcher les pompes sous charge sans débiter lorsque les réservoirs sont pleins (cas des réservoirs fermés) ou d'éviter de verser d'une manière hasardeuse sur l'installation le trop plein (cas des réservoirs ouverts).

Chapitre 3 : LA COMMANDE ELECTRIQUE

Chapitre 3 : LA COMMANDE ELECTRIQUE

Introduction

La commande électrique constitue une partie très importante, sa maîtrise est une impérative pour une meilleure exploitation mais aussi pour une utilisation plus sécuritaire.

Ce chapitre traitera des moteurs asynchrones triphasés à rotor à cage qui sont utilisés pour notre installation, de la possibilité de commander toutes les pompes à partir d'un point mais aussi des dispositifs de sécurité.

III.I- Moteurs asynchrones triphasés à rotor à cage

Pour les petits moteurs on adopte généralement le démarrage direct. Le démarrage direct est plus adapté conformément au *tableau 1.4* de comparaison des différents démarrages pour le cas des moteurs de l'installation dès lors qu'on a de petites puissances.

En rappel, comme avantage d'un tel montage on note la simplicité de l'appareillage et un couple énergétique, seulement l'appel de courant est important. Cependant l'important appel de courant pendant le démarrage risque de causer une chute de tension non négligeable. Cette chute de tension doit être limitée à 5% afin d'obtenir la fermeture franche des contacteurs et ne pas trop diminuer le couple de démarrage du moteur. Le système de protection, tout en restant efficace en marche normale, doit supporter l'appel de courant.

Précaution d'emploi

Les moteurs sont normalement prévus pour fonctionner en continu de part tous les problèmes liés leur démarrage. Le nombre de démarrages par heure autorisé décroît lorsque la puissance augmente. en guise d'exemple on donne le tableau suivant :

| Puissance (kW) | ≤ 7.5 | 7.6 à 30 | >30 |
|-------------------------------|------------|----------|-------|
| Nombre de démarrage par heure | 4 | 3 | 2 |

Tableau 3.1 : nombre de démarrages admissibles par heure en fonction de la puissance du moteur[3]

Le démarrage direct est le plus simple qui peut être exécuté qu'avec le moteur asynchrone à rotor à cage ; les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau : c'est le démarrage adopté sur toute l'installation.

3.2- Centralisation de la commande électrique

La commande électrique est assurée par trois pupitres mobiles où sont faites les connexions électriques des moteurs à l'aide de fils. Cette solution présente des inconvénients notamment l'encombrement et l'utilisation de fils annexes pour les connexions (connexions par intermittence). Les pupitres représentant un volume important gênent les déplacements au niveau de la salle.

La mise en place d'un pupitre unique placé dans un coin de la salle présenterait une vision plus aérée du local avec notamment moins d'encombrement.

Cependant les connexions du réseau avec les moteurs électriques seront permanentes. La disposition de disjonction des différentes parties sera conservée pour avoir une sélectivité sécurisée. Pour la mise du pupitre centralisé ferons recours à la théorie de gestion de l'espace avec éventuellement la minimisation de la longueur des connexions.

La centralisation de la commande consiste à pouvoir opérer sur toutes les pompes à partir d'un seul endroit c'est à dire pouvoir arrêter ou démarrer chacune des pompes sans pour autant se rapprocher de celle-ci. Ce choix est non seulement pratique mais aussi plus sécuritaire quant à un éventuel entraînement par la pompe ou le moteur d'un objet en mouvement centrifuge. La mise en place d'un pupitre unique placé dans un coin de la salle présenterait une vision plus aérée du local avec notamment moins d'encombrement.

Cependant les connexions entre les moteurs électriques, les clapets et l'alimentation seront permanentes.

Notons que l'ensemble des composantes électriques existantes sera conservé.

Notre choix conduit à placer le pupitre comme l'indique la figure suivante:

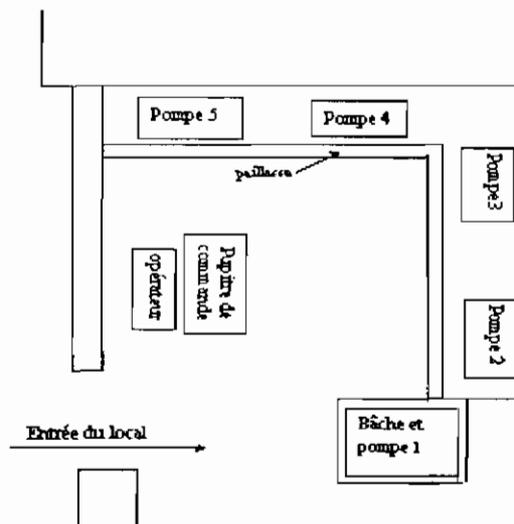


Figure3.2 : localisation du pupitre central

3.3- Dispositif de sécurité

Chaque moteur dispose sur le pupitre de commande de deux boutons : arrêt et marche, ce qui fait qu'on peut agir sur n'importe quelle pompe si le besoin se fait sentir.

Néanmoins quand le niveau du défaut n'est pas bien identifié, on a besoin d'un système d'arrêt rapide pour amoindrir les dégâts d'où la nécessité de mettre un bouton d'arrêt d'urgence qui permettra d'arrêter tout le système.

Chapitre 4 : MANIPULATIONS ET PEDAGOGIE

Chapitre 4 : MANIPULATIONS ET PEDAGOGIE

Introduction

Le but des manipulations est de vérifier certaines théories avec les systèmes de pompage, de comprendre le fonctionnement des différentes pompes mais aussi de vérifier les données du Constructeur.

Ainsi un certain nombre de manipulation est conçu pour cerner un certain nombre de problèmes rencontrés en pompage.

Dans ce chapitre les manipulations suivantes seront présentées :

- 1- Etude d'une pompe immergée
- 2- Etude d'une pompe centrifuge à axe horizontal
- 3- Etude d'une pompe centrifuge à axe
- 4- Etude d'une turbopompe
- 5- Couplage en série de deux pompes
- 6- Couplage en série de deux pompes
- 7- Etude d'une pompe volumétrique
- 8- Etude d'une pompe volumétrique

Par rapport aux hypothèses qui ne sont pas forcément rigoureuses, au vieillissement de l'installation, aux imperfections liées aux appareils de mesure et à la condition humaine, il serait utopique de s'attendre à avoir exactement les résultats escomptés mais néanmoins l'allure doit être la même et que la différence doit pouvoir être justifiée.

4.1- performances d'une pompe immergée

Ce montage expérimental (voir planche 1) doit permettre de déterminer l'allure de fonctionnement de la pompe multicellulaire immergée, de remarquer sa mise en marche facile (absence de dispositif d'amorçage). Il aide aussi à comprendre que la pompe a une plage de fonctionnement plus adéquate en terme d'optimisation qui n'est pas forcément avec les plus grands débits.

4.1.1- mesures des grandeurs caractéristiques

L'objet de cette manipulation consiste à retrouver les performances de la pompe immergée.

Ces performances sont :

- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=f(Q)$.

Matériel nécessaire :

- ❖ Manomètre placé en aval de la pompe, au refoulement pour lire P_1
- ❖ Débitmètre
- ❖ Un ampèremètre et un voltmètre pour lire I et U

Le principe consiste à faire varier la hauteur de charge par l'intermédiaire d'une vanne qui crée une perte de charge locale. Pour faire varier le débit, donc la hauteur manométrique totale, on utilise la vanne V_1 de refoulement qui constitue une perte de charge locale réglable

Pour différentes valeurs de débit, certains paramètres de fonctionnement comme la pression de refoulement, la tension et l'intensité du courant absorbé par le moteur seront pris.

4.1.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant la hauteur manométrique en fonction du débit

Pour le relevé de la hauteur manométrique totale, on peut négliger les pertes de charge entre l'ouïe du refoulement et la position de l'appareil.

$$H_n = \frac{P}{\rho g} \cdot 10^5 \quad \text{la pression étant en bars}$$

- tracé de la courbe donnant la puissance en fonction du débit : $W=f(Q)$

Dans le cas de l'utilisation d'un ampèremètre et du voltmètre à défaut d'un wattmètre, utiliser la formule donnant la puissance absorbée en triphasé.

$$W = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

U et I représentent respectivement une tension de phase (tension composée) et un courant de ligne.

$\cos \varphi$ est le facteur de puissance, il est imposé par le moteur asynchrone utilisé.

- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Il est donné par la formule [4] :

$$\eta_{HM} = \frac{1000 Q \cdot H_n}{102 \cdot \eta_M \cdot W}$$

Pour chaque réglage de la vanne H_n et W sont calculés.

η_M : rendement du moteur ; pour le moteur de cette pompe, il est égal 0.72.

4.2- performances de la pompe centrifuge à axe vertical

Ce montage expérimental (voir planche 2) doit permettre de déterminer l'allure de fonctionnement de la pompe multicellulaire à axe vertical, de remarquer la mise en marche délicate de ce type de pompe qui nécessite un amorçage avant démarrage et aider à comprendre que celle-ci a une plage de fonctionnement plus adéquate en terme d'optimisation qui n'est pas forcément avec les plus grands débits ni avec les grandes puissances.

4.2.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Le principe consiste à varier le débit de la pompe pour relever certains paramètres de fonctionnement. Ces paramètres sont :

- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=f(Q)$.

Matériel nécessaire :

- ❖ Manomètre M3 placé en amont de la pompe, à l'aspiration pour lire P_3
- ❖ Manomètre M4 placé en aval de la pompe, au refoulement pour lire P_4
- ❖ Débitmètre D2
- ❖ Un ampèremètre et un voltmètre pour lire I et U

Pour faire varier le débit, donc la hauteur manométrique totale, on utilise la vanne V4 de refoulement qui constitue une perte de charge locale réglable.

4.2.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant la hauteur manométrique totale en fonction du débit,

Les valeurs de hauteur nette d'élévation sont données par la formule suivante :

$$H_n = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} 10^5 = \frac{P_4 - P_3}{9810} 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

Pour l'expression de la hauteur manométrique totale on néglige la différence de hauteur géométrique entre les deux manomètres et les pertes de charge leur séparant de la pompe.

Cette assertion n'est pas gratuite d'autant plus que ces valeurs sont faibles par rapport à la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe (hauteur d'élévation).

- tracé de la courbe donnant la puissance en fonction du débit : $W=f(Q)$

Dans le cas de l'utilisation d'un ampèremètre et du voltmètre à défaut d'un wattmètre, utiliser la formule donnant la puissance absorbée en triphasé.

$$W = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

U et I représentent respectivement une tension de phase (tension composée) et un courant de ligne, $\cos \varphi$ est le facteur de puissance, il est imposé par le moteur asynchrone utilisé.

Il est égal à 0.86 pour le moteur entraînant cette pompe.

- tracé de la courbe donnant le rendement en fonction du débit : $\eta_{HM}=f(H_n)$

le rendement hydromécanique est calculé suivant la formule :

$$\eta_{HM} = \frac{1000 \cdot Q \cdot H_n}{102 \cdot \eta_m \cdot W}$$

η_m : rendement du moteur ; il est égal à 0.82 pour le moteur entraînant cette pompe.

4.3- Etude d'une pompe centrifuge à axe horizontal

Ce montage expérimental (voir planche 2) doit permettre de déterminer l'allure de fonctionnement de la pompe multicellulaire à axe vertical, de remarquer sa mise en marche délicate qui nécessite un amorçage avant démarrage. Il aide aussi à comprendre que la pompe a une plage de fonctionnement plus adéquate en terme d'optimisation qui n'est pas forcément avec les plus grands débits ni avec les grandes puissances.

4.3.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Le principe est le même que celui utilisé avec la manipulation précédente : il consiste à faire varier le débit de la pompe pour relever certains paramètres de fonctionnement. Ces paramètres sont :

- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$),
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$,
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Matériel nécessaire :

- ❖ Manomètre M5 placé en amont de la pompe, à l'aspiration, pour lire P_5 ,

- ❖ Manomètre M6 placé en aval de la pompe, au refoulement, pour lire P_6 ,
- ❖ Débitmètre D3 placé au refoulement de la pompe,
- ❖ Un ampèremètre et un voltmètre pour lire I et U.

Pour faire varier le débit, donc la hauteur manométrique totale, on utilise la vanne V10 de refoulement qui constitue une perte de charge locale réglable.

4.3.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant la hauteur manométrique en fonction du débit

Les valeurs de hauteur totale manométrique sont données par la formule :

$$H_n = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} \cdot 10^5 = \frac{P_6 - P_5}{9810} \cdot 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

Pour l'expression de la hauteur manométrique totale on néglige la différence de hauteur géométrique entre les deux manomètres et les pertes de charge leur séparant de la pompe. Cette assertion n'est pas gratuite d'autant plus que ces valeurs sont faibles par rapport à la différence entre l'entrée et la sortie de la pompe.

- tracé de la courbe donnant la puissance en fonction du débit : $W=f(Q)$

Dans le cas de l'utilisation d'un ampèremètre et du voltmètre à défaut d'un wattmètre, utiliser la formule donnant la puissance absorbée en triphasé.

$$W = \sqrt{3}UI \cos\varphi = 3VI \cos\varphi$$

U et I représentent respectivement une tension de phase (tension composée) et un courant de ligne et V une tension simple (entre phase et neutre).

$\cos\varphi$ est le facteur de puissance, il est imposé par le moteur asynchrone utilisé.

Il est égal à 0.9 pour le moteur installé pour la pompe centrifuge à axe horizontal.

- tracé de la courbe donnant le rendement en fonction du débit : $\eta_{HM}=f(H_n)$

Le rendement hydromécanique est donné par la formule suivante :

$$\eta_{HM} = \frac{1000 \cdot Q \cdot H_n}{102 \cdot \eta_M \cdot W}$$

η_M : rendement du moteur ; il est égal à 0.81 pour le moteur entraînant cette pompe.

4.4- Etude de la turbopompe

Ce montage expérimental doit permettre de déterminer l'allure de fonctionnement de la turbopompe, de remarquer sa mise en marche délicate qui nécessite un amorçage. Il doit

aussi aider à comprendre que ce type de pompe a une plage de fonctionnement plus adéquate en terme d'optimisation qui n'est pas forcément avec les plus grands débits ni avec les grandes puissances.

Un déplacement vers ce point de fonctionnement optimal peut être obtenu par étranglement d'une vanne ou bien dans le cas d'une augmentation de débit désiré sans possibilité d'ouvrir une vanne de choisir une conduite plus grosse.

4.4.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Le principe consiste à varier le débit de la pompe pour relever certains paramètres de fonctionnement. Ces paramètres sont :

- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Matériel nécessaire :

- ❖ Manomètre M10 placé en amont de la pompe, à l'aspiration, pour lire P_{10} ,
- ❖ Manomètre M11 placé en aval de la pompe, au refoulement, pour lire P_{11} ,
- ❖ Débitmètre D4,
- ❖ Un ampèremètre et un voltmètre pour lire I et U.

Pour faire varier le débit, donc la hauteur manométrique totale, on utilise la vanne V15 de refoulement qui constitue une perte de charge locale réglable.

4.4.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant la hauteur manométrique totale en fonction du débit,

la hauteur géométrique est obtenue par :

$$H_n = \frac{P_{11} - P_{10}}{\rho g} \cdot 10^5 = \frac{P_{11} - P_{10}}{9810} \cdot 10^5 \text{ les pressions étant en bars}$$

Pour l'expression de la hauteur manométrique totale on néglige la différence de hauteur géométrique entre les deux manomètres et les pertes de charge leur séparant de la pompe. Cette assertion n'est pas gratuite d'autant plus que ces valeurs sont faibles par rapport à la différence entre l'entrée et la sortie (hauteur d'élévation) de la pompe.

- tracé de la courbe donnant la puissance en fonction du débit : $W=f(Q)$

Dans le cas de l'utilisation d'un ampèremètre et du voltmètre à défaut d'un wattmètre, utiliser la formule donnant la puissance absorbée en triphasé.

$$W = \sqrt{3}UI \cos\varphi = 3VI \cos\varphi$$

U et I représentent respectivement une tension de phase (tension composée) et un courant de ligne, V une tension simple.

$\cos\varphi$ est le facteur de puissance, il est imposé par le moteur asynchrone utilisé ; il est égal à 0.75 pour le moteur installé pour la pompe centrifuge à axe horizontal.

- tracé de la courbe donnant le rendement en fonction du débit : $\eta_{HM} = f(Q)$

$$\eta_{HM} = \frac{1000 \cdot Q \cdot H_n}{102 \cdot \eta_m \cdot W}$$

η_M : rendement du moteur ; il est égal à

Dans le cas présent de l'installation : il est égal à 0.69

4.5- couplage en série de deux pompes

Ce type de montage permet de faire des mesures à de faibles débits pour de grandes pressions du fait de l'addition des hauteurs d'élévation.

Ce montage expérimental permet de vérifier la théorie de superposition des courbes de performance $H_n = f(Q)$ de pompes montées en série.

Vu les allures des courbes avec leurs amplitudes, au su de la démarche à adopter la zone de fonctionnement à éviter sera facilement détectable. Cette zone est caractérisée par un comportement de singularité de la pompe ayant le débit le plus faible pour une hauteur de charge très faible pour ne pas dire nulle. De la même manière il doit permettre de savoir quelles pompes associées en série pour satisfaire une demande de hauteur manométrique donnée dont une pompe seule ne suffit pas, et connaissant les caractéristiques du réseau pouvoir prédire le point de fonctionnement.

4.5.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Elle a pour objet de mettre en évidence la théorie de la mise en série des pompes.

Matériel nécessaire :

- ❖ Manomètre M3 placé en amont de la pompe 2, à l'aspiration, pour lire P_3 ,
- ❖ Manomètre M5 placé en amont de la pompe 3, à l'aspiration, pour lire P_5 ,
- ❖ Manomètre M4 placé en aval de la pompe 2, au refoulement, pour lire P_4 ,

- ❖ Manomètre M6 placé en aval de la pompe 3, au refoulement, pour lire P_6 .
- ❖ Débitmètre.

Pour chaque débit nous prendrons

- la pression à l'aspiration par le manomètre M3 à l'entrée de la pompe 2,
- la pression de refoulement par le manomètre M6 à la sortie de la pompe 3,
- la perte de charge entre les deux pompes peut être obtenue par différence entre la pression à la sortie de la pompe 2 et celle à l'entrée de la pompe 3 .

Sur toute la ligne de circulation les vannes devront être complètement ouvertes et le réglage du débit se fera à l'aide de la vanne, au refoulement de la pompe 3.

Le mode opératoire sera le même qu'avec le relevé des performances d'une pompe individuelle ; seulement dans cette manipulation la puissance ne sera pas prise.

4.5.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant la hauteur manométrique totale en fonction du débit

la hauteur géométrique est obtenue par :

$$H_n = \frac{P_6 + P_4 - P_5 - P_3}{9810} \cdot 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

Comme pour les manipulations précédentes, pour l'expression de la hauteur manométrique totale on néglige la différence de hauteur géométrique entre les deux manomètres et les pertes de charge leur séparant de la pompe. Cette assertion n'est pas gratuite d'autant plus que ces valeurs sont faibles par rapport aux hauteurs d'élévation.

Il faut remarquer que vue la configuration du système, on aura les débits refoulés par les deux pompes égaux pour chaque mesure.

Pour la construction du graphe, les hauteurs seront additionnées pour un même débit de refoulement des deux pompes.

- comparaison des résultats

Ces résultats devront être comparés avec une courbe obtenue à partir des relevés expérimentaux des pompes multicellulaires à axe vertical et à axe horizontal.

La comparaison avec une courbe obtenue à partir des courbes de performance individuelles du constructeur de ces pompes n'aura pas de sens.

4.6- couplage en parallèle des pompes

Ce type de montage permet de faire des mesures à de faibles pressions pour de grands débits du fait de l'addition de ces derniers.

Ce montage expérimental permet de vérifier la théorie de superposition des courbes de performance $H_n=f(Q)$ de pompes montées en parallèle.

Vu les allures des courbes et leurs amplitudes, au su de la démarche à adopter la zone de fonctionnement à éviter sera facilement détectable. Cette zone est caractérisée par un comportement de tuyau en parallèle avec singularité de la pompe ayant la hauteur de barbotage la plus faible.

De la même manière il permet de savoir les pompes qu'on peut associer en parallèle pour satisfaire une demande de débit donnée dont une pompe seule ne pourra pas satisfaire, et connaissant les caractéristiques du réseau pouvoir prédire le point de fonctionnement.

4.6.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Elle a pour objet de mettre en évidence la théorie de la mise en parallèle des pompes.

Matériel nécessaire :

- ❖ 2 manomètres M3 et M4 placés en amont et en aval de la pompe 2, à l'aspiration et au refoulement, pour lire les pressions P_3 et P_4 ,
- ❖ 2 manomètres M5 et M6 placés en amont et en aval de la pompe 3, à l'aspiration et au refoulement, pour lire les pressions P_5 et P_6 ,
- ❖ 2 débitmètres D2 et D3 aux refoulements des deux pompes.

Pour faire varier le débit, les vannes V4 et V10 de refoulement des deux pompes seront utilisées d'une manière alternée pour éviter qu'une pompe soit plus sollicitée que l'autre pour compenser sa hauteur manométrique totale.

Pour chaque débit nous prendrons

- la pression P_3 par le manomètre M3 à l'entrée, la pression P_4 par le manomètre M4 de la pompe 2,
- la pression P_5 par le manomètre M5 à l'entrée et la pression P_6 par le manomètre M6 pour la pompe 3,

Sur toute la ligne de circulation les vannes devront être complètement ouvertes et le réglage du débit se fera à l'aide des vannes, au refoulement des pompes 2 et 3.

Vu la configuration du système et les simplifications, on pourra supposer les hauteurs manométriques des pompes égales pour chaque mesure.

4.6.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant la hauteur manométrique totale en fonction du débit

Pour la construction du graphe, les débits seront additionnés pour une même hauteur manométrique totale supposée unique par simplification.

la hauteur géométrique est obtenue par :

$$H_n = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} 10^5 = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} 10^5 = \frac{P_4 - P_3}{9810} 10^5 = \frac{P_6 - P_5}{9810} 10^5 \text{ les pressions étant en bars}$$

Comme pour les manipulations précédentes, pour l'expression de la hauteur manométrique totale nous avons négligé la différence de hauteur géométrique entre les deux manomètres et les pertes de charge leur séparant de la pompe. Cette assertion n'est pas gratuite d'autant plus que ces valeurs sont faibles par rapport à la différence aux hauteurs d'élévation.

- comparaison des résultats

Ces résultats devront être comparés avec une courbe obtenue à partir des relevés expérimentaux des pompes multicellulaires à axe vertical et à axe horizontal.

La comparaison avec une courbe obtenue à partir des courbes de performance individuelles de ces pompes du constructeur n'aura pas de sens.

4.7- performances d'une pompe volumétrique

Ce montage expérimental permet de reconstituer les courbes de performances de la pompe volumétrique pour diverses vitesses de rotation et diverses pressions de refoulement.

4.7.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Le principe consiste à varier la pression de refoulement de la pompe pour relever certains paramètres de fonctionnement pour une vitesse de rotation donnée.

La pompe est munie d'un variateur de vitesse (720 à 1450 tr/min) .

Les paramètres que l'on doit retrouver sont :

- Le débit de refoulement de la pompe en fonction de la vitesse de rotation N et de la pression de refoulement P_{ref} de la pompe.

- La puissance absorbée aux bornes du moteur en fonction de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement et de la pression de refoulement de la pompe.

Ces courbes sont établies par le constructeur et pour des vitesses de rotation données

Matériel nécessaire :

- ❖ Manomètre placé en aval de la pompe, au refoulement, pour lire Pref,
- ❖ Un tachymètre pour lire la vitesse de rotation,
- ❖ Débitmètre,
- ❖ Un ampèremètre et un voltmètre.

La variation du débit est liée à la vitesse de rotation tandis que la pression de refoulement est conditionnée par la hauteur de charge.

4.7.2- exploitation des résultats

- tracé de la courbe donnant le débit de refoulement de la pompe en fonction de la vitesse de rotation N et de la pression de refoulement Pref de la pompe.

Après obtention des différentes valeurs, mettre le nuage de point sur une grande vitesse de rotation versus débit avant de relier puis relier les point ayant la même pression de refoulement.

- tracé de la courbe donnant la puissance absorbée aux bornes du moteur en fonction de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement et de la pression de refoulement de la pompe.

Après obtention des différentes valeurs, mettre le nuage de point sur une grande vitesse de rotation versus débit avant de relier puis relier les points ayant la même pression de refoulement.

Dans le cas de l'utilisation d'un ampèremètre et du voltmètre à défaut d'un wattmètre, utiliser la formule donnant la puissance absorbée en triphasé.

$$W = \sqrt{3}UI \cos\varphi = 3VI \cos\varphi$$

U et I représentent respectivement une tension de phase (tension composée) et un courant de ligne, V une tension simple c'est à dire entre phase et neutre.

$\cos\varphi$ est le facteur de puissance, il est imposé par le moteur asynchrone utilisé.

il est égal à 0.85 pour le moteur installé pour la pompe volumétrique.

- tracé de la courbe donnant le rendement en fonction du débit : $\eta = f(H_n)$

$$\eta_{HM} = \frac{1000 \cdot Q \cdot H_n}{102 \cdot \eta_M \cdot W}$$

η_M : rendement du moteur

Dans le cas présent de l'installation : il est égal à 0.69

4.8- comparaison d'une pompe volumétrique et d'une turbopompe

Ce montage expérimental permet de mettre en évidence la flexibilité relative d'une turbopompe par rapport à une pompe volumétrique point de vue variation du débit en fonction de la hauteur de charge. La méthode utilisée sera le soulagement du réseau par mise en parallèle progressive de réservoirs.

Ainsi on pourra vérifier que les pompes volumétriques sont moins flexibles que les pompes centrifuges : leur débit est indépendant de la charge, d'où l'allure droite de leur courbe de performance $P_{ref}=f(Q)$.

4.8.1- mesure des grandeurs caractéristiques

Pour cette expérience les deux pompes sont soumises pratiquement au même type de réseau.

Matériel nécessaire :

- ❖ 1 manomètre M11 placé en aval de la pompe 4, au refoulement
- ❖ 1 manomètre M14 placé en aval de la pompe 5, au refoulement.
- ❖ 2 débitmètres aux D4 et D4 refoulement des deux pompes.

Pour chaque débit nous prendrons,

- la pression P_{11} refoulement de la pompe 4 par le manomètre M11 à la sortie et le débit correspondant,
- la pression P_{14} de refoulement de la pompe par le manomètre M14.

Sur toute la ligne de circulation les vannes devront être complètement ouvertes et aucun réglage du débit par les vannes ne se fera une fois qu'on entame la manipulation : toutes les interventions se feront sur les vannes d'aiguillage des réservoirs.

4.8.2- exploitation des résultats

Les deux courbes seront tracées sur un même graphe afin de pouvoir bien faire la comparaison.

- ✓ tracé de la courbe donnant la pression de refoulement en fonction du débit, pour la turbopompe.

✓ tracé de la courbe donnant la pression de refoulement en fonction du débit pour la pompe volumétrique.

Pour des pressions de refoulement très différentes on peut modifier l'une des échelles.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette station a été conçue pour permettre l'étude des pompes et leur comportement sous certaines conditions d'utilisation mais aussi servir de stations d'essai de pompes d'autres entreprises pour un diagnostic.

Etant donné que le présent rapport s'inscrit dans un cadre de formation pour des professionnels, nous avons eu à simplifier certaines choses qui n'ont pas un impact important sur les résultats.

Bien que certaines retouches comme le système de régulation, le système d'évacuation de trop plein et la centralisation de la commande se rangent dans un ordre de perfectionnement ou d'amélioration de la sécurité des intervenants, d'autres comme le système d'amorçage sont indispensables pour une bonne marche de la station. La station ainsi réfectionnée permettra de comprendre le comportement de différentes pompes pour des situations d'utilisation différentes, leurs réactions quant aux perturbations du réseau, leur domaine d'utilisation optimale.

Une manipulation sur phénomène de la cavitation n'a pas été mise en application car c'est un facteur qui à la longue modifiera d'une manière néfaste les performances des pompes utilisées en les soumettant à une dégradation par érosion. Suivant le besoin, d'autres manipulations peuvent être conçues sur la station. Ce rapport n'a pas traité du volet automatique car la nature de l'installation n'est pas trop adaptée à ces types de manipulations ; on ne pourra y faire des séquences intéressantes à moins de modifier une partie importante ou d'ajouter beaucoup d'autres constituants.

Ce projet qui nous a permis de nous rendre compte des réalités industrielles quant aux délais de réalisation où la recherche de documentation technique, pas toujours disponible, est un problème réel et incontournable, constituant une source d'enseignement pour notre vie professionnelle future.

Pour une bonne exploitation, l'entretien de la station doit être un pilier très important. Les pompes et de la tuyauterie doivent être nettoyées intérieurement avant toute nouvelle mise en route, vu la période de non-fonctionnement et le phénomène de rouille.

Ce mémoire comme tout autre travail de recherche ou d'amélioration ne peut pas être jugée final ; cependant d'autres choses peuvent être ajoutées d'où l'idée de concevoir ultérieurement une autre installation plus petite assortie d'un système d'acquisition de données par ordinateurs ou à la limite automatisée pour se conformer à l'avancée de la technologie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- SIBY, Mamadou Khalifa. **mécanique des fluides I et II**, notes de cours ESP.
- [2]- TAMBA, Sény. **systèmes de pompage**, notes de cours ESP.
- [3]- WADE, Cheikh. **machines électriques**, Cheikh notes de cours de.
- [4]- M. Mar et M.Beidi. mémoire Projet de Fin d'Etude : mise en place d'une installation d'essais hydrauliques(1987).
- [5]- DEMBA, Paul. **Plomberie**, notes de cours ESP.

ANNEXE 1 : EXEMPLE DE VERIFICATION DE CAVITATION

Exemple de vérification de la cavitation

Considérons la pompe 2 qui a une NPSH requise de 5m pour un débit de 14m³/h conformément aux courbes de performance du Constructeur.

Il n'y aura pas de cavitation si cette valeur est inférieure au NPSH disponible qui dépend des pertes de charge à l'aspiration, de la hauteur d'aspiration et de la tension de vapeur c'est à dire de la température et de la nature du liquide pompée.

Cette condition se traduit algébriquement par :

$$\frac{Pa}{\gamma} + \frac{\Delta V^2}{2g} + \Delta Z - Hf - \frac{Pv}{\gamma} \geq 5$$

la variation de l'énergie cinétique peut être négligée.

Détermination des pertes de chargeDétermination des longueurs équivalentes

Suivant les correspondance de l'abaque ci-joint, nous exprimerons toutes les singularités en longueurs équivalentes.

| Diamètre 40mm (1'1/2) | | Diamètre 80mm (3') | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| singularité | Longueur équivalente | singularités | Longueur équivalente |
| Vanne passage direct | 0.45 | Crépine de pied | 9.5 |
| Té | 0.85 | 3 coudes | 9 |
| Coude à 90° | 1.6 | 1 té | 1.8 |
| Longueur droite | 1.00 | réducteur 3'-1'1/2 | 1.00 |
| | | longueur droite | 3.4 |
| Longueur équivalente totale | 3.9 | Longueur équivalente totale | 24.7 |

Détermination des coefficients de frottement

ϵ : 0.25 conformément au choix du cas le plus défavorable pour les acier « vieux »

Etant donné qu'il s'agit de l'eau on va considérer un régime turbulent rugueux.

Le nombre de Reynolds est supérieur à 10⁵.

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.25}{40} = 0.00625 \Rightarrow f = 0.032 \text{ pour le circuit de diamètre 40mm}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.25}{80} = 0.00312 \Rightarrow f = 0.0265 \text{ pour le circuit de diamètre 80mm}$$

pour un débit de $14\text{m}^3/\text{h}$, on a les vitesses de 0.77m/s et 3.1m/s respectivement dans les conduites de 80mm et de 40mm .

Soit 1 l'indice du circuit de 40mm et 2 celui du circuit de 80mm .

$$H_f = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{U_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H_f = 0.032 \frac{3.9}{0.04} \frac{3.01^2}{2 \cdot 9.81} + 0.0265 \frac{24.7}{0.08} \frac{0.77^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$H_f = 2.01\text{m}$$

la pression de vapeur de l'eau pour une température supposée de 25°C est 3.2 kPa pour un poids volumique de 9779N/m^3 (voir tableau suivant)

supposant une hauteur d'aspiration maximale de 1.54m (1.34 est la profondeur de la bêche d'aspiration, 30cm est la position de la crépine par rapport au fond de la bêche, 30cm position de la pompe par rapport au plancher du local), nous pouvons calculer la NSPH disponible :

$$\text{NSPH}_d = 10.33 - 2.01 - 1.54 - 0.33 = 6.45\text{m} > 5\text{m}; \text{ il n'y a pas risque de cavitation.}$$

La cavitation sera provoquée par une augmentation de la température ou une utilisation d'un autre liquide ayant une viscosité différente à celle de l'eau.

| Température (°C) | Poids volumique (N/m ³) | Densité ρ (kg/m ³) | Viscosité μ (Pa.s) | Viscosité cinématique ν (*100m ² /s) | Tension de surface σ (N/m) 100 σ = | Pression de vapeur Pv (kPa) |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---|---|-----------------------------|
| 0 | 9805 | 999.9 | 1.792 | 1.792 | 7.62 | 0.6 |
| 5 | 9806 | 1000 | 1.519 | 1.519 | 7.54 | 0.9 |
| 10 | 9803 | 997 | 1.308 | 1.308 | 7.48 | 1.2 |
| 15 | 9798 | 991 | 1.14 | 1.141 | 7.41 | 1.7 |
| 20 | 9789 | 998.2 | 1.005 | 1.007 | 7.36 | 2.5 |
| 25 | 9779 | 997.1 | 0.894 | 0.897 | 7.26 | 3.2 |
| 30 | 9767 | 995.7 | 0.801 | 0.804 | 7.18 | 4.3 |
| 35 | 9752 | 994.1 | 0.723 | 0.727 | 7.10 | 5.7 |
| 40 | 9737 | 992.2 | 0.656 | 0.661 | 7.01 | 7.5 |
| 45 | 9720 | 990.2 | 0.599 | 0.605 | 6.92 | 9.6 |
| 50 | 9697 | 988.1 | 0.549 | 0.556 | 6.82 | 12.4 |
| 55 | 9679 | 985.7 | 0.506 | 0.513 | 6.74 | 15.8 |
| 60 | 9658 | 983.2 | 0.469 | 0.477 | 6.68 | 19.9 |
| 65 | 9635 | 980.6 | 0.436 | 0.444 | 6.58 | 25.1 |
| 70 | 9600 | 977.8 | 0.406 | 0.415 | 6.5 | 31.4 |
| 75 | 9589 | 974.9 | 0.380 | 0.390 | 6.4 | 38.8 |
| 80 | 9557 | 971.8 | 0.357 | 0.367 | 6.3 | 47.7 |
| 85 | 9429 | 968.6 | 0.336 | 0.347 | 6.2 | 58.1 |
| 90 | 9499 | 965.3 | 0.317 | 0.328 | 6.12 | 70.4 |
| 95 | 9469 | 961.9 | 0.299 | 0.311 | 6.02 | 84.5 |
| 100 | 9438 | 958.4 | 0.284 | 0.296 | 5.94 | 101.3 |

propriétés des eaux dans le système international (SI)

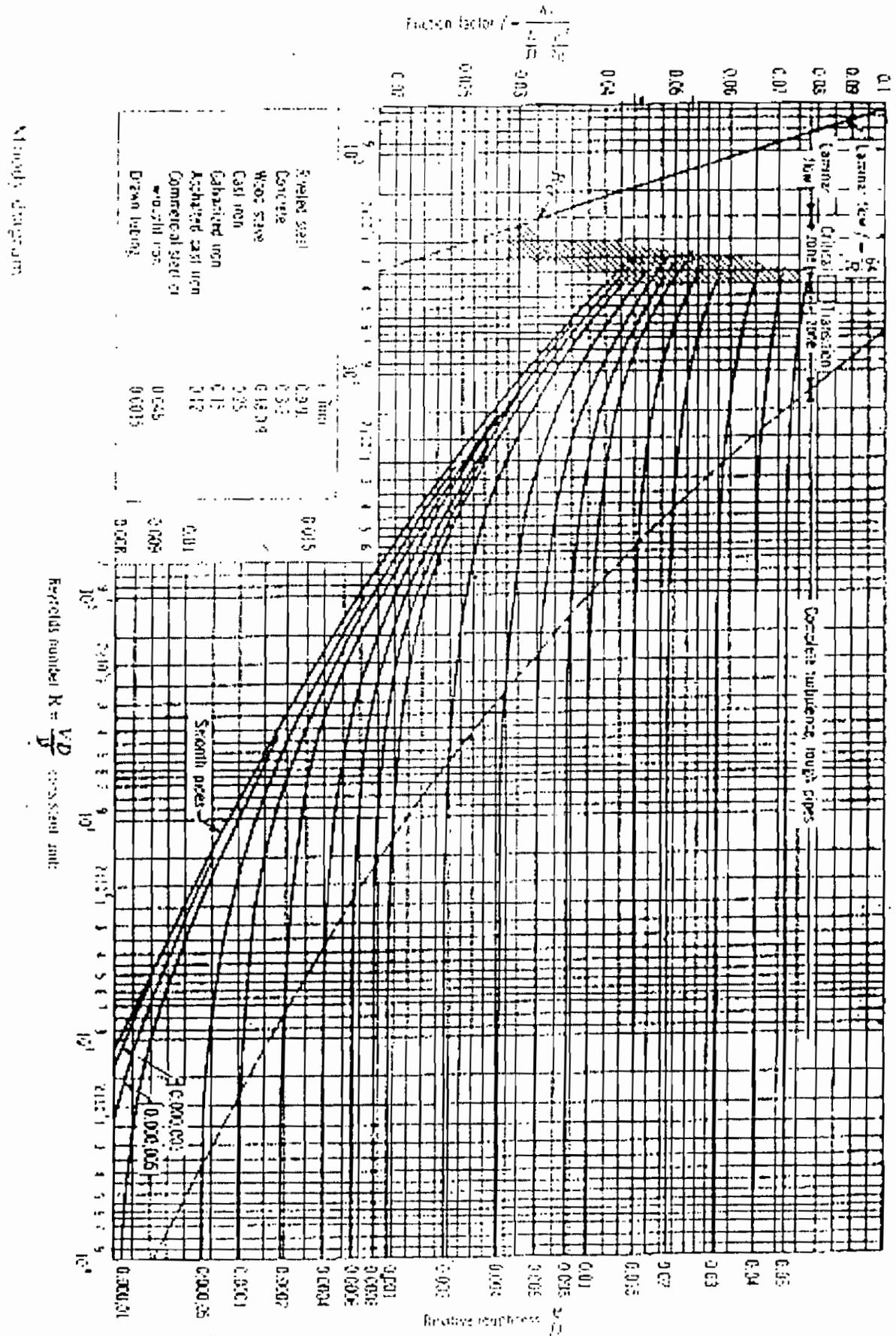


diagramme de MOODY

ANNEXE 2 : CAHIER DE LABORATOIRE

•

Manipulation 1 : tracé des courbes caractéristiques d'une pompe immergée

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer les courbes caractéristiques d'une pompe multicellulaire immergée.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

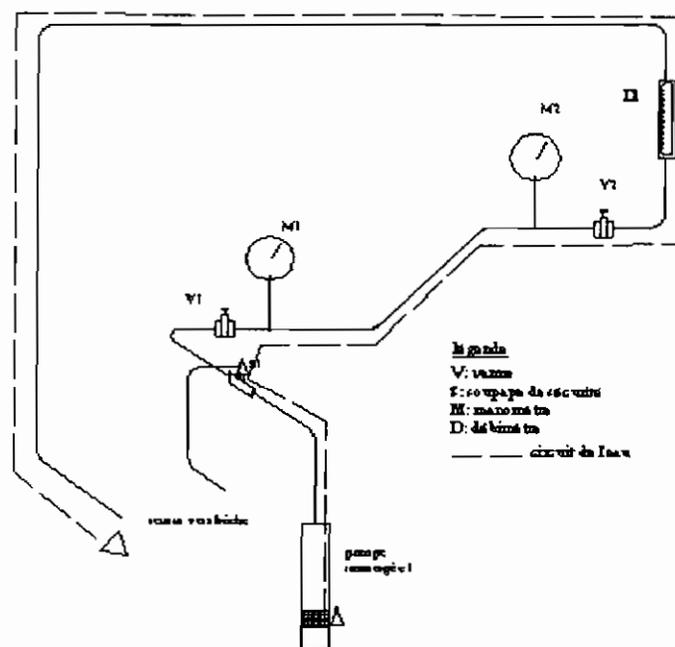
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment d'une vitesse de rotation fixe.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 1

- le manomètre M1 servira à déterminer la pression de refoulement de la pompe dont on déduira la hauteur manométrique totale.
- le débitmètre D1 permet de pouvoir régler le débit Q de refoulement de la pompe.
- les voltmètre et ampèremètre permettront d'avoir la tension et le courant dont on

calculera la puissance absorbée

- la vanne de passage direct V1 permet de faire varier le débit de refoulement de la pompe.

C-2-mode opératoire

1-vérifier que la pompe est immergée : s'assurer que la pompe est en dessous du niveau d'eau.

2-ouvrir complètement les vanne d'aspiration V1 et de refoulement V2,

3-faire vérifier par le professeur,

4-mettre la pompe en marche,

5-relever la pression et le débit correspondant,

6-relever la tension de phase et l'intensité du courant,

7-fermer la vanne à ce que le débit diminue de $0.5\text{m}^3/\text{h}$

8-refaire les opérations de 5- à 7- jusqu'à ce que le débit soit nul.

NB : ne pas laisser la pompe barboter pendant longtemps.

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé des courbes caractéristiques

D-1-courbe de hauteur manométrique en fonction du débit : $H_n=F(Q)$

A partir des valeurs de pression relevées calculer les hauteurs manométriques correspondantes en mètres par la relation :

$$H_n = \frac{P_1}{\rho g} \cdot 10^5$$

P_1 en bars

$P = 10^3 \text{kg/m}^3$ pour l'eau à 25°C et à une pression de 1.013 bars c'est à dire la pression atmosphérique.

Vu les conditions de travail on peut cette valeur dès lors que l'eau est peu compressible pour ne pas dire incompressible.

$g = 9.81 \text{m/s}^2$: intensité de la pesanteur.

$$\text{Finalement} \quad : \quad H_n = \frac{P_1}{9810} \cdot 10^5$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs.

- reporter les nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $H_n=F(Q)$ dans un système d'axe Q- H_n avec une échelle appropriée.

D-2-courbe de puissance en fonction du débit

A défaut du montage des deux wattmètres la puissance sera calculée par :

$$W = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de puissance en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $W=F(Q)$ dans un système d'axe Q-W avec une échelle appropriée.

D-3-courbe de rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ce paramètre est donné par la formule suivante :

$$\eta_{HM} = \frac{1000QHn}{102 \eta_M * W} = \frac{1000QHn}{102 \eta_M * UI \cos \varphi}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de rendement en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- tracer la courbe $\eta_{HM}=F(Q)$ dans un système d'axe $\eta_{HM}=f(Q)$ avec une échelle appropriée.

Rappel : pour cette pompe $\eta_M=0.72$.

E-exploitation des résultats

A l'aide des courbes du constructeur :

- ✓ Comparer l'allure des différentes courbes. Expliquez
- ✓ Comparer les amplitudes des différentes courbes. Expliquer.

A partir des courbes tracées :

- ✓ Donner le débit correspondant à la consommation maxi,
- ✓ Donner le débit correspondant au fonctionnement optimal : rendement maximal
- ✓ indiquer une zone dont doit éviter l'utilisation de la pompe
- ✓ Faites vos remarques et suggestion quant au déroulement de la manipulation et aux problèmes rencontrés.

Manipulation 2: tracé des courbes caractéristiques d'une pompe multicellulaire à axe vertical

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer les courbes caractéristiques d'une pompe multicellulaire à axe vertical et de les comparer à celles fournies par le constructeur.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

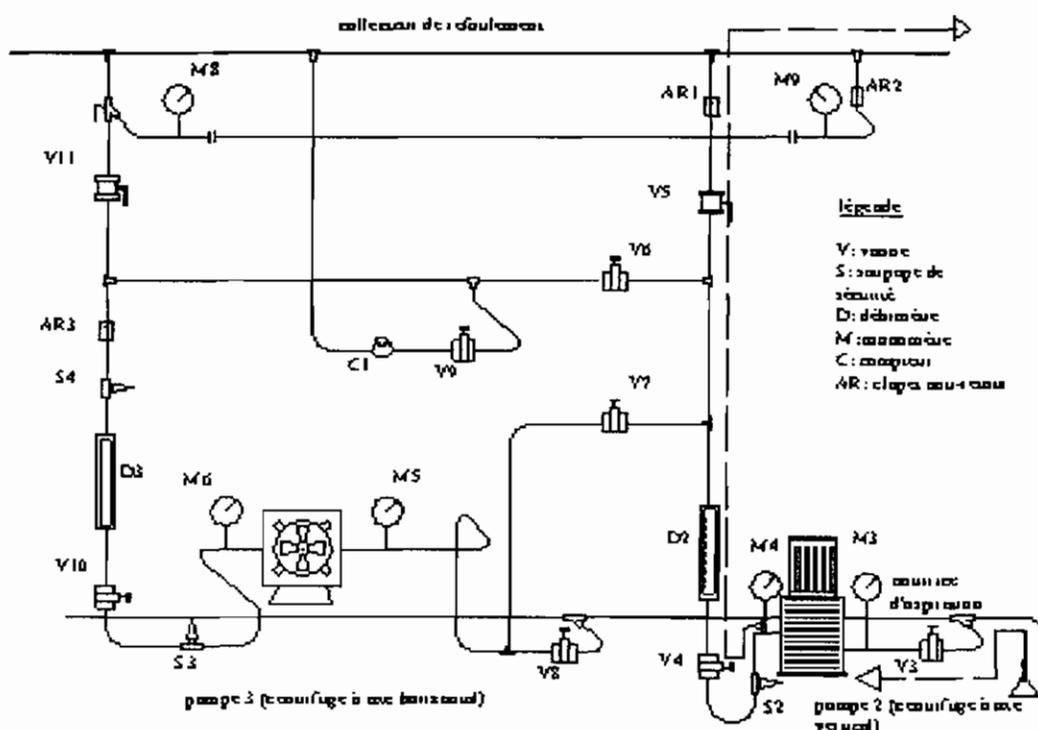
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment d'une vitesse de rotation fixe.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 2

- Les manomètres M3 et M4 permettent de relever les pressions à l'aspiration et au refoulement de la pompe.
- le débitmètre D2 permet de pouvoir régler le débit Q de refoulement de la pompe.

- les voltmètre et ampèremètre permettront d'avoir la tension et le courant dont on calculera la puissance absorbée
- la vanne de passage direct V4 permet de faire varier le débit à la sortie de la pompe.

C-2-mode opératoire

- 1-ouvrir complètement les vanne d'aspiration V3 et de refoulement V4 et V5,
- 2-amorcer la pompe à l'aide de la vanne V0
- 3-faire vérifier par le professeur,
- 4-mettre la pompe en marche,
- 5-relever la pression et le débit correspondant,
- 6-relever la tension de phase et l'intensité du courant,
- 7-fermer la vanne V4 jusqu'à ce que le débit diminue de 1 m³/h
- 8-refaire les opérations de 5- à 7- jusqu'à ce que le débit soit nul.

NB : ne pas laisser la pompe barboter pendant longtemps.

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé des courbes caractéristiques

D-1-courbe de hauteur manométrique en fonction du débit : H_n=F(Q)

A partir des valeurs de pression relevées calculer les hauteurs manométriques correspondantes en mètres par la relation :

$$H_n = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} 10^5 \text{ les pressions étant en bars}$$

P_{Ml} en bars

P=10³kg/m³ pour l'eau à 20°C et à une pression de 1.013 bars c'est à dire la pression atmosphérique.

Vu les conditions de travail cette valeur peut être prise dès lors que l'eau est peu compressible pour ne pas dire incompressible.

g=9.81m/s² : intensité de la pesanteur.

$$\text{Finalement : } H_n = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} 10^5 = \frac{P_6 - P_5}{9810} 10^5 \text{ les pressions étant en bars}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe H_n=F(Q) dans un système d'axe Q-H_n avec une échelle appropriée.

D-2-courbe de puissance en fonction du débit

A défaut du montage des deux wattmètres la puissance sera calculée par :

$$W = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de puissance en fonction du débit.

-reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,

-tracer la courbe $W=F(Q)$ dans un système d'axe Q-W avec une échelle appropriée.

D-3-courbe de rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ce paramètre est donné par la formule suivante :

$$\eta_{HM} = \frac{1000QHn}{102\eta_M * W} = \frac{1000QHn}{102\eta_M * UI \cos\varphi}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de rendement en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,

- tracer la courbe $\eta_{HM}=F(Q)$ dans un système d'axe $\eta_{HM}=f(Q)$ avec une échelle

appropriée.

Rappel : pour cette pompe $\eta_M=0.82$.

E-exploitation des résultats

A l'aide des courbes du constructeur :

- ✓ Comparer l'allure des différentes courbes. Expliquez
- ✓ Comparer les amplitudes des différentes courbes. Expliquer.

A partir des courbes tracées :

- ✓ Donner le débit correspondant à la consommation maxi,
- ✓ Donner le débit correspondant au fonctionnement optimal : rendement maximal
- ✓ indiquer une zone dont doit éviter l'utilisation de la pompe

Faites vos remarques et suggestion quant au déroulement de la manipulation et aux problèmes rencontrés.

Manipulation 3: tracé des courbes caractéristiques d'une pompe multicellulaire à axe vertical

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer les courbes caractéristiques d'une pompe multicellulaire à axe horizontal et de les comparer à celles fournies par le constructeur.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

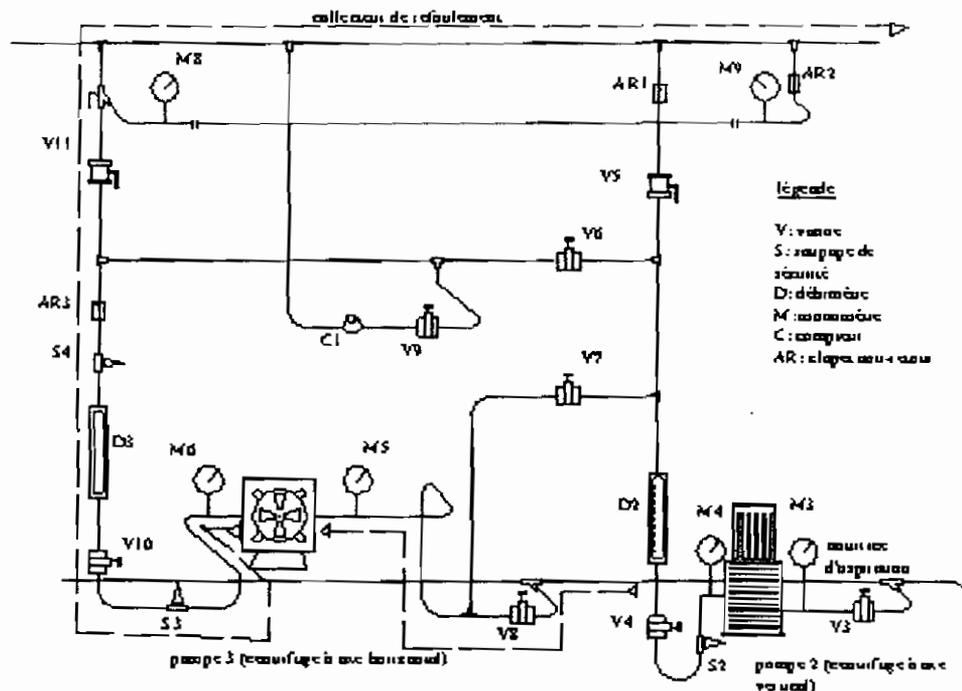
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment d'une vitesse de rotation fixe.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 3

- Les manomètres M3 et M4 permettent de relever les pressions à l'aspiration et au refoulement de la pompe.
- le débitmètre D2 permet de savoir le débit Q de refoulement de la pompe.

- les voltmètre et ampèremètre permettront d'avoir la tension et le courant dont on calculera la puissance absorbée
- la vanne de passage direct V10 permet de faire varier le débit à la sortie de la pompe.

C-2-mode opératoire

1-ouvrir complètement les vannes d'aspiration V8 et de refoulement V10, V11 et V12.
Pour la vanne V11 mettre le levier parallèle à l'axe du tuyau et pour la vanne V12, positionner le levier vers le bas.

2-amorcer la pompe à l'aide de la vanne V0

3-fermer complètement les vannes V6, V7 et V9

3-faire vérifier par le professeur,

4-mettre la pompe en marche,

5-relever les pressions des manomètres M5 et M6 et le débit correspondant par D3,

6-relever la tension de phase et l'intensité du courant,

7-fermer la vanne V10 jusqu'à ce que le débit diminue de 1m³/h

8-refaire les opérations de5- à 7- jusqu'à ce que le débit soit nul.

NB : ne pas laisser la pompe barboter pendant longtemps.

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé des courbes caractéristiques

D-1-courbe de hauteur manométrique en fonction du débit : Hn=F(Q)

A partir des valeurs de pression relevées calculer les hauteurs manométriques correspondantes en mètres par la relation :

$$H_n = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} \cdot 10^5$$

P₆ et P₅ en bars

P=10³kg/m³ pour l'eau à 20°C et à une pression de 1.013 bars c'est à dire la pression atmosphérique.

Vu les conditions de travail cette valeur peut être prise dès lors que l'eau est peu compressible pour ne pas dire incompressible.

g=9.81m/s² : intensité de la pesanteur.

$$\text{Finalement : } H_n = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} \cdot 10^5 = \frac{P_6 - P_5}{9810} \cdot 10^5 \text{ les pressions étant en bars}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $H_n=F(Q)$ dans un système d'axe Q- H_n avec une échelle appropriée.

D-2-courbe de puissance en fonction du débit

A défaut du montage des deux wattmètres la puissance sera calculée par :

$$W = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de puissance en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $W=F(Q)$ dans un système d'axe Q-W avec une échelle appropriée.

D-3-courbe de rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Le rendement hydromécanique est donné par la formule suivante :

$$\eta_{HM} = \frac{1000QH_n}{102\eta_M * W} = \frac{1000QH_n}{102\eta_M * UI \cos\varphi}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de rendement en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- tracer la courbe $\eta_{HM}=F(Q)$ dans un système d'axe $\eta_{HM}=f(Q)$ avec une échelle appropriée.

Rappel : pour cette pompe $\eta_M=0.81$.

E-exploitation des résultats

A l'aide des courbes du constructeur :

- ✓ Comparer l'allure des différentes courbes. Expliquez
- ✓ Comparer les amplitudes des différentes courbes. Expliquer.

A partir des courbes tracées :

- ✓ Donner le débit correspondant à la consommation maxi,
- ✓ Donner le débit correspondant au fonctionnement optimal : rendement maximal
- ✓ indiquer une zone dans laquelle on doit éviter l'utilisation de la pompe

Faites vos remarques et suggestions quant au déroulement de la manipulation et aux problèmes rencontrés.

Manipulation 4 : tracé des courbes caractéristiques d'une turbopompe

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer les courbes caractéristiques d'une turbopompe et de les comparer à celles fournies par le constructeur.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

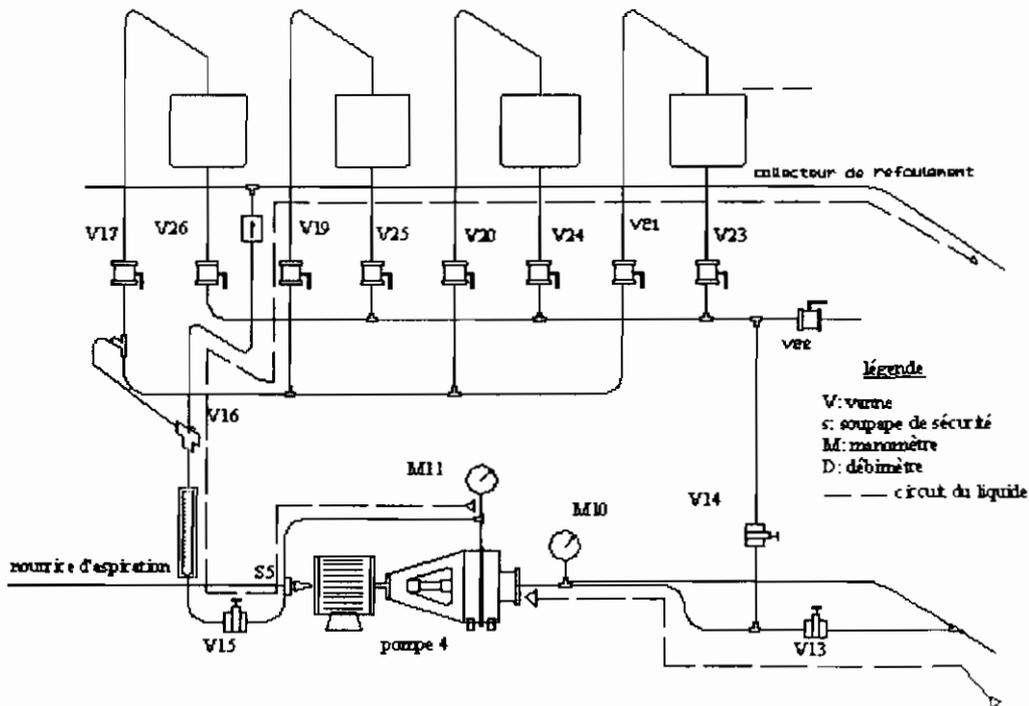
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment d'une vitesse de rotation fixe qui est de 1450tr/min dans notre cas.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 4

- Les manomètres M10 et M11 permettent de relever les pressions à l'aspiration et au refoulement de la pompe.
- Le débitmètre D4 permet de pouvoir régler le débit Q de refoulement de la pompe.

- les voltmètre et ampèremètre permettront d'avoir la tension et le courant dont on calculera la puissance absorbée
- la vanne de passage direct V15 permet de faire varier le débit à la sortie de la pompe.

C-2-mode opératoire

1-ouvrir complètement les vannes d'aspiration V13 et de refoulement V15.

Pour la vanne à 3 voies V16 mettre le levier parallèle au tuyau horizontal.

2-amorcer la pompe à l'aide de la vanne V0

3-fermer complètement la vanne V17,

3-faire vérifier par le professeur,

4-mettre la pompe en marche,

5-relever les pressions des manomètres M10 et M11 et le débit correspondant par D5,

6-relever la tension de phase et l'intensité du courant,

7-fermer la vanne V10 jusqu'à ce que le débit diminue de $1\text{ m}^3/\text{h}$

8-refaire les opérations de 5- à 7- jusqu'à ce que le débit soit nul.

NB : ne pas laisser la pompe barboter pendant longtemps.

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé des courbes caractéristiques

D-1-courbe de hauteur manométrique en fonction du débit : $H_n=F(Q)$

A partir des valeurs de pression relevées calculer les hauteurs manométriques correspondantes en mètres par la relation :

$$H_n = \frac{P_{11} - P_{10}}{\rho g} 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

P_i en bars

$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ pour l'eau à 20°C et à une pression de 1.013 bars c'est à dire la pression atmosphérique.

Vu les conditions de travail cette valeur peut être prise dès lors que l'eau est peu compressible pour ne pas dire incompressible.

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$: intensité de la pesanteur.

$$\text{Finalement : } H_n = \frac{P_{11} - P_{10}}{\rho g} 10^5 = \frac{P_{11} - P_{10}}{9810} 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,

- Tracer la courbe $H_n=F(Q)$ dans un système d'axe Q-Hn avec une échelle appropriée.

D-2-courbe de puissance en fonction du débit

A défaut du montage des deux wattmètres la puissance sera calculée par :

$$W = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

cette formule donne une nouvelle série de valeurs de puissance en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $W=F(Q)$ dans un système d'axe Q-W avec une échelle appropriée.

D-3-courbe de rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Le rendement hydromécanique est donné par la formule suivante :

$$\eta_{HM} = \frac{1000QH_n}{102\eta_M * W} = \frac{1000QH_n}{102\eta_M * UI \cos\varphi}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs de rendement en fonction du débit.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- tracer la courbe $\eta_{HM} = F(Q)$ dans un système d'axe $\eta_{HM}=f(Q)$ avec une échelle appropriée.

Rappel : pour cette pompe $\eta_M=0.69$.

E-exploitation des résultats

A l'aide des courbes du constructeur :

- ✓ Comparer l'allure des différentes courbes. Expliquez
- ✓ Comparer les amplitudes des différentes courbes. Expliquer.

A partir des courbes tracées :

- ✓ Donner le débit correspondant à la consommation maximale,
- ✓ Donner le débit correspondant au fonctionnement optimal : rendement maximal
- ✓ indiquer une zone dans laquelle on doit éviter l'utilisation de la pompe

Faites vos remarques et suggestion quant au déroulement de la manipulation et aux problèmes rencontrés.

Manipulation 5 : tracé de la courbe de performance résultante de deux pompes en série

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer la courbe caractéristique $H_n=f(Q)$ d'un montage en série de deux pompes (pompe multicellulaire à axe horizontal et pompe multicellulaire à axe vertical) et de la comparer à celle obtenue théoriquement avec les courbes caractéristiques en montage simple des deux pompes. Cette manipulation ne peut donc être faite sans les manipulations 2 et 3.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

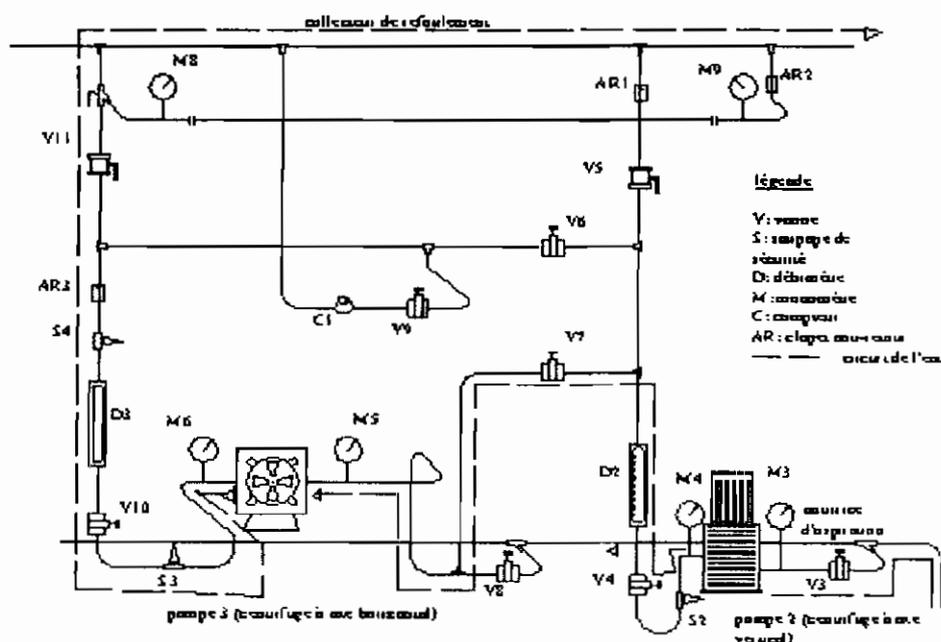
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment de vitesses de rotation fixe. Pour cette manipulation l'étude se limitera seulement à la première courbe citée.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 5

- Les manomètres M3 et M5 permettent de relever les pressions aux aspirations et les manomètres M4 et M6 permettent de relever les pressions aux refoulements des pompe.
- le débitmètre D2 permet de pouvoir régler le débit Q de refoulement de la pompe.
- la vanne de passage direct V10 permet de faire varier le débit à la sortie de la pompe.

C-2-mode opératoire

1-ouvrir complètement les vannes V3, V4, V7, V10, V11 et V12.

Pour la vanne V11 mettre le levier parallèle à l'axe du tuyau et pour la vanne V12, positionner le levier vers le bas.

2-amorcer les pompes à l'aide de la vanne V0

3-fermer complètement les vannes V6, V8 et V9

3-faire vérifier par le professeur,

4-mettre les pompes en marche,

5-relever les pressions des manomètres M3, M4, M5 et M6 et le débit correspondant par D3 et par D2,

6-fermer la vanne V10 jusqu'à ce que le débit diminue de $1\text{m}^3/\text{h}$

7-refaire les opérations 5- et 6- jusqu'à ce que le débit soit nul.

NB : ne pas laisser la pompe barboter pendant longtemps.

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé de la courbe caractéristique

A partir des valeurs de pression relevées calculer les hauteurs manométriques correspondantes en mètres par la relation :

$$H_n = \frac{P_6 - P_3 - (P_5 - P_4)}{\rho g} \cdot 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

P_i en bars

$P = 10^3 \text{kg/m}^3$ pour l'eau à 20°C et à une pression de 1.013 bars c'est à dire la pression atmosphérique.

Vu les conditions de travail cette valeur peut être dès lors que l'eau est peut compressible pour ne pas dire incompressible.

$g = 9.81 \text{m/s}^2$: intensité de la pesanteur.

$$\text{Finalement : } H_n = \frac{P_6 + P_4 - P_5 - P_3}{9810} \cdot 10^5 \quad \text{les pressions étant en bars}$$

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $H_n=F(Q)$ dans un système d'axe Q- H_n avec une échelle appropriée.

E-exploitation des résultats

A l'aide des courbes caractéristiques $H_n=F(Q)$ des pompes montées individuelles construire une courbe théorique résultante en procédant ainsi : pour un même débit additionner les hauteurs totales manométriques.

✓ Comparer l'allure et l'amplitude de la courbe obtenue avec celle obtenue expérimentalement avec montage en série des deux pompes. Expliquez

- ✓ Que remarque t-on pour les valeurs limites de débit ?

Faites vos remarques et suggestion quant au déroulement de la manipulation et aux problèmes rencontrés.

Manipulation 6 : tracé de la courbe résultante de deux pompes en parallèle

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer la courbe caractéristique $H_n=f(Q)$ d'un montage en parallèle de deux pompes (pompe multicellulaire à axe horizontal et pompe multicellulaire à axe vertical) et de la comparer à celle obtenue théoriquement avec les courbes caractéristiques obtenues expérimentalement en montage simple des deux pompes. Cette manipulation ne peut donc être faite sans les manipulations 2 et 3.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

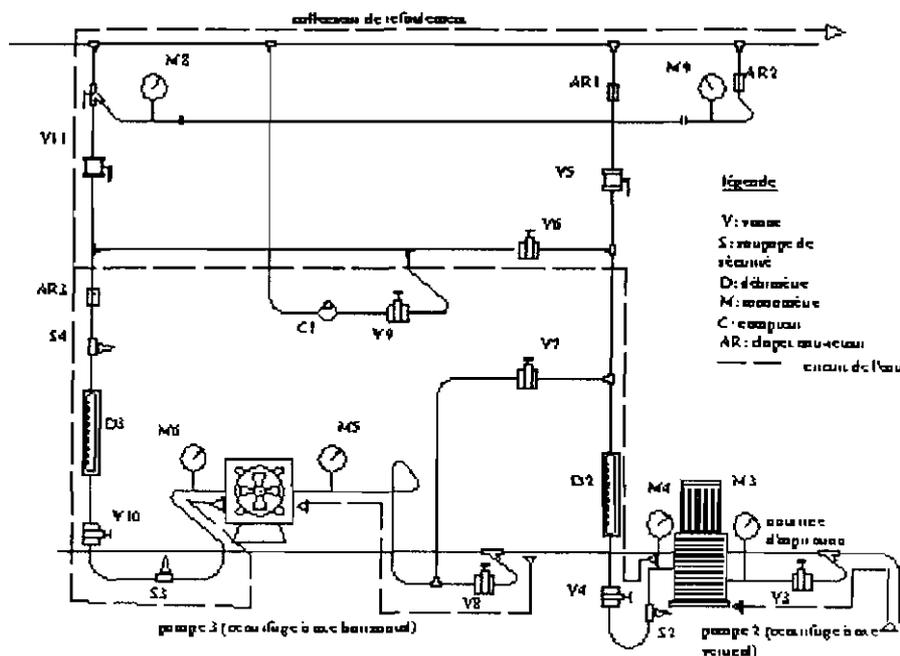
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment d'une vitesse de rotation fixe. Pour cette manipulation l'étude se limitera seulement à la première courbe citée.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 6

- Les manomètres M3 et M5 permettent de relever les pressions aux aspirations et les manomètres M4 et M6 permettent de relever les pressions aux refoulements des pompes.
- les débitmètres D2 et D3 permettent de savoir les débits de refoulement des pompes.
- les vannes de passage direct V10 et V4 permettent de faire varier le débit à la sortie des pompes.

C-2-mode opératoire

1-ouvrir complètement les vannes V3, V4, V6, V8, V10, V11 et V12.

Pour la vanne V11 mettre le levier parallèle à l'axe du tuyau et pour la vanne V12, positionner le levier vers le bas.

2-amorcer les pompes à l'aide de la vanne V0

3-fermer complètement les vannes V7, V5 et V9

3-faire vérifier par le professeur,

4-mettre les pompes en marche,

5-relever les pressions des manomètres M3, M4, M5 et M6 et le débit correspondant par D3 et par D2,

6-fermer la vanne de refoulement de la pompe ayant la plus petite pression de sortie jusqu'à ce que son débit diminue de $1 \text{ m}^3/\text{h}$

7- relever les pressions des manomètres M3, M4, M5 et M6 et le débit correspondant par D3 et par D2,

8-refaire les opérations de 6- et 7- jusqu'à ce que les débits soit presque nuls.

NB: ne pas laisser les pompes barboter pendant longtemps.

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé de la courbe caractéristique

A partir des valeurs de pression relevées calculer les débits correspondants en faisant la somme des débits relevés sur D2 et D3: pour cela on aura recours à des approximations (interpolations) pour les débits intermédiaires.

Calcul des hauteurs manométriques

P en bars

$P=10^3 \text{ kg/m}^3$ pour l'eau à 20°C et à une pression de 1.013 bars c'est à dire la pression atmosphérique.

Vu nos conditions de travail cette valeur dès lors que l'eau est peut compressible pour ne pas dire incompressible.

$g=9.81\text{m/s}^2$: intensité de la pesanteur.

$$\text{Finalement : } Hn_2 = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} 10^5 = \frac{P_4 - P_3}{9810} 10^5 \quad Hn_3 = \frac{P_6 - P_5}{\rho g} 10^5 = \frac{P_6 - P_5}{9810} 10^5 \quad \text{les pressions}$$

étant en bars

Remarquer que la différence entre ces deux valeurs est faible supposer qu'elles sont égales : choisir une valeur moyenne.

Cette formule donne une nouvelle série de valeurs.

- reporter ces nouvelles valeurs dans un tableau,
- Tracer la courbe $Hn=F(Q)$ dans un système d'axe Q-Hn avec une échelle appropriée.

E-exploitation des résultats

A l'aide des courbes caractéristiques $Hn=F(Q)$ des pompes montées individuelles construire une courbe théorique résultante en procédant ainsi : pour un même débit additionner les hauteurs totales manométriques.

✓ Comparer l'allure et l'amplitude de la courbe obtenue avec celle obtenue expérimentalement avec montage en série des deux pompes. Expliquez

Que remarque t-on pour les valeurs limites de hauteur manométrique totale ? Faites vos remarques et suggestion quant au déroulement de la manipulation et aux problèmes rencontrés.

Manipulation 7 : tracé des courbes caractéristiques d'une pompe volumétrique

A-But de la manipulation :

Le but de cette manipulation est de tracer les courbes caractéristiques d'une pompe volumétrique et de les comparer à celles fournies par le constructeur.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe volumétrique sont :

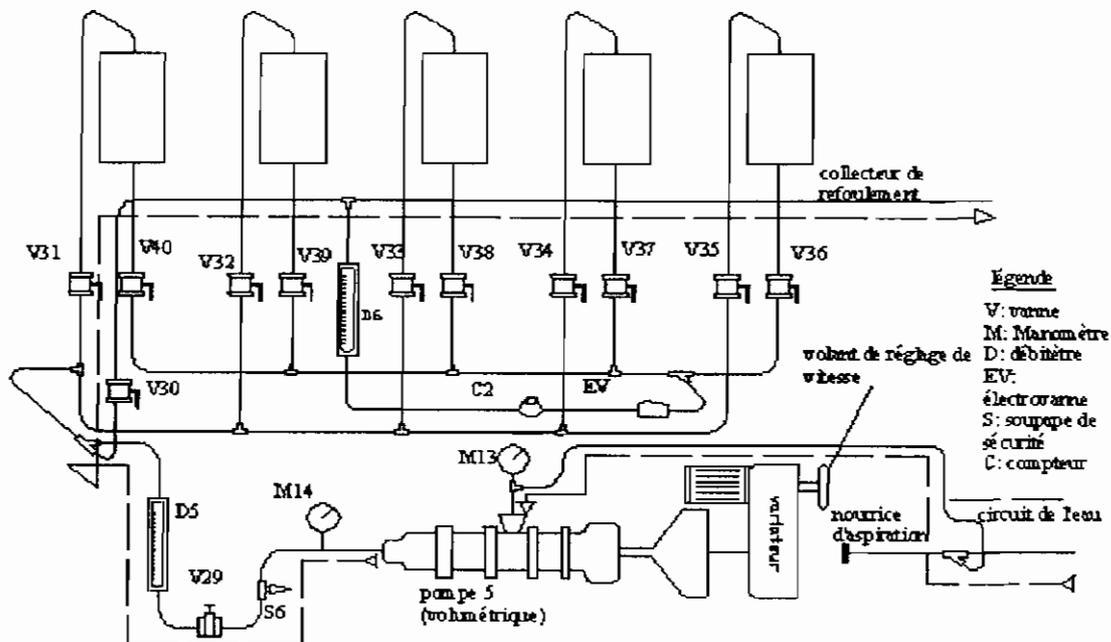
- Le débit de refoulement de la pompe en fonction de la vitesse de rotation N et de la pression de refoulement P_{ref} .
- La puissance absorbée aux bornes du moteur en fonction de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement et de la pression de refoulement de la pompe.

Ces courbes sont établies par le constructeur et pour des vitesses de rotation données.

C-manipulation

C-1-description

Le schéma suivant montre l'installation de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 7

- ✓ Le manomètre M13 permet de relever la pression de refoulement de la pompe,
- ✓ Le débitmètre D5 permet de relever le débit de refoulement de la pompe
- ✓ La vanne V29 permet de créer d'une manière artificielle une pression de refoulement de la pompe (simulation manométrique).

C-2-mode opératoire

- 1-choisir la voie du collecteur d'aspiration à l'aide de la vanne V27 (le levier de V27 parallèle à l'axe du tuyau d'aspiration),
- 2-ouvrir complètement les vannes V28, V29 et V30,
- 3-faire vérifier le montage par le professeur,
- 4-mettre la pompe en marche,
- 5-laisser fonctionner la pompe au moins pendant 2 minutes,
- 6-regler le débit de la pompe au maximum par le volant du variateur,
- 7-mesurer cette vitesse,
- 8-relever les valeurs de pression de refoulement, de débit, d'intensité et de tension,
- 9-fermer la vanne V29 de façon à ce que la pression augmente de 1 bar,
- 10-refaire les opérations 7- à 9- jusqu'à ce que la pression atteigne 8 bars,
- 11-ouvrir complètement la vanne V29,
- 12-diminuer le débit de $1\text{m}^3/\text{h}$ à l'aide du volant de réglage de vitesse de rotation de la pompe,
- 13-refaire les opérations 7- à 12- jusqu'à ce que le débit soit nul.

D-tracée des courbes caractéristiques

D-1-courbe $Q=f(N, P_{ref})$

- ✓ Pour chaque pression de refoulement, tracer la courbe $Q=f(N)$ sur un système d'axe N versus Q point par point,
- ✓ Sur chaque courbe, mentionner la pression de refoulement correspondante.

D-2-courbe $W=f(N, P_{ref})$

Nous cherchons la puissance absorbée aux bornes du moteur par :

$$W=UI\cos\varphi$$

U et I étant la tension composée et l'intensité et ligne relevées pour chaque mesure.

- ✓ Pour chaque vitesse de rotation et pression de refoulement, calculer la puissance W,
- ✓ Reporter ces valeurs dans un tableau,
- ✓ Tracer, pour chaque pression de refoulement, la courbe $W=f(N)$ sur un système d'axe W versus N point par point.
- ✓ Sur chaque courbe, relier les points ayant même hauteur de refoulement P_{ref} .

E-interprétation des résultats

- ✓ Commenter l'allure des courbes,
- ✓ Faites vos remarques et suggestions quant au déroulement de la manipulation.

Manipulation 8 : comparaison d'une pompe volumétrique et d'une turbopompe

A-But de la manipulation

Cette étude a pour but de comparer une pompe à déplacement positif et une turbopompe point de vue mode de fonctionnement ou plus précisément leur réaction quant à une perturbation du réseau.

B-Définition

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

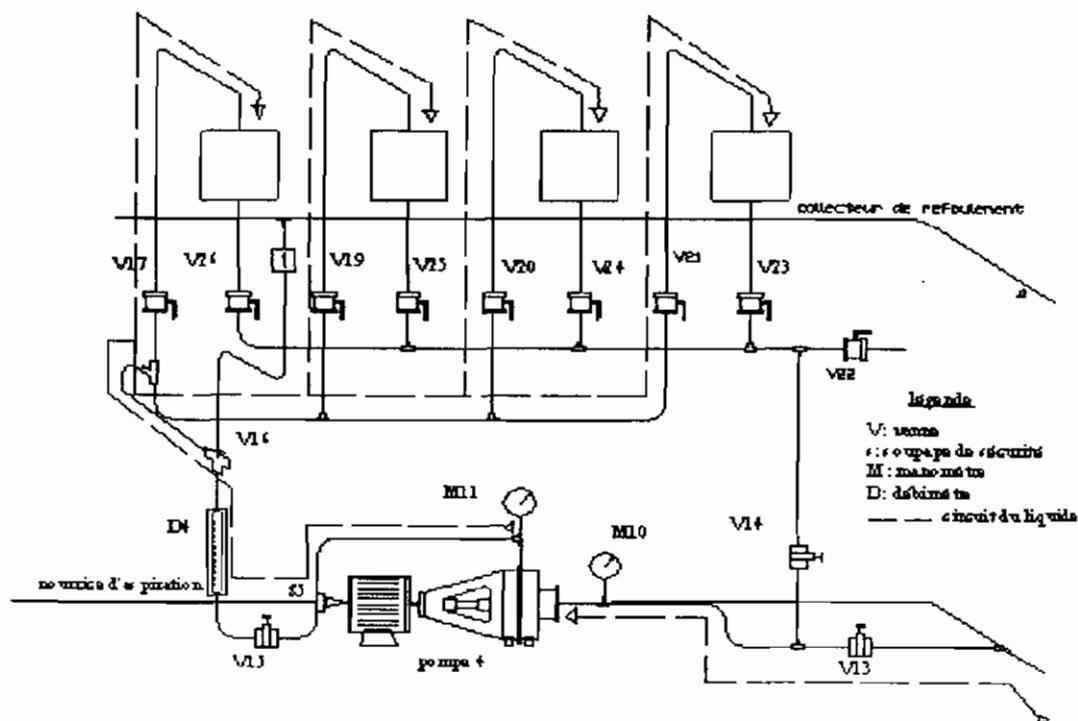
- La hauteur nette de refoulement en fonction du débit ($H_n=f(Q)$).
- La puissance absorbée aux bornes du moteur $W=f(Q)$.
- Le rendement hydromécanique en fonction du débit $\eta_{HM}=F(Q)$.

Ces courbes sont données par le constructeur dépendamment d'une vitesse de rotation fixe dans le cas de la turbopompe et variable pour notre pompe à déplacement positif.

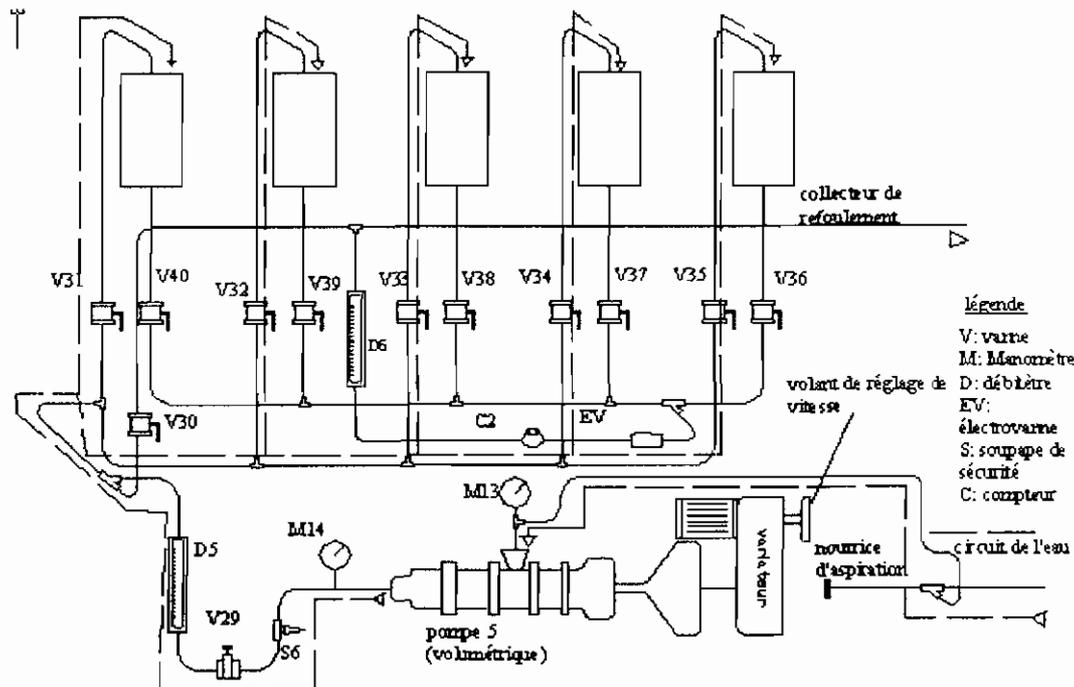
C-manipulation

C-1-description

Les schémas suivants montrent les installations de cette manipulation.



installation expérimentale de la manipulation 8 (1^{re} partie)



installation expérimentale de la manipulation 2 (2^e partie)

- Les manomètres M10 et M11 permettent de relever les pressions à l'aspiration et au refoulement de la turbopompe.
 - le débitmètre D4 permet de savoir le débit Q de refoulement de la pompe.
 - la vanne de passage direct V15 permet de faire varier le débit à la sortie de la pompe ; pour cette manipulation elle sera réglée ouverte totalement.
 - Le manomètre M13 permet de relever la pression de refoulement de la pompe,
 - Le débitmètre D5 permet de relever le débit de refoulement de la pompe.
- Pour le relevé des valeurs nous opérerons d'abord avec la turbopompe puis avec la pompe à vis.

C-2-mode opératoire

Régler les débits des deux pompes à l'aide de la vanne V15 et du volant de variateur de vitesse jusqu'à avoir des valeurs de débits proches.

Relevés sur la turbopompe

1-ouvrir complètement les vannes d'aspiration V13 et de refoulement V15.

Pour la vanne à 3 voies V16 mettre le levier parallèle au tuyau horizontal vers le mur.

2-amorcer la pompe à l'aide de la vanne V0

3-ouvrir complètement la vanne V17,

- 4- faire vérifier par le professeur,
 - 5- mettre la pompe en marche,
 - 6- relever les pressions des manomètres M10 et M11 et le débit correspondant par D5,
 - 7- ouvrir complètement la vanne V17,
 - 8- relever les pressions des manomètres M10 et M11 et le débit correspondant par D4,
 - 9- ouvrir complètement la vanne V19,
 - 10- relever les pressions des manomètres M10 et M11 et le débit correspondant par D4,
 - 11- ouvrir complètement la vanne V20,
 - 12- relever les pressions des manomètres M10 et M11 et le débit correspondant par D4,
 - 13- ouvrir complètement la vanne V21,
 - 14-- relever les pressions des manomètres M10 et M11 et le débit correspondant par D4,
- NB:** Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

Relevés sur la pompe volumétrique

- 1- choisir la voie du collecteur d'aspiration à l'aide de la vanne V27 (le levier de V27 parallèle à l'axe du tuyau d'aspiration),
- 2- ouvrir complètement les vannes V28, V29 et V30,
- 3- faire vérifier le montage par le professeur,
- 4- mettre la pompe en marche,
- 5- régler le débit à la valeur désirée par le volant
- 6- laisser fonctionner la pompe au moins pendant 2 minutes,
- 7- relever les pressions des manomètres M13 et M14 et le débit correspondant par D5,
- 8- ouvrir complètement la vanne V32,
- 9- relever les pressions des manomètres M13 et M14 et le débit correspondant par D5,
- 10- ouvrir complètement la vanne V33,
- 11- relever les pressions des manomètres M13 et M14 et le débit correspondant par D5,
- 12- ouvrir complètement la vanne V34,

- 13- relever les pressions des manomètres M13 et M14 et le débit correspondant par D5,
- 14- ouvrir complètement la vanne V35,
- 15- relever les pressions des manomètres M13 et M14 et le débit correspondant par D5,

Pour relever les paramètres laisser la pompe fonctionner 1 à 2 minutes le temps que son fonctionnement se stabilise.

D-tracé des courbes caractéristiques

Sur un même système d'axe tracer les courbes donnant la différence de pression en fonction du débit pour chaque pompe avec les relevés obtenus.

$$P_{14}-P_{13}=f(Q) \text{ et } P_{11}-P_{10}=f(Q)$$

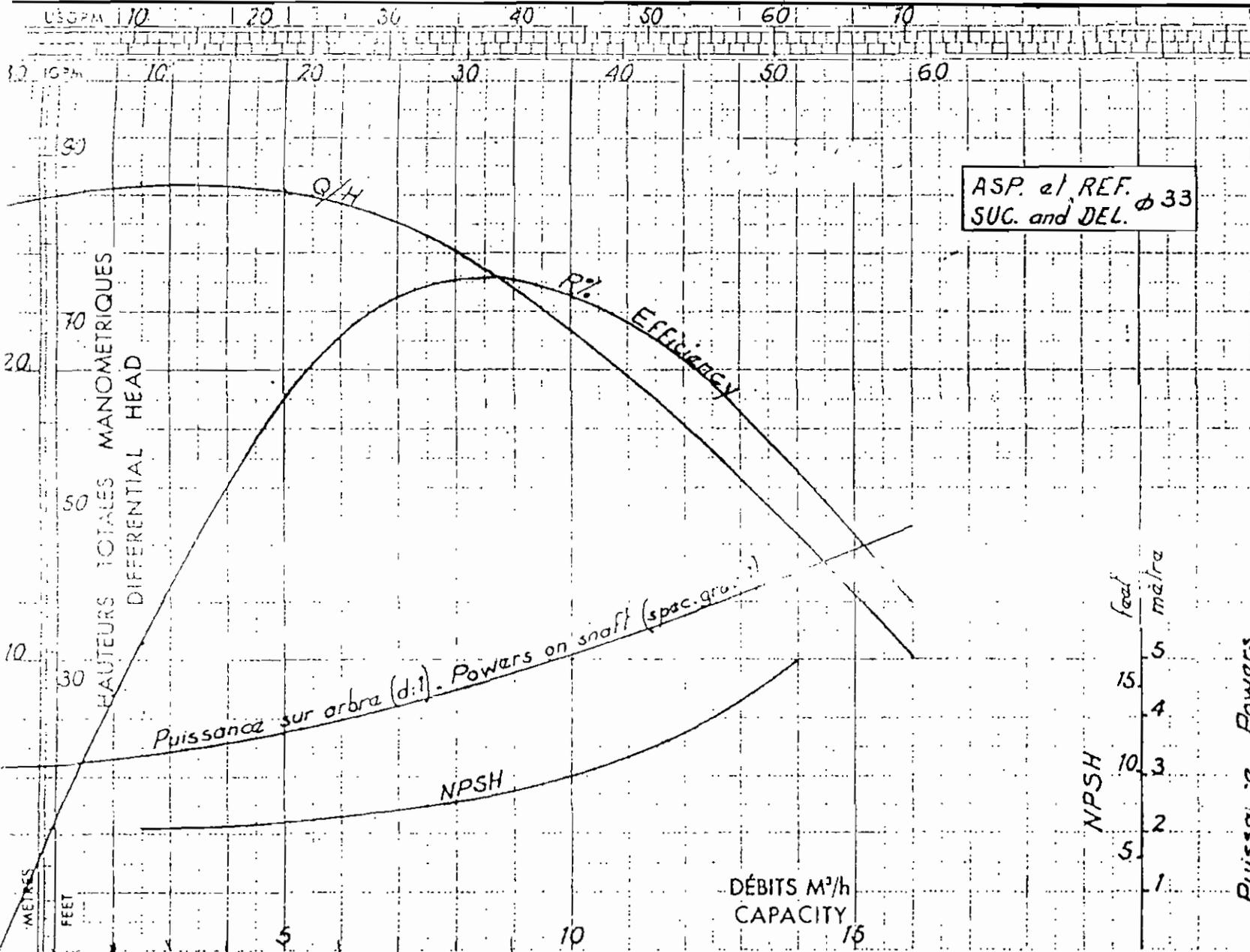
E-interprétation des résultats

- ✓ Commenter l'allure des courbes
- ✓ Quelle pompe utiliser dans un cas ou on veut avoir un débit constant ? Quelle pompe utiliser dans un cas ou on veut une flexibilité du débit par rapport à une hauteur de charge?

variation de la hauteur de charge

- ✓ Faites vos remarques et suggestions quant au déroulement de la manipulation

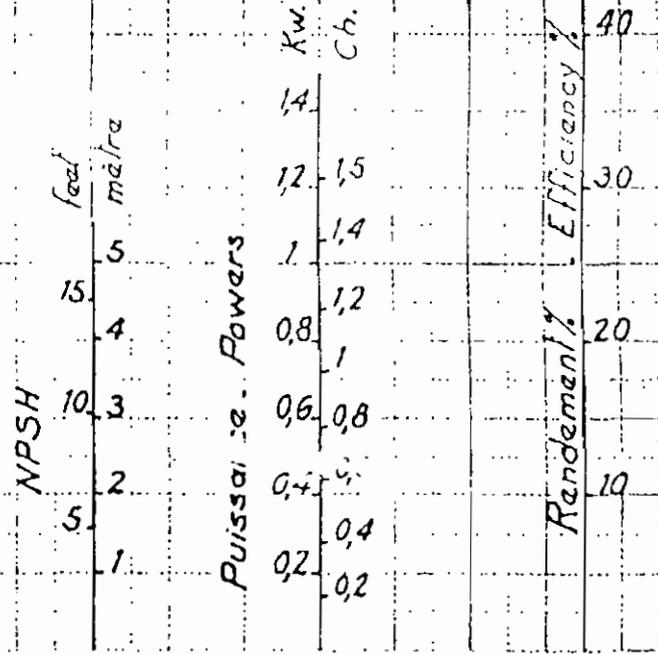
ANNEXE 3 : COURBES CARACTERISTIQUES DES POMPES



POMPE CENTRIFUGE
CENTRIFUGAL PUMP
DATE 1.6.77 PLAN 216 123.1

ASP. et REF.
SUC. and DEL. ϕ 33

1 Cellule
1 Stage

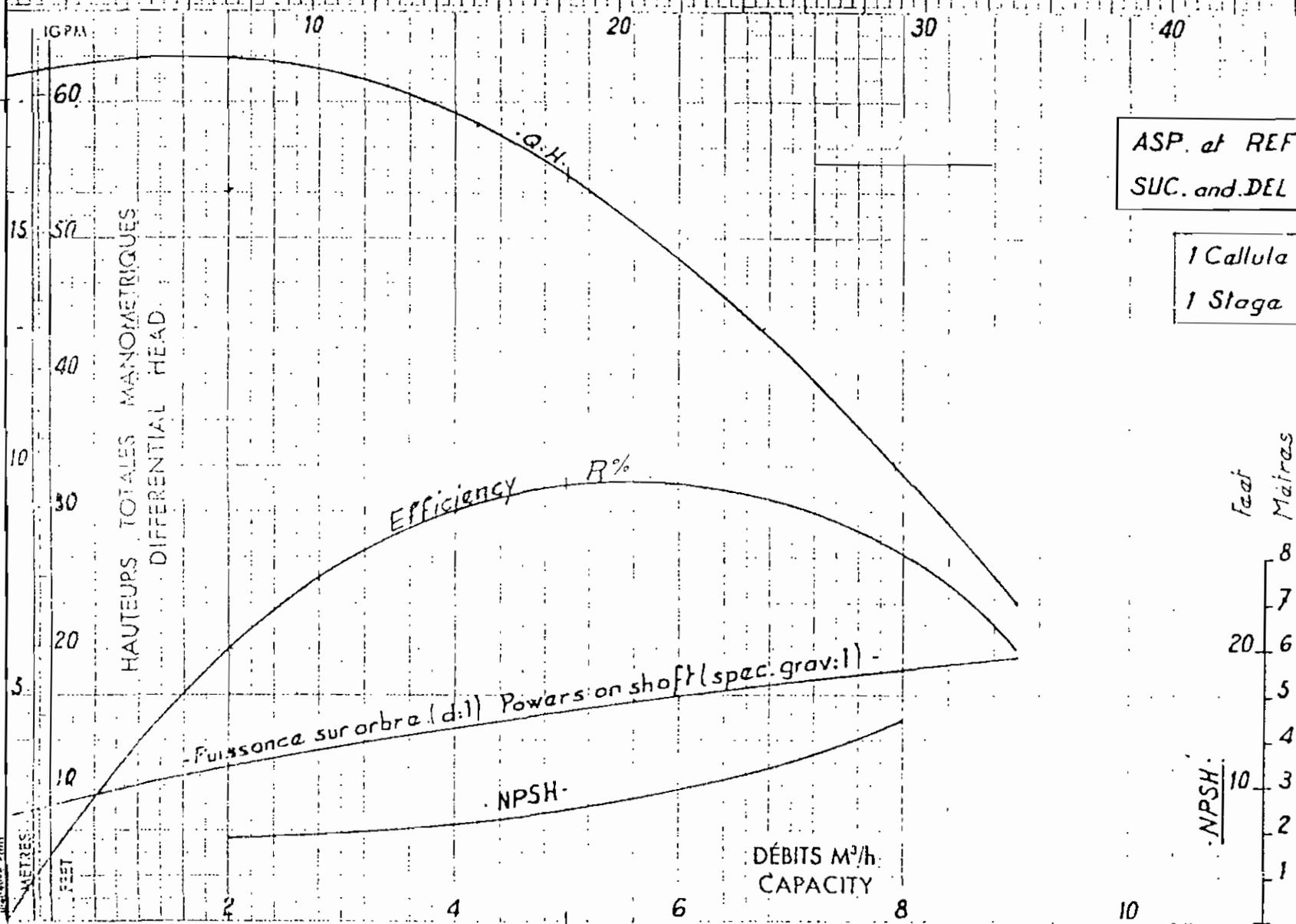


| | | | | | | | |
|------------|--------------|----------|----------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------|--|
| POMPE PUMP | nM5-M5 F & V | RPM 2900 | ROUE - IMPELLER | VOLUTE | HAUTEUR HEAD - 2.5 - 3" | ESSAIS - TEST 11 564 | Annule et remplace le graphique Cancel and replace diagram CW 87.10 A |
| | | | mod : CEILLARD - EYE | mod : DIFFUSEUR - DIFFUSER | | | |
| | | | mod : | mod : | RENDEMENTS EFFICIENCY : 2 points | | |

USGPM 10 20 30 40 50

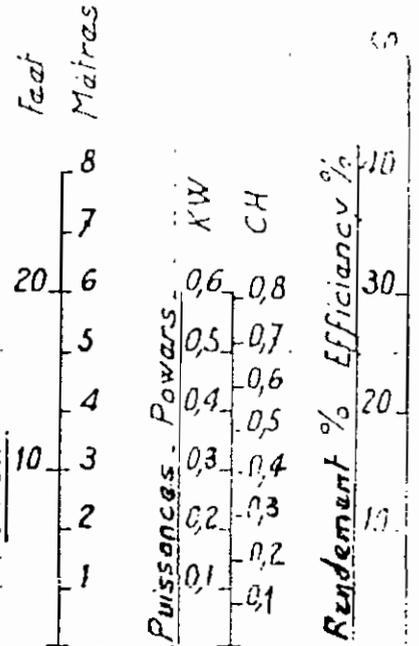
POMPE CENTRIFUGE
CENTRIFUGAL PUMP

DATE 1.06.77 PLATE 216 122.1



ASP. at REF
SUC. and DEL $\phi 25$

1 Cellula
1 Stoga



POMPE
PUMP **M3-M3F & V**

RPM
2900

ROUE - WAPPELLER
mod :
CEILLARD - EYE

VOLUTE
mod :
DIFFUSEUR - DIFFUSER
mod :

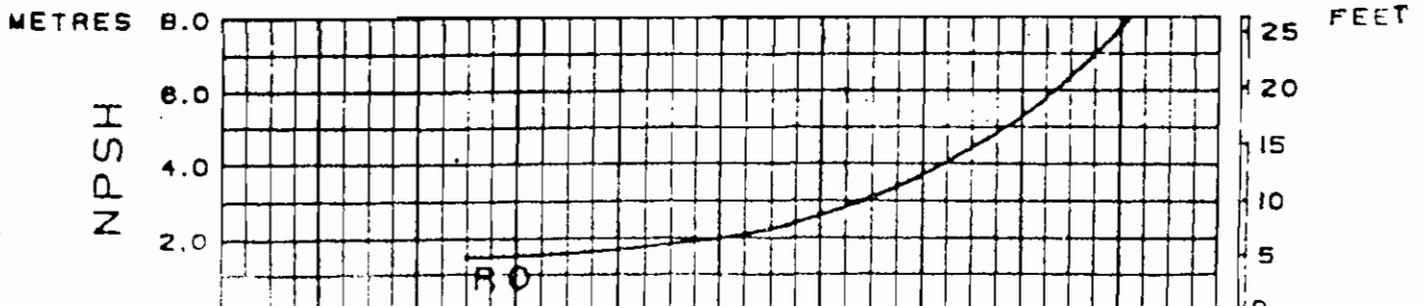
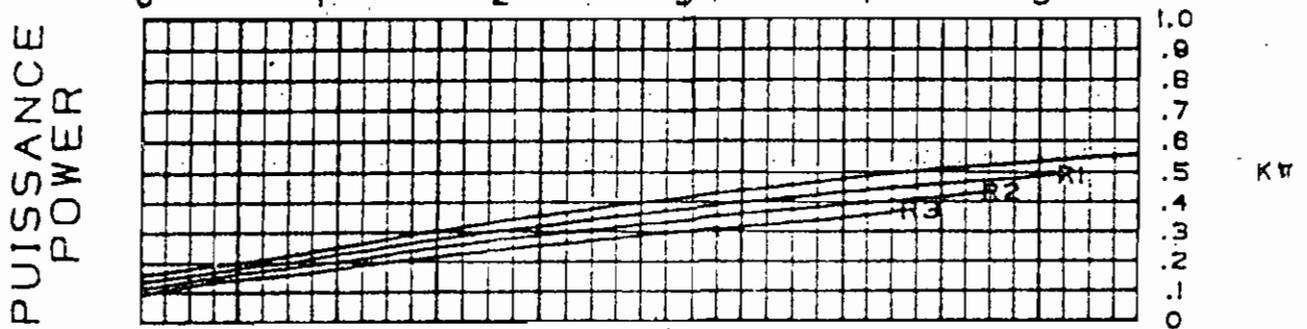
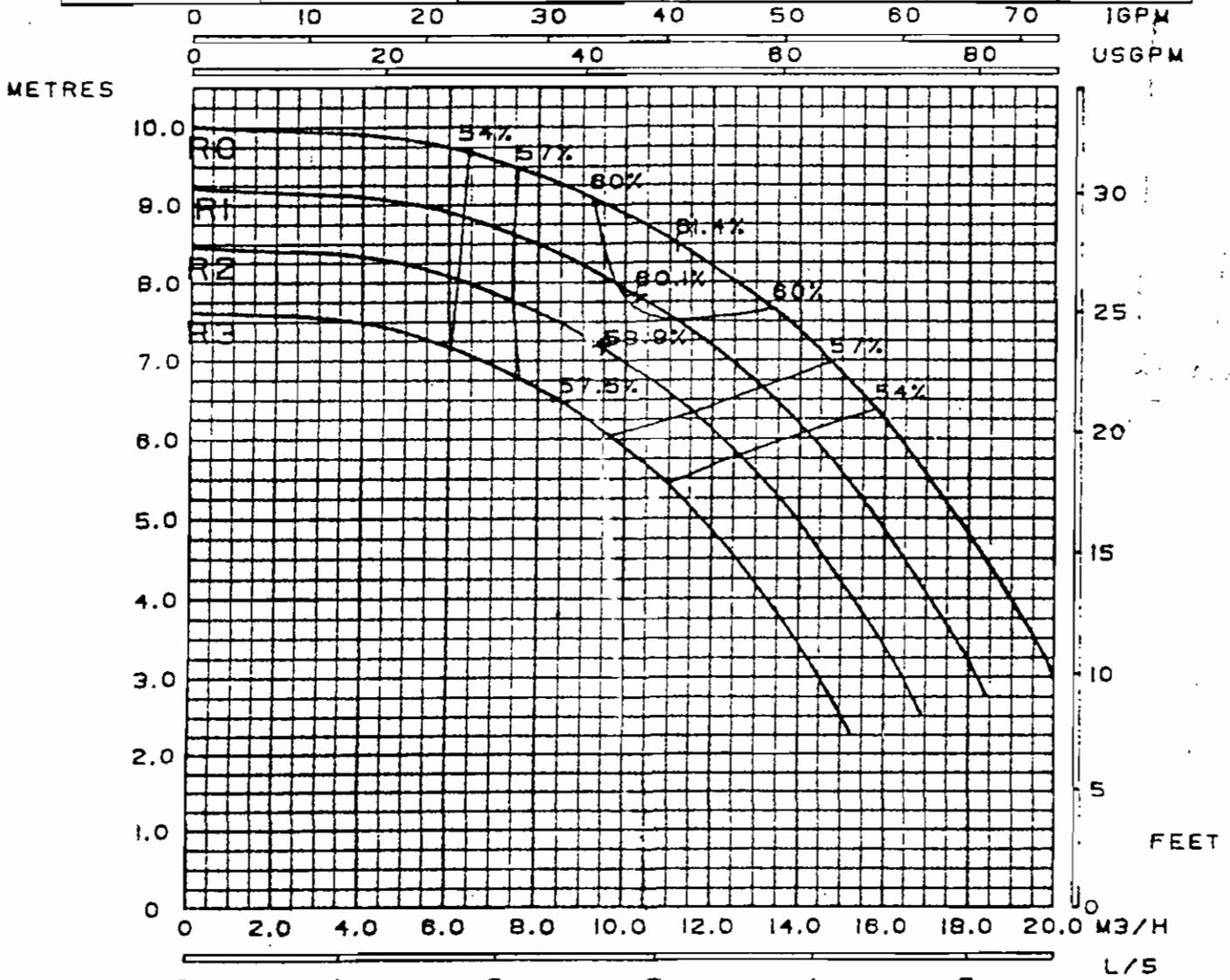
TOLERANCES
HAUTEUR DE LA
PUISSANCES
PUISSANCES
RENDEMENTS
EFFICIENCY

ESSAIS - TEST
11563

Analyse et conception de la pompe
Conception et fabrication de la pompe

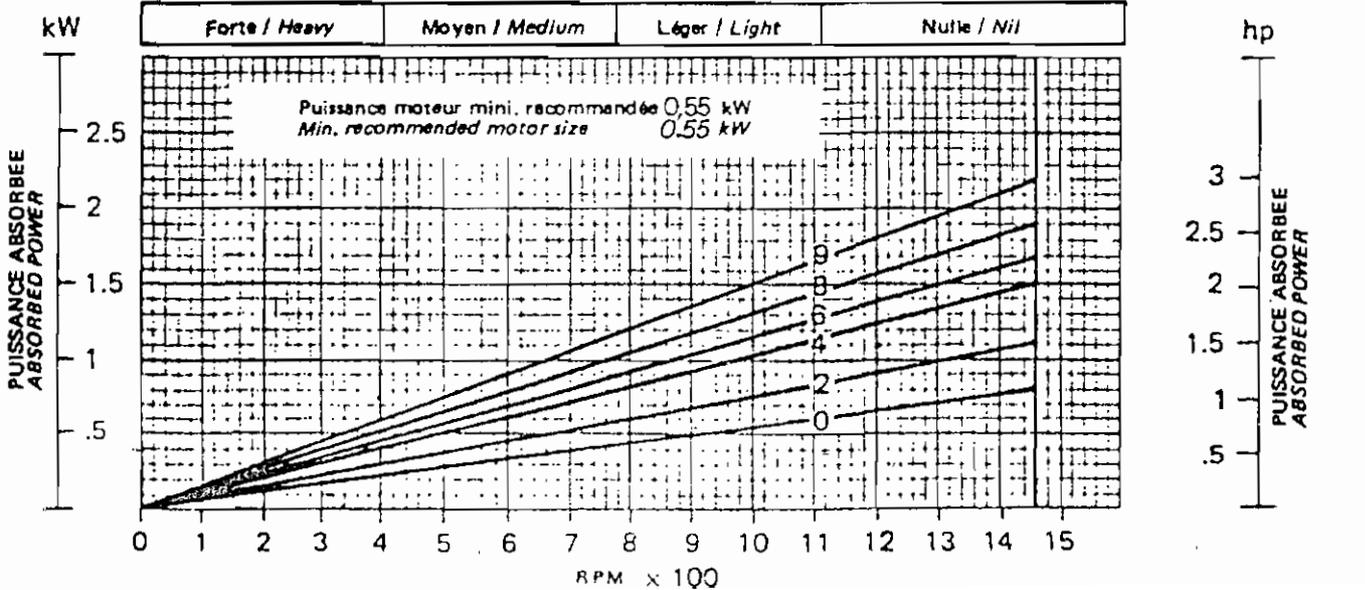
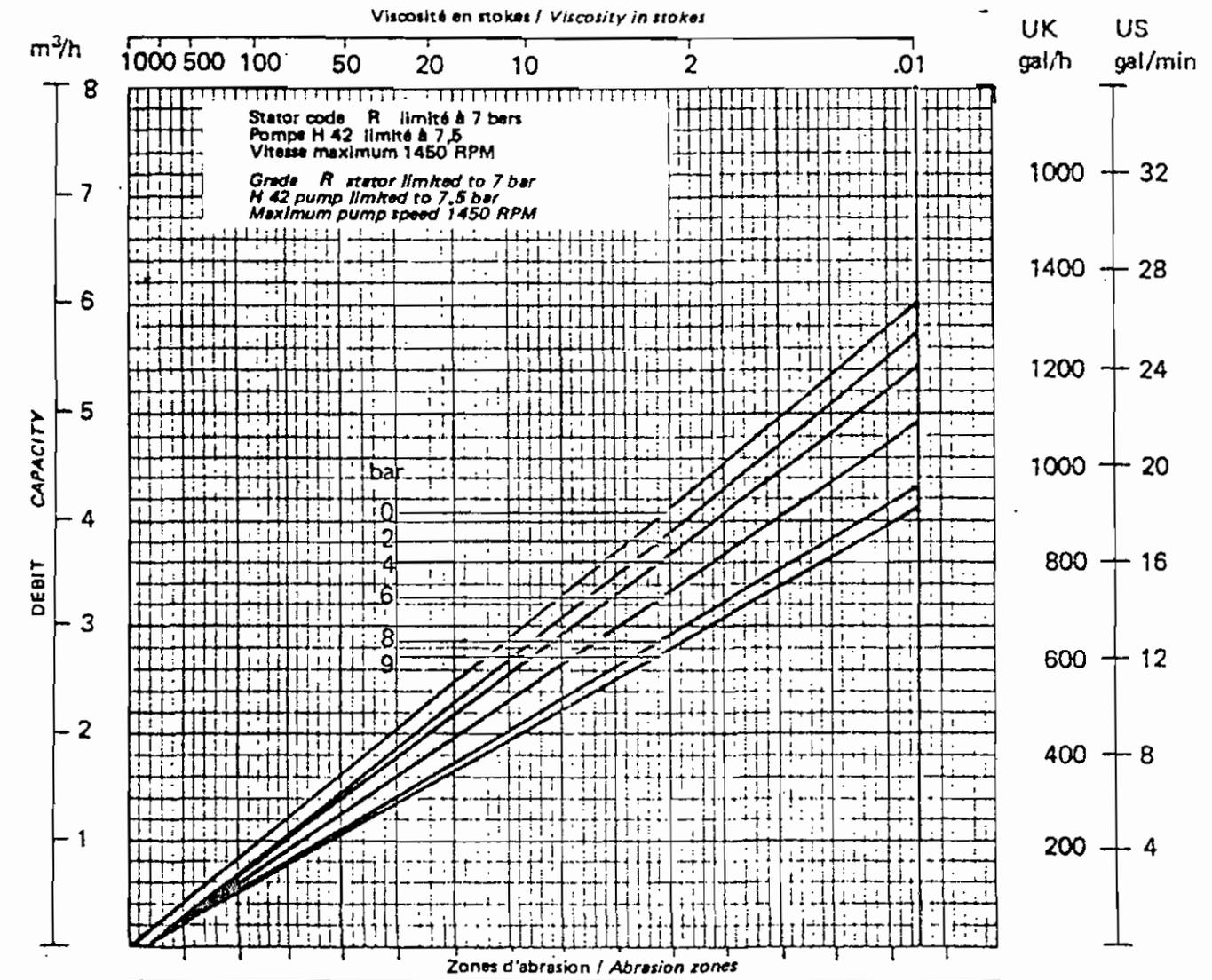
GUINARD

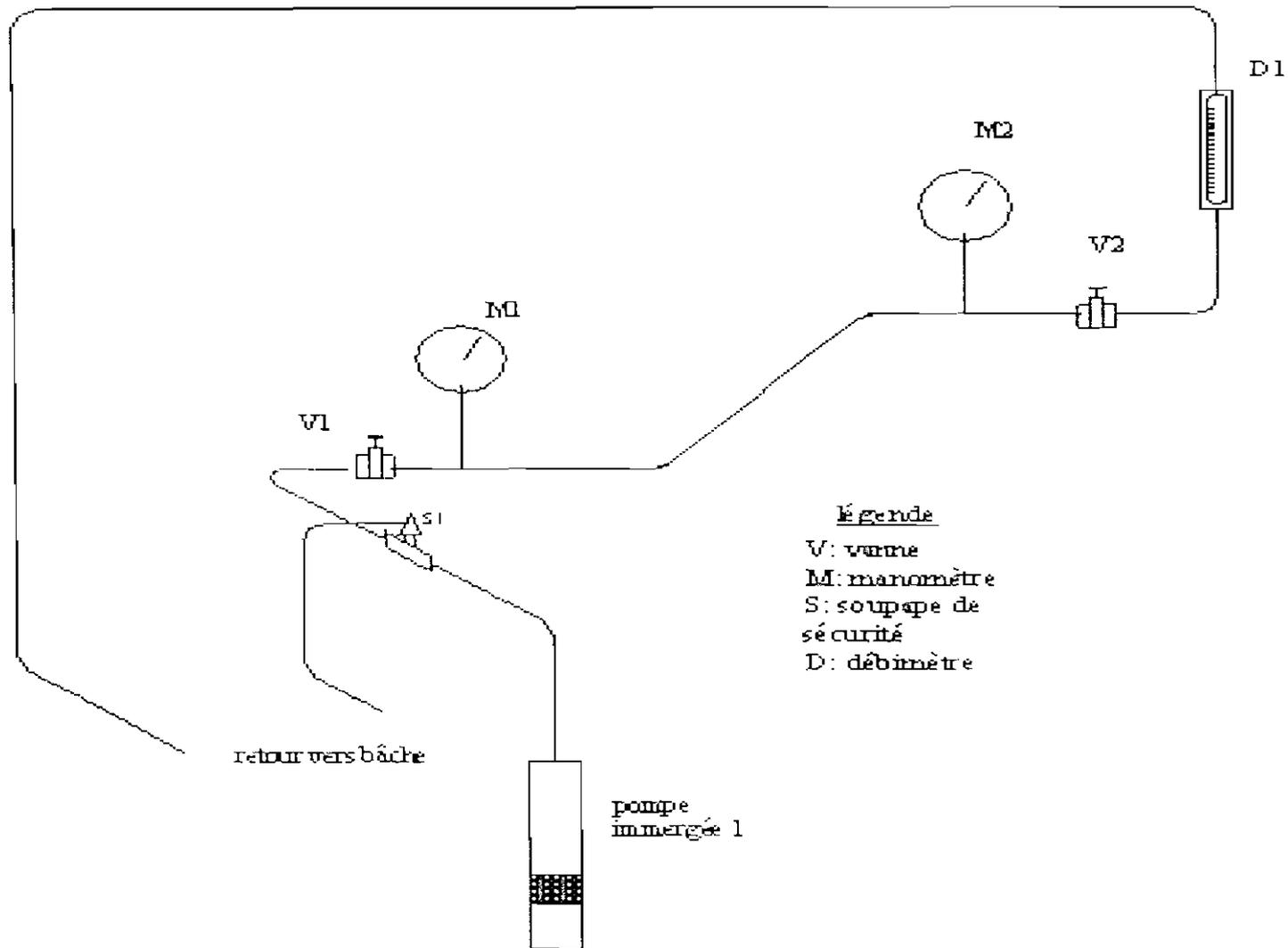
| | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|--|---|-------------------|------------------------------|
| POMPE CENTRIFUGE CENTRIFUGAL PUMP | | NE-NIR-NX-3X16 | | | PALIER BEARING 24 | |
| Denste=l vtoostte=l centipolse | | 1450 RPM | | ROGNAGE-TRIMMING R0=173 R1=166 R2=159 R3=151 | | ASP.=50 SUC. REF.=32 DEL. |
| ESSAI-TEST NO:H009858 | TOLERANCE ISO 2548 CLASSE C | | | | | 50HZ |



| | | | | |
|--|--------------|---|--|---|
| TYPE DE POMPE PUMP SIZE | | D/H42 | Couple de démarrage : 2,07 m.Kg. Starting torque : 15 lb. Ft. | Essai réalisé à l'eau à 20°C, sans by-pass Tested on water at 20°C, without by-pass |
| ORIFICES BRANCH SIZES | 40 mm | STATOR CODES STATOR GRADES | A.B.R | SOLIDS HANDLING CAPABILITY soft and compressible : up to Ø mm 16 Hard angular : up to Ø mm 4 |

Pour le facteur de puissance/viscosité, voir page : 1271 - 500 - 32
 For viscosity/power factors refer to page :





Légende
V: vanne
M: manomètre
S: soupape de sécurité
D: débitmètre

Planche 1 : pompe immergée

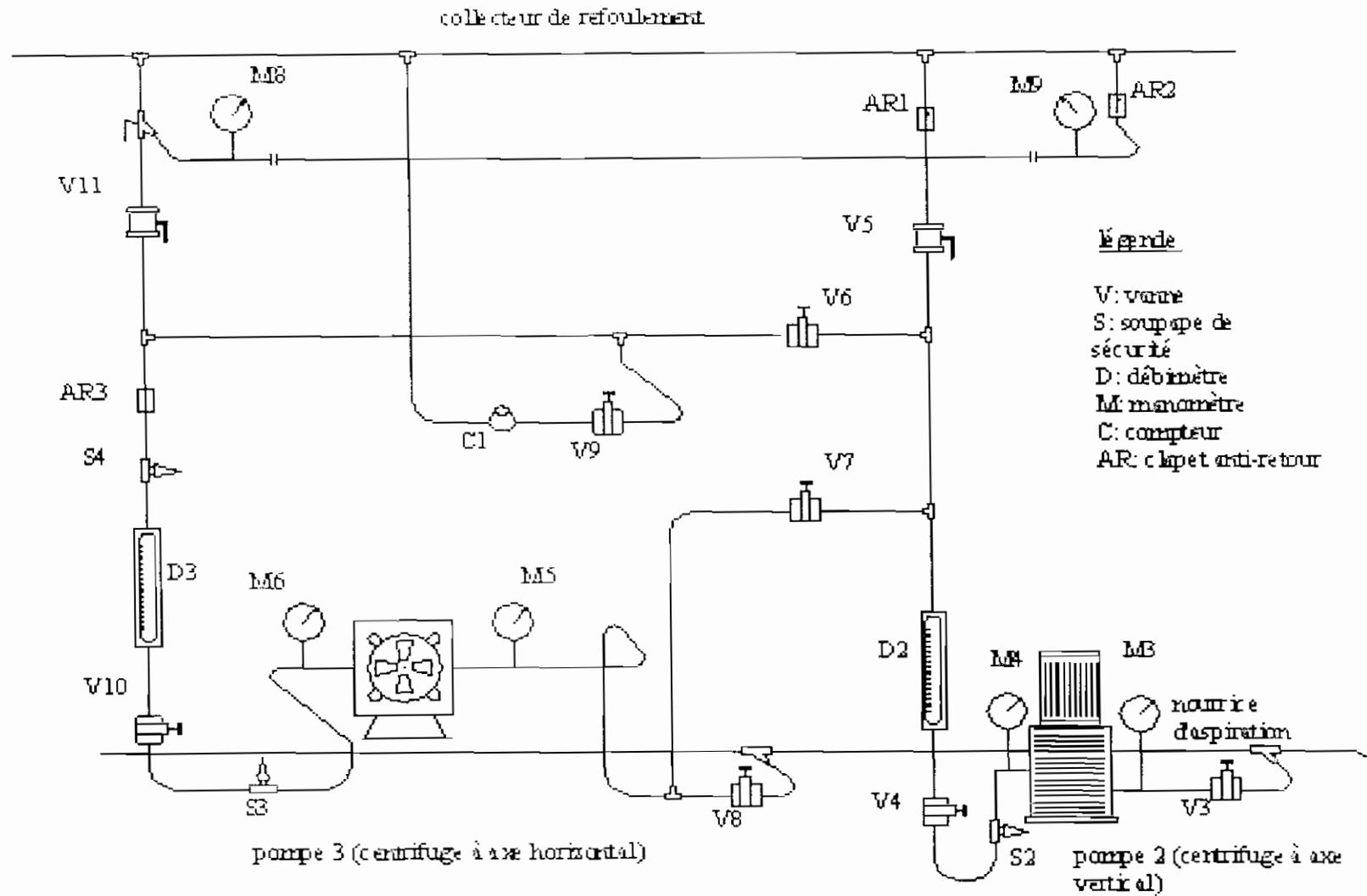


Planche 2 : mur 1- pompe centrifuges

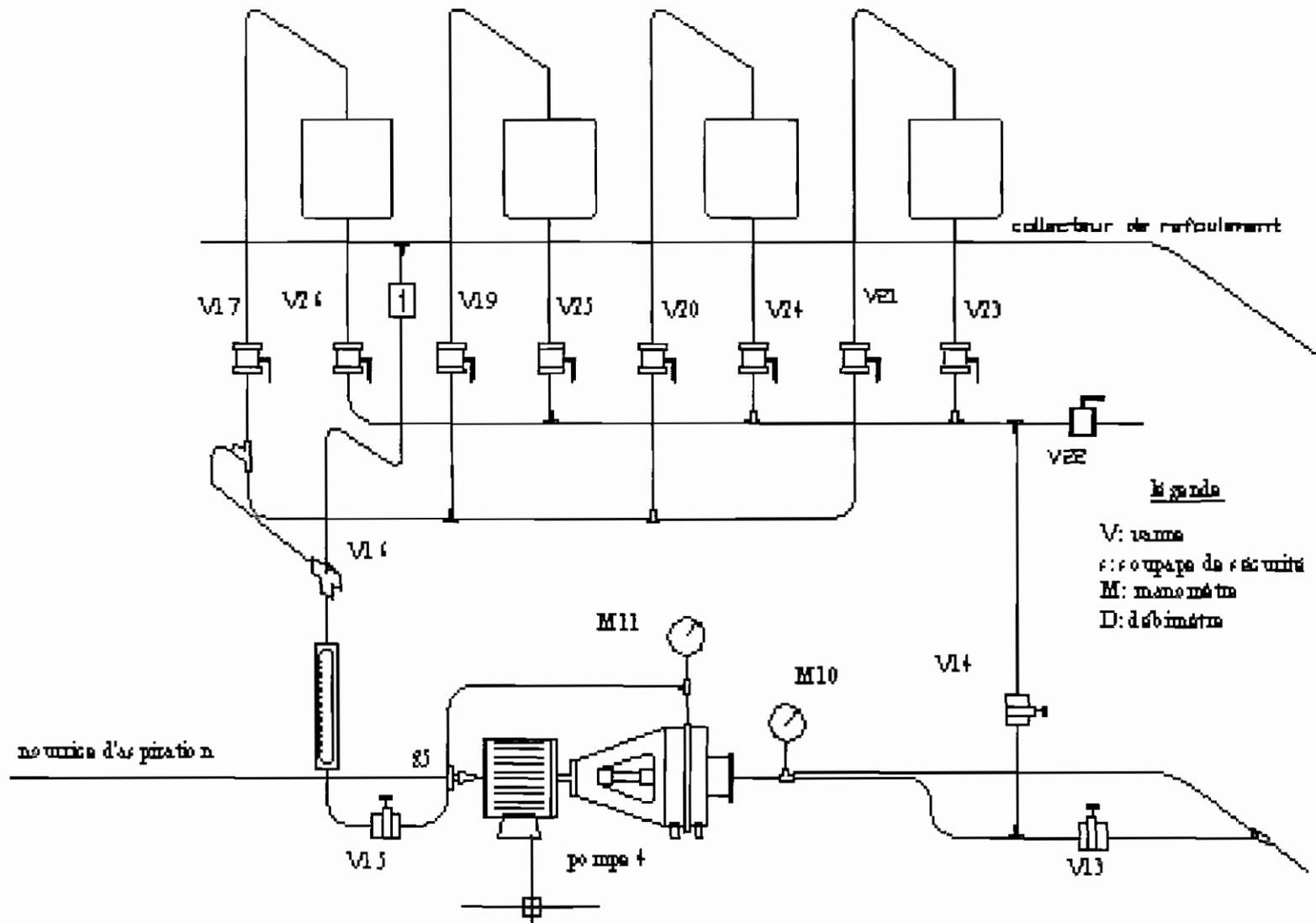
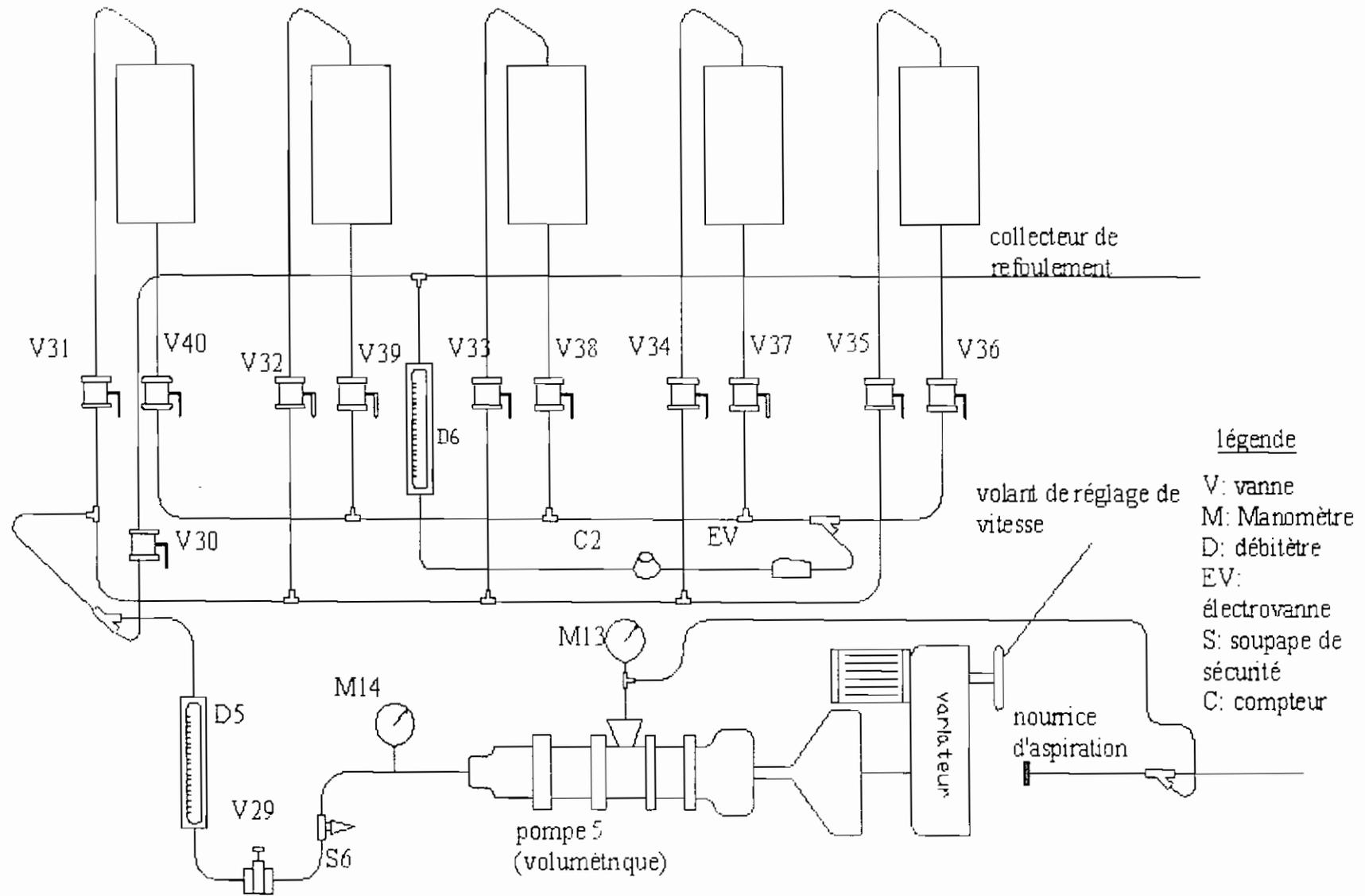


Planche 3 : mur 2- turbopompe



- légende**
- V: vanne
 - M: Manomètre
 - D: débitère
 - EV: électrovanne
 - S: soupape de sécurité
 - C: compteur

Planche 4 :mur 2 (suite)- pompe volumétrique