

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Installation et mise en marche d'un banc d'essai pour la construction des courbes caractéristiques de deux pompes identiques fonctionnant en parallèle.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0019-17

APA Citation (توثيق APA):

Abbas, Celia (2017). Installation et mise en marche d'un banc d'essai pour la construction des courbes caractéristiques de deux pompes identiques fonctionnant en parallèle[Thèse de master, ENSH].

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : CONCEPTION DES
SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

THEME :

Installation et mise en marche d'un banc d'essai pour la construction des courbes caractéristiques de deux pompes identiques fonctionnant en parallèle

Présenté par :

M^{me} : ABBAS Celia

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^{me} Meddi Hind	M.C.A	Présidente
M ^r Ammari Abdelhadi	M.C.B	Examineur
M ^r Boufkane Abdelmadjid	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} Houli Samia	M.A.A	Examinatrice
M ^r Khodjet Kesba Omar	Professeur	Promoteur

Mars 2017

Dédicaces



*Je dédie ce modeste
travail à mes très chers
parents pour leurs soutiens,
sacrifices et tous les efforts
consentis pour mon éducation
et ma formation, je tiens à
leurs témoigner ma
reconnaissance, mon amour et
mon affection*

*A mes deux très chères
sœurs Thinhinane et
Yasmine*

A toute ma famille

Celia ABBAS



Remerciements

*Je remercie le bon Dieu qui m'a donné la force, la sagesse, le courage
d'achever ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont apporté un soutien pour
l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude, particulièrement ma famille*



*Je veux adresser mes remerciements à mon promoteur Mr. Khodjet
Kesba Omar pour sa grande disponibilité et ses encouragements tout au
long de la rédaction de ce mémoire.*

Je remercie également :



Mr Ammari, Mr Yahiaoui pour leurs aides et leurs conseils



Les ingénieurs du laboratoire PSP Mr. Kerriet Mme

Saidi, pour leurs disponibilités sans oublier mon camarade Tahar

ABBAS pour son soutien



A tout le corps enseignant et personnel de L'ENSA qui ont

contribué de près ou de loin à ma formation



Aux membres de jury qui ont bien accepté d'examiner mon travail

et de l'apprécier à sa juste valeur.

يتم استخدام منحنيات مميزة للمضخة من أجل تحديد النطاق المناسب لحسن سير العمل في المضخة وعمّا إذا كانت المنحنيات التي اعطيت من قبل الشركة المصنعة موثوقة. للتحقق من هذه الشروط نقوم بالتركيب وبدء التشغيل من منصة التجارب لإنشاء المنحنيات المميزة للمضختين المتطابقتين 40 NVA_150_5. تمت هذه التجربة بالقرب من مخبر المضخات المتواجد بالمدرسة الوطنية العليا للري. وقد أجريت الاختبارات أولاً على مضخة واحدة ومن ثمّ فإن التغيير في مختلف صمامات الجذب والدفع لاقتران المضختين في نفس الوقت. باستخدام القراءات المختلفة من أجهزة القياس وصلنا لإنشاء المنحنيات المميزة، تفسيرها ومقارنتها بمنحنيات المصنع POVAL.

Résumé

Les courbes caractéristiques d'une pompe servent à déterminer la bonne plage pour le bon fonctionnement de la pompe ainsi à déterminer si les courbes données par le constructeur sont fiables.

Pour vérifier ces conditions nous avons procédé à une installation et la mise en marche d'un banc d'essai pour la construction des courbes caractéristiques de deux pompes identiques 40 NVA_150_5. Cette installation se trouve à proximité du laboratoire PSP de l'ENSH.

Des manipulations et des essais ont été faits tout d'abord sur une seule pompe puis on manipule les différentes vannes d'aspiration et de refoulement pour accoupler les deux pompes identiques en parallèle. À l'aide des lectures de différents appareils de mesure nous sommes arrivés à construire les courbes caractéristiques hydrauliques, les interpréter et les comparer – courbes caractéristique constructeur POVAL et courbes caractéristiques trouvées expérimentalement.

Abstract

The characteristic curves of a pump serve to determine the correct range for the correct operation of the pump and thus to determine whether the curves given by the manufacturer are reliable. To verify these conditions we have to install and start a test bench to construct the characteristic curves of two identical pumps 40 NVA_150_5. This facility is located close to the National High School for Hydrolics PSP laboratory. Operations and tests were carried out first on a single pump and then the various suction and discharge valves were manipulated to couple the two identical pumps in parallel. Using the readings of different measuring devices we have arrived to construct the hydraulic characteristic curves, interpret them and compare them - characteristic curve POVAL constructor and characteristic curves found experimentally.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Caractéristiques des pompes centrifuges

Introduction	1
I.1 Catégories des pompes :.....	1
I.2.Les pompes centrifuges.....	1
I.2.1.Avantages et inconvénients :.....	1
I.2.2 Principe de fonctionnement	2
I.2.3.Utilisation.....	3
I.2.4. Classification des pompes centrifuges	4
I.3 Caractéristiques des pompes.....	5
I.4 Couplage de pompes en parallèle	6
I.4.1 Courbe de performance de deux pompes en parallèle.....	7
I .5 Modes de réglage du débit.....	8
I.6.Caractéristique du réseau et point de fonctionnement.....	9
I.7. couplage de pompes identiques dans la station de dessalement des eaux de mer de Tizirt (groupe électropompes).....	10
Conclusion.....	11

Chapitre II : Description des pompes en sujet

Introduction.....	12
II .1 Gamme de production de POVAL.....	12
II .2 Les pompes en sujet (40 NVA – 150 – 5).....	13
II .2.1 Application.....	13
II .2.2 CONSTRUCTION.....	13
II .2.3 AVANTAGES.....	13
II .2.4 Caractéristiques électriques.....	13
Conclusion.....	16

Chapitre III : Construction des courbes caractéristiques

Introduction.....	17
III .1But de l'expérimentation.....	17
III.2 Installation du banc d'essai.....	18
III.3 Manipulation.....	19
III.4 Conception de l'armoire électrique.....	19
III.5 Formules employées pour la détermination des performances des pompes.....	20
III.6 Calcul des paramètres des pompes en sujet.....	21
III.7.Le point ainsi que la plage de bon fonctionnement de la pompe.....	22
III.8.Analyse graphique des résultats obtenus.....	29
III.9.Calcul de l'erreur systématique relative.....	32
Conclusion.....	34
Conclusion générale	

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques de la pompe (40 NVA – 150 – 5).....	15
Tableau III.1 : Résultats obtenus des différents paramètres de l'installation avec une seule pompe.....	23
Tableau III.2 : Résultats obtenus des différents paramètres de l'installation des deux pompes montées en parallèles.....	24
Tableaux III.3. Les résultats obtenus après avoir fixé un pas de 3 m ³ /h.....	29
Tableau III.4: Calcul de l'erreur systématique relative pour l'installation à une seule pompe.....	33
Tableau III.5 : Calcul de l'erreur systématique relative pour l'installation à deux pompes identiques montées en parallèle.....	33

Introduction générale

Pour faire circuler un fluide, on peut utiliser la gravité ou le vide, mais c'est souvent insuffisant dans la pratique, on est amené à mettre en œuvre des pompes.

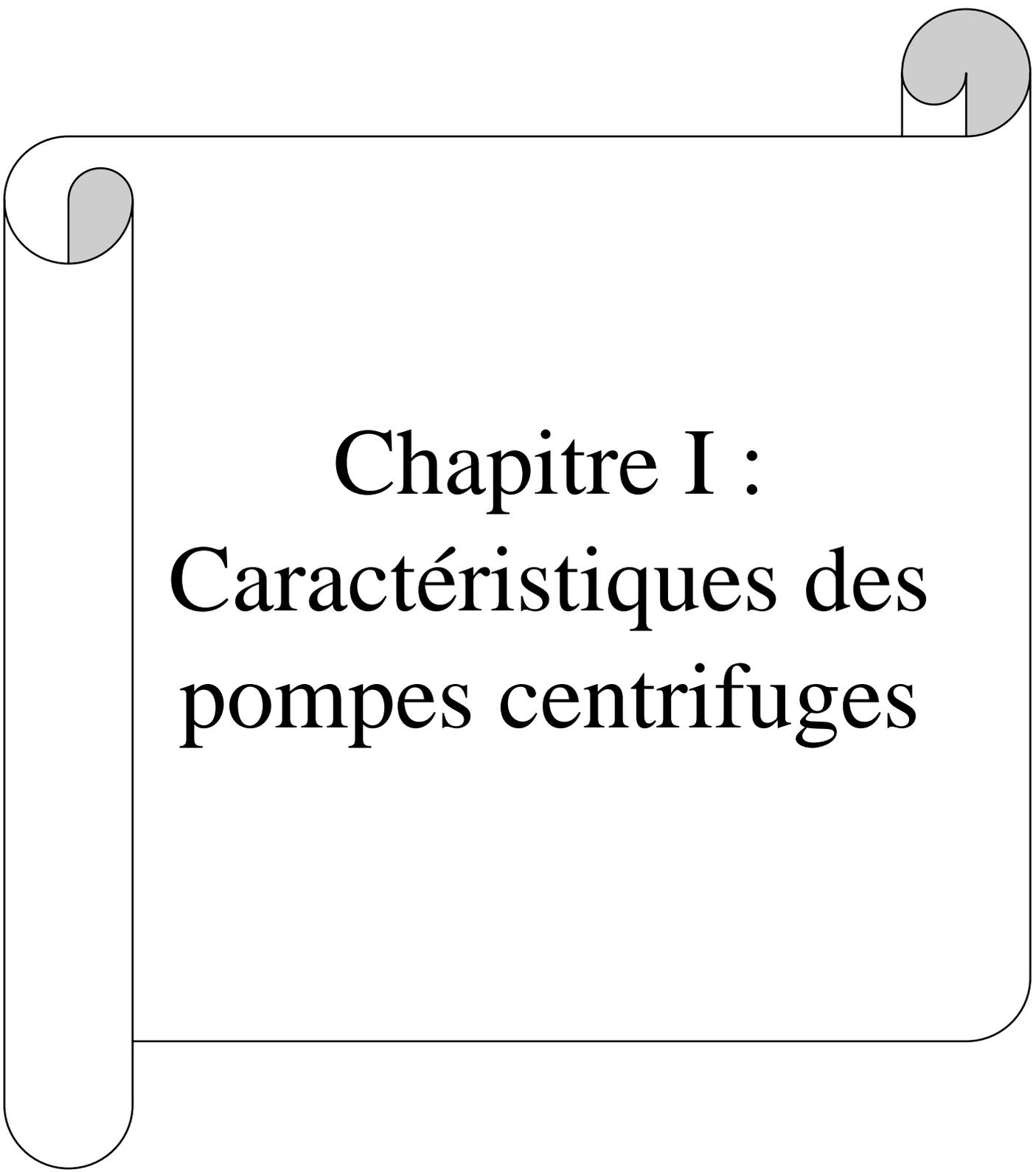
Une pompe apporte de l'énergie qui permet de

- vaincre les pertes de charge régulières et singulières ;
- augmenter la pression du fluide ;
- élever le fluide ;
- augmenter son énergie cinétique (sa vitesse ou son débit).

L'énergie requise pour faire fonctionner une pompe dépend

- des propriétés du fluide pompé (masse volumique, viscosité, compressibilité) ;
- de l'installation (longueur, diamètre et rugosité des conduites, singularités) ;
- de l'écoulement (vitesse, débit, élévation, pression).

Dans notre travail on va s'intéresser à la mise en marche et installation d'un banc d'essai disposé d'un circuit d'eau fermé, équipé de deux pompes de même type (40NVA_150_5), de différents capteurs placés en série qui permet de mesurer les paramètres du débit, pression, puissance afin de tracer les courbes caractéristiques pour une seule pompe puis le couplage, ainsi de faire une interprétation des différents résultats graphiques et analytiques trouvés en les comparant avec celles du constructeur.

A decorative border resembling a scroll, with a grey shaded area at the top right corner and a vertical scroll-like element on the left side.

Chapitre I :

Caractéristiques des pompes centrifuges

Introduction

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.

Les pompes pour les eaux usées sont des pompes roto-dynamique qui utilisent un mouvement de rotation pour communiquer l'énergie au fluide pompé. Ces pompes utilisent donc des roues tournant à une grande vitesse (1.500 à 3.000 tours/min) dans une volute.

I.1 Catégories des pompes (M.Rapinat, 2005)

Généralement les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales :

- a) **Les pompes volumétriques** : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide.
- b) **Les pompes centrifuges** : Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui ait communiqué par la force centrifuge.

Remarque :

Dans notre travail on va s'intéresser uniquement aux pompes centrifuges dont les pompes en sujet, font parties.

I.2. Les pompes centrifuges (J.Jaques ; 2001)

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.

I.2.1. Avantages et inconvénients (M.BENAZZOUZ ; 2007)

Les pompes centrifuges forment des dispositifs robustes. À caractéristiques égales, elles présentent souvent un meilleur rendement, et un fonctionnement plus régulier, sont plus fiables et moins bruyantes que les machines alternatives. Elles sont davantage compatibles avec l'utilisation de fluides chargés de particules solides. Mais elles ne sont pas auto-amorçantes.

I.2.2 Principe de fonctionnement (M.BENAZZOUZ ; 2007)

Une pompe centrifuge est constituée par :

- Un trou à aubes tournant autour de son axe
- Un distributeur dans l'axe de la roue
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelé volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur à la section est croissante.

L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixes) à la périphérie de la roue permet une diminution de la perte d'énergie. La figure I.1 explique brièvement le fonctionnement d'une pompe centrifuge.

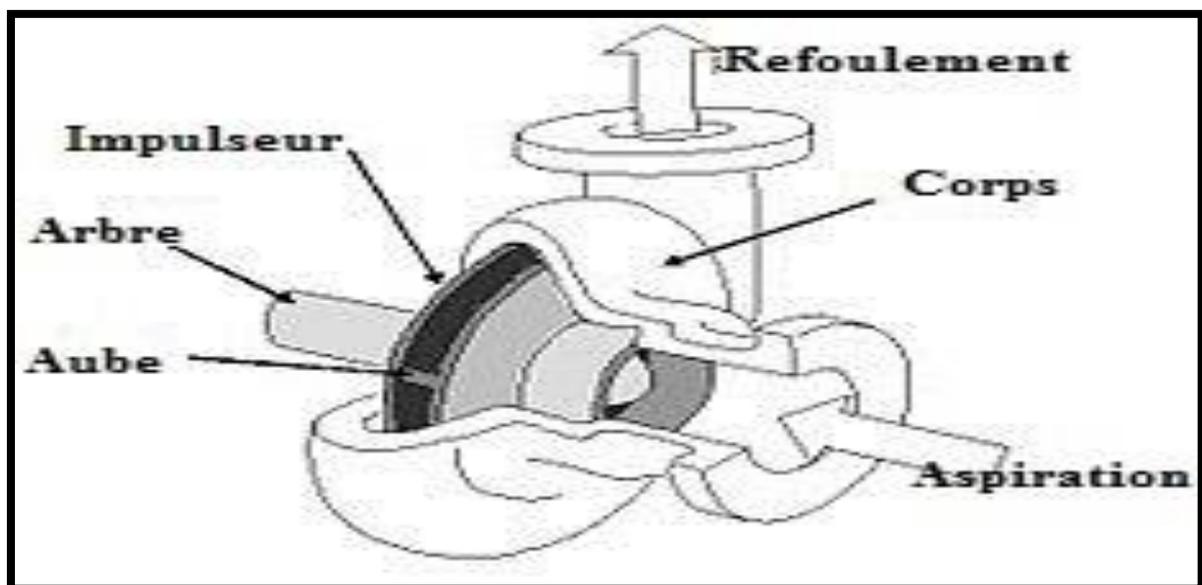


Figure I.1 un schéma explicatif du fonctionnement d'une pompe centrifuge [1]

La roue est l'organe principal dans les pompes centrifuges radiales ou semi-axiales comportant deux flasques reliés entre eux par l'intermédiaire d'un certain nombre d'aubes, pour les pompes axiales les flasques sont absents. (Rex Miller ,2004)

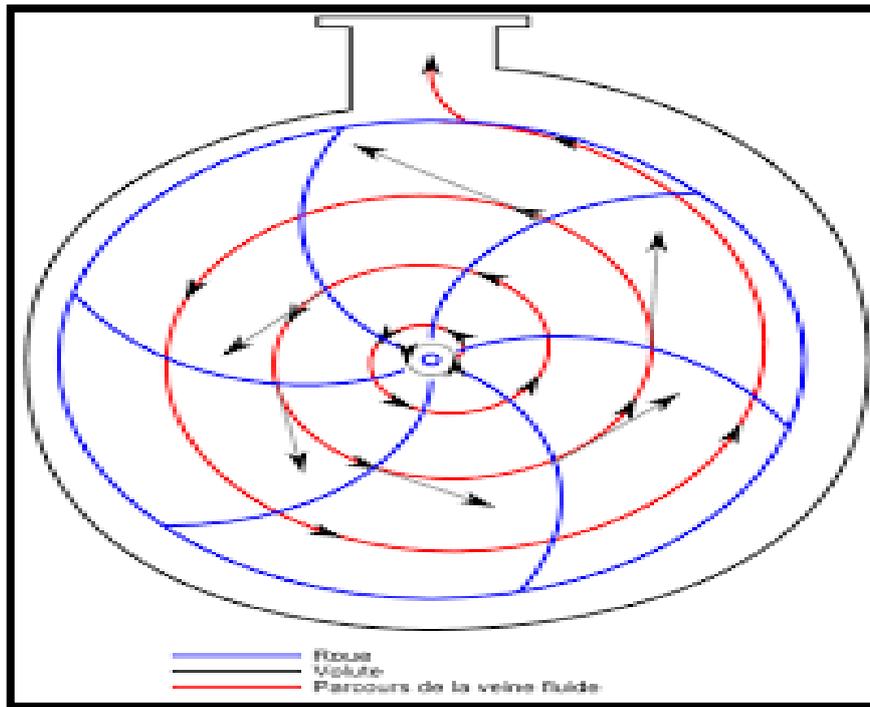


Figure. I.2 Coupe verticale de la roue d'une pompe centrifuge [1]

I.2.2.a. Amorçage (M.BENAZZOUZ ; 2007)

Les pompes centrifuges ne peuvent s'amorcer seule. L'air contenu nécessite d'être préalablement chassé. Pour éviter le désamorçage de la pompe à chaque redémarrage il peut être intéressant d'utiliser un clapet anti retour au pied de la canalisation d'aspiration.

I.2.3.Utilisation (M.BENAZZOUZ ; 2007)

Ce sont des pompes les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leurs simplicités et de leur faible coût. Néanmoins il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas :

- Utilisation de liquide visqueux
- Utilisation des liquides susceptibles (supportant pas la très forte agitation dans la pompe) ;
- Utilisation comme pompes doseuses : risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

I.2.4. Classification des pompes centrifuges (O.Kesba Khodjet ,2013)

On peut les classer de plusieurs manières, en tenant compte notamment :

❖ Du nombre de roue :

On distingue des machines monocellulaires et des machines multicellulaires.

Une turbomachine monocellulaire, comporte une seule cellule c'est à dire une seule roue dont certaines roues ont des aubages fixes comme mobile (cas d'une roue ouverte).

Dans certains cas ; Il est nécessaire de disposer plusieurs cellules actives placées en série, les fluides parcourant successivement chacune d'elle, d'où l'appellation des machines multicellulaires.

❖ De la forme des aubes de la roue :

- **Pompes centrifuges radiales** : pour lesquelles les filets de courant d'eau sont contenus dans des plans perpendiculaires à l'axe de la pompe.

- **Pompes centrifuges axiale** : pour les quelle les filets de courant sont axiaux.

- **Pompes semi axiales** : (hélico-centrifuges) : Dont les filets sont situés sur des surfaces dont la méridienne est inclinée par rapport à l'axe de la pompe. C'est à dire semi-hélicoïdale (ni axiale, ni radiale).

❖ De la direction de l'axe :

On peut avoir plusieurs dispositions :

- **Pompes à axe horizontal** : conçues pour être disposée en surface, l'entretien et le démontage de ces pompes sont alors simplifiées.

- **Pompes à axe vertical** : ce sont des pompes immergées spécialement conçues pour l'équipement des puits profonds. Elles peuvent être commandées par un moteur placé en surface ou par un moteur immergé.

❖ De la position de la pompe par rapport au niveau d'aspiration :

Selon la position de l'axe de la pompe par rapport au plan d'aspiration, on distingue :

- Des installations des pompes à dépression (en aspiration).
- Des installations des pompes en charge.

- Des installations des pompes type siphon.

I.3.Caractéristiques des pompes (M.Rapinat,2005)

Les principales courbes qui caractérisent une pompe centrifuge et qui expriment ses performances sont celles énumérées précédemment ces courbes sont données pour une vitesse de rotation donnée.

Pour tracer ces courbes, il faut au minimum huit (8) points y compris le point de barbotage ($Q = 0$) et celui correspondant au débit maximal.

✓ Hmt (Hauteur manométrique total) (M.Rapinat,2005)

L'énergie que fournit la pompe au liquide se présente sous deux formes :

- **L'énergie de pression :** Correspond à l'augmentation de la pression dans la pompe.
- **L'énergie cinétique :** Correspond de la vitesse du liquide entre l'aspiration et le refoulement.

La Hmt s'exprime en mètre de liquide sous la formule suivante

$$H_{mt} = \frac{P_r - P_a}{\gamma} + \frac{V_r^2 - V_a^2}{2g} + Z, [m] \quad (I.1)$$

P_r : la pression de refoulement mesuré par le manomètre (bar)

P_a ; la pression d'aspiration mesurée par le vacumètre (bar)

V_r = vitesse de l'eau au refoulement (m/s)

V_a : la vitesse de l'eau à l'aspiration (m/s)

Z : la différence de niveau entre le manomètre et le vacumetre (m)

Dans de nombreux cas la différence d'énergie cinétique est négligeable au regard de l'augmentation de la pression.

✓ Puissance absorbée (Puissance mécanique d'entrée)

(O.Kesba Kjodjet,2013)

$$P_a = \frac{2\pi\pi n}{60} (w) \quad (I.2)$$

T : couple (N.m)

n : vitesse de rotation du moteur (tr/mn)

✓ **Puissance hydraulique (puissance utile) (J.Jaques ; 2001)**

La puissance hydraulique est la puissance fournie au fluide par la pompe. Elle s'exprime en W ou le Kw.

$$P_u = \omega * Q * H \quad (w) \quad (I.3)$$

Q : débit (m³/s) ;

H : Hauteur (m) ;

ω : Poids volumique de l'eau (N/m³).

✓ **Rendement global (M.BENAZZOUZ, 2007)**

Le rendement global permet de quantifier la transformation de l'NRJ électrique en NRJ hydraulique. Il s'exprime en %.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{9,81Q.H}{P_a} 100, (\%) \quad (I.4)$$

Pa : puissance absorbée ; (w)

Pu : puissance utile (puissance hydraulique) ; (w)

I.4.Couplage de pompes en parallèle (Manuel des pompes ; Grandfos)

✓ **Calcul de la Hmt**

La Hmt totale du couplage de deux pompes identique en parallèles est le même que celle d'une seule pompe car la différence de pression est la même pour les deux pompes

✓ **Calcul du débit**

Le débit du couplage de deux pompes identique en parallèle est égal à la somme du débit des deux pompes

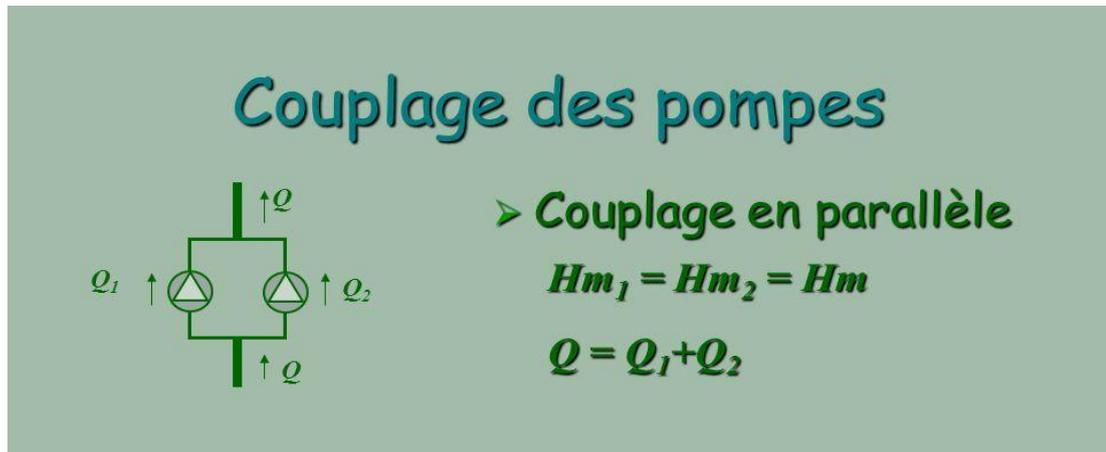


Figure.I.3. Schéma explicatif d'un couplage de deux pompes identiques en parallèle [2]

✓ Calcul du rendement (M.Rapinat, 2005)

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (I.6)$$

La puissance électrique du couplage est la somme des deux puissances électriques des pompes A et B.

Remarque : Le wattmètre calcule automatiquement la somme des puissances électriques absorbées quand les deux pompes sont en fonctionnement.

I.4.1 Courbe de performance de deux pompes en parallèle (J.Jaques, 2001)

Un tel couplage est utilisé pour l'accroissement du débit : deux aspirations pour un seul refoulement.

La courbe caractéristique $H=f(Q)$ de l'ensemble est obtenue en traçant une courbe caractéristique pour une seule pompe puis en ajoutant les valeurs du débit de la deuxième pompe (**Figure.I.4**).

Du point de vue pratique, il faut toutefois s'assurer que les pompes soient susceptibles de supporter les pressions auxquelles elles doivent être soumises.

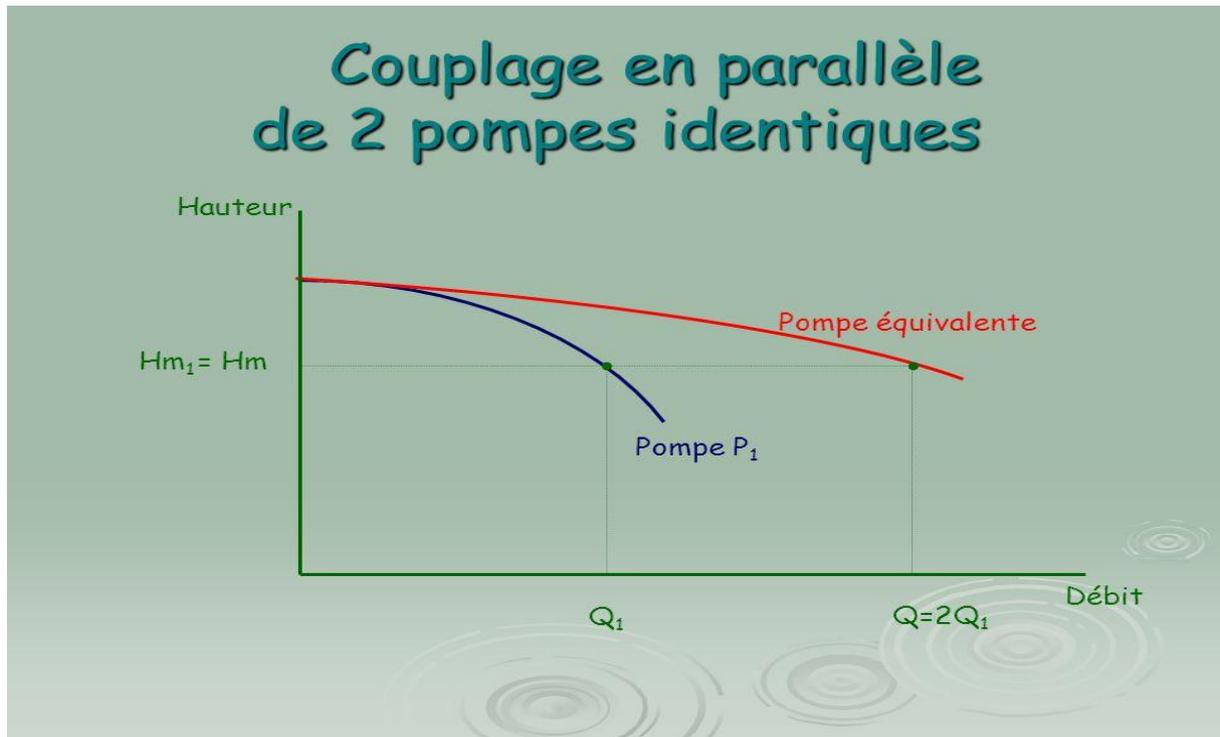


Figure.I.4. Courbe résultante $H=f(Q)$ de deux pompes identiques montées en parallèle. [1]

I .5. Modes de réglage du débit (O.Kesba Khodjet, 2013)

C'est un procédé qu'on fait pour équilibrer le fonctionnement de la pompe selon la demande du réseau, on distingue plusieurs types de mode de réglage comme :

- 1- **Réglage qualitatif** : Il consiste à varier la vitesse de rotation de la pompe si cela est possible (un moteur à vitesse variable), jusqu'à atteindre le débit demandé.
- 2- **Réglage quantitatif (Vannage)** : C'est le changement direct du débit à l'aide du robinet vanne de refoulement.
- 3- **Augmentation des pertes de charge dans les conduites de refoulement** en augmentant les singularités (des diffuseurs ou bien des rétrécissements brusques, les coudes...). ou augmenter la longueur de la conduite...
- 4- **Diminution des heures de pompage** : Si la pompe refoule dans un réservoir.
- 5- **Changement de la pompe.**
- 6- **Réglage en canard** : Avec renvoi à l'aspiration une partie du débit comme le montre la figure en dessous. (M.BENAZZOUZ,2007)

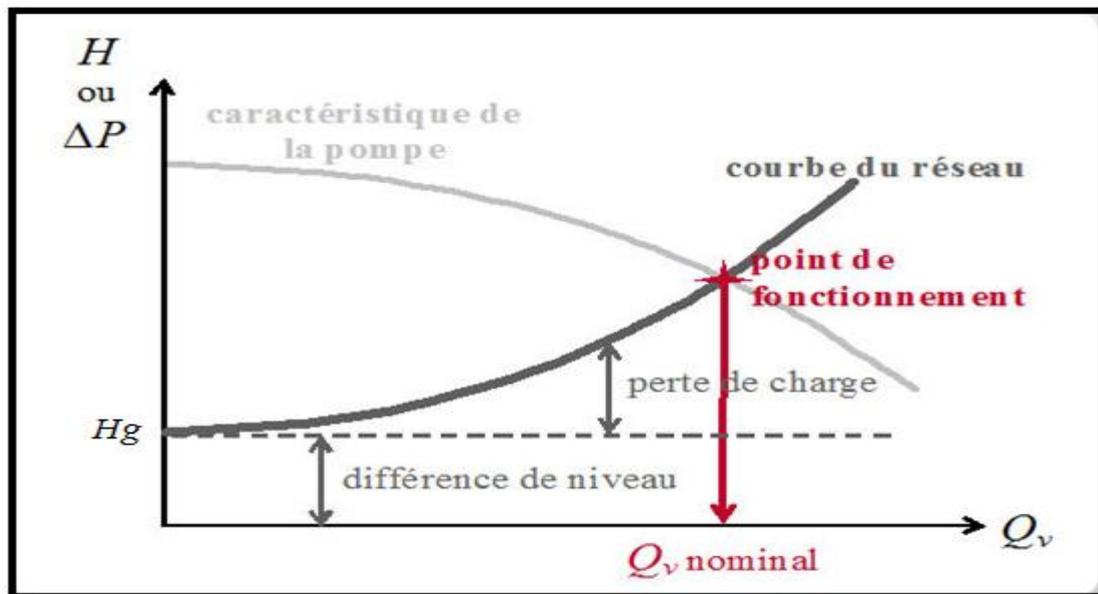


Figure I.6. Schéma montrant le point de fonctionnement [1]

I.7. Exemple d'un couplage de pompes identiques

- ✓ Station de dessalement des eaux de mer de Tizirt (groupes électropompes)
 - 3 pompes identiques de types centrifuges montées en parallèle d'une capacité de 80m³/h chacune pour aspirer l'eau décantée et le refouler vers la station de traitement par des conduites en PVC afin de rentrer l'eau dans la station.



Figure I.7. Montage de trois pompes identiques en parallèle

Puis on a le pompage à haute pression qui permet de refouler les eaux vers les osmoseurs afin d'enlever la salinité de l'eau la figure en dessous illustre le couplage des pompes à hautes pression ainsi que les osmoseurs

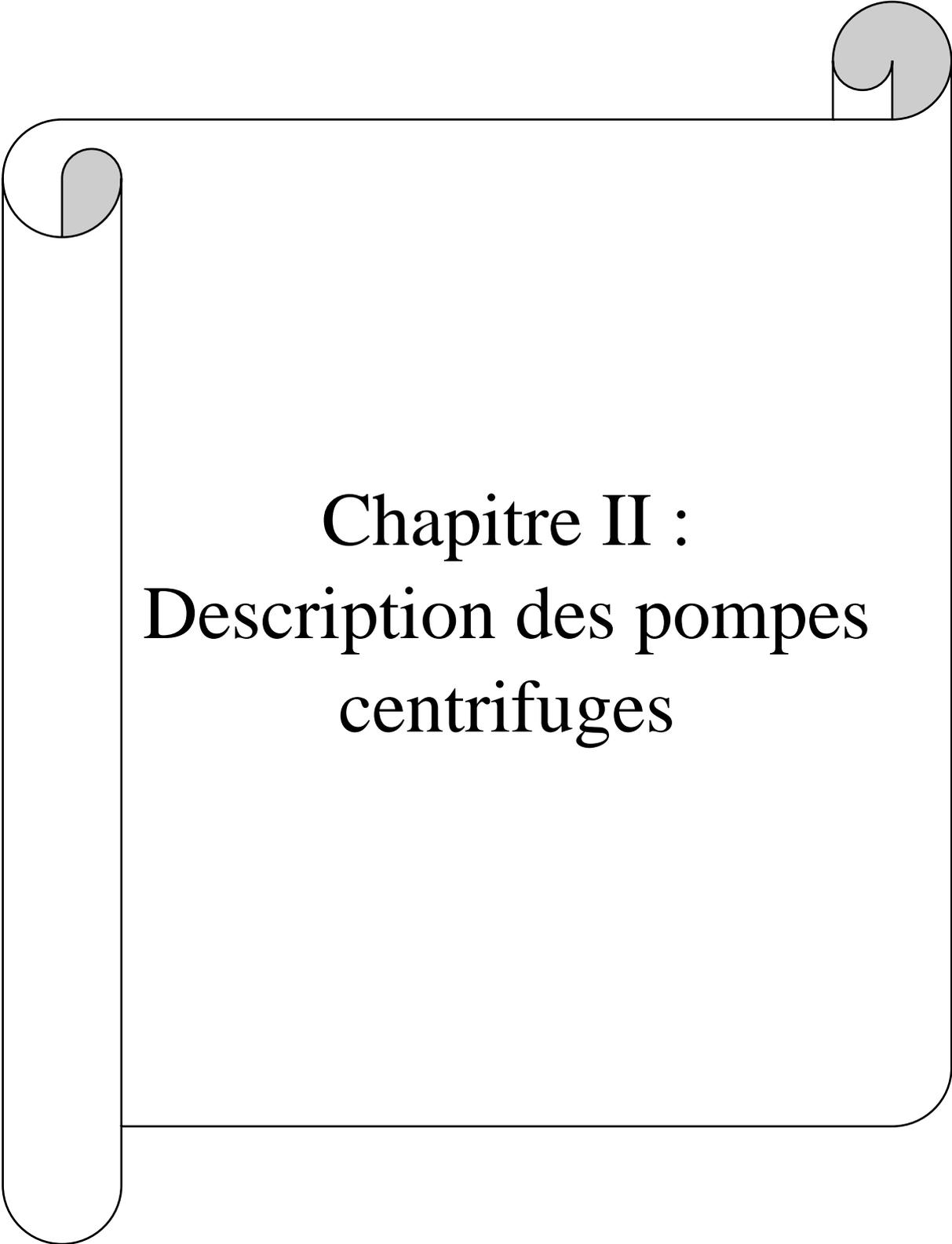


Figure I.8. Le couplage en parallèle des pompes à hautes pression et les osmoseurs

Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu étudier les principales caractéristiques des pompes centrifuges. Ainsi on a vu le principe de fonctionnement de la station de dessalement d'eaux de mer pour voir les différentes utilisations des pompes.

On va s'intéresser dans les chapitres qui suivent sur le couplage de deux pompes centrifuges identiques en parallèle ainsi aux résultats obtenus par cette manipulation



Chapitre II :

Description des pompes centrifuges

Introduction

POVAL, Entreprise de production des pompes et des vannes, intervient dans deux domaines stratégiques pour l'Algérie qui sont les hydrocarbures et plus particulièrement l'EAU

POVAL intervient au niveau de la distribution de l'eau en équipant les systèmes d'irrigation avec des produits fabriqués par l'Entreprise comme les pompes et les composants de canalisations (vannes et accessoires).

Par ailleurs, en matière de redéploiement et de restructuration, POVAL, initie un programme de filialisation par produits porteurs et ce notamment sur

- Les pompes immergées et les pompes d'assainissement
- Les pompes et les vannes hydrocarbures, (catalogue POVAL)

II.1 Gamme de production de POVAL (Catalogue POVAL)

Depuis plus de 50 ans, le métier de POVAL réside en la recherche, la production et la commercialisation de matériels hydrauliques, leurs composants et leurs accessoires.

A travers leur gamme de produits très variée, principalement fabriquée sous licences d'origine européennes, ils répondent à l'essentiel des besoins des trois grands secteurs que sont l'Agriculture, l'Hydraulique et les hydrocarbures.

A l'heure actuelle ils réalisent :

- Des pompes horizontales, Verticales et Immergées.
- Des groupes électropompes et motopompes.
- Des Vannes et Pompes hydrocarbures.
- Un matériel de lutte contre l'incendie.
- Des accessoires de conduites.
- Matériel de voirie.

Se fait un devoir de fournir un produit de qualité (selon normes internationales).

Toutes les phases de production subissent un contrôle rigoureux (matières, Produit caractéristiques, expédition).

Pour cela l'unité Pompes Berrouaghia dispose d'un Atelier de contrôle et Service Après-Vente.

La qualité de leurs produits et de leurs prestations font aujourd'hui de POVAL, l'un des leaders maghrébins dans son domaine.

II .2 Les pompes en sujet (40 NVA – 150 – 5) (Catalogue POVAL)

II .2.1 APPLICATION

Les Pompes N.V.A sont prévues pour le refoulement des fluides non agressifs ayant les caractéristiques suivantes :

- Température maximale de 80°
- Des additions mécaniques d'une teneur de 2% et une granulométrie de 0,5 mm.

Elles sont généralement utilisées pour :

- l'agriculture
- l'adduction d'eau
- La distribution d'eau potable et industrielle,
- le Réseau Incendie.

II .2.2 CONSTRUCTION (Catalogue POVAL)

La N.V.A. est composée de :

- Un corps de pompe en fonte avec tubulaire à bride place en position radiale, avec possibilité sur demande d'une orientation horizontale ;
- Une roue en fonte de type fermé, équilibrée dynamiquement avec anneaux d'étanchéité interchangeable pour la compensation des forces axiales ;
- Un palier à roulement à billes avec réserve de graisse ;
- L'étanchéité est assurée par une garniture à tressé.

II .2.3 AVANTAGES (Catalogue POVAL)

- Se distinguent par leur conception simple et légère ;
- Maintenance aisée ;
- Sur demande peuvent être montées sur des socles mécano-soudé, ou sur des socles moulés permettant une bonne absorption des vibrations ou bien sur chariot.

II .2.4 Caractéristiques électriques (Catalogue POVAL)

Moteur triphasé asynchrone

Type : B3

Protection : IP 44

Classe d'isolation : F

Puissance : de 2.2 kw à 110 kw

Vitesse : 1450 ou 2900 tr/mn

Raccordement selon la norme NFE 29282 PN 10

Désignation : Pompe monocellulaire horizontale

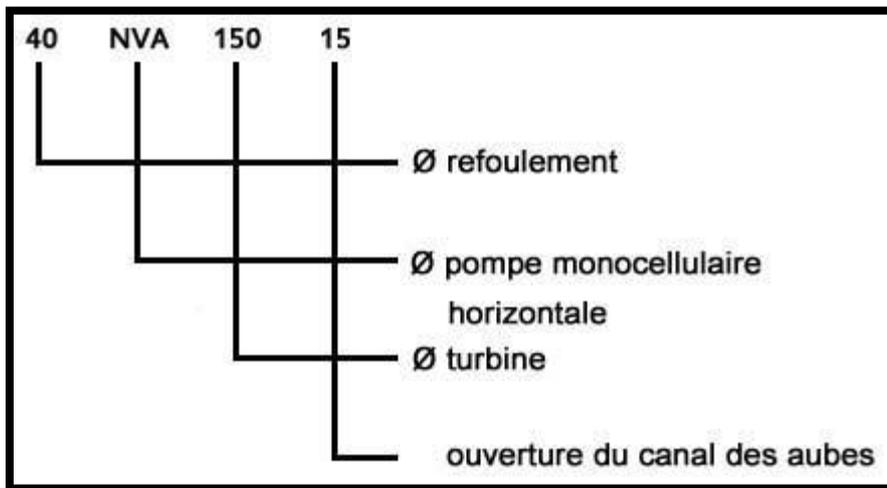


Figure II.1 : signification de la nomination de la pompe (40 NVA – 150 – 5).

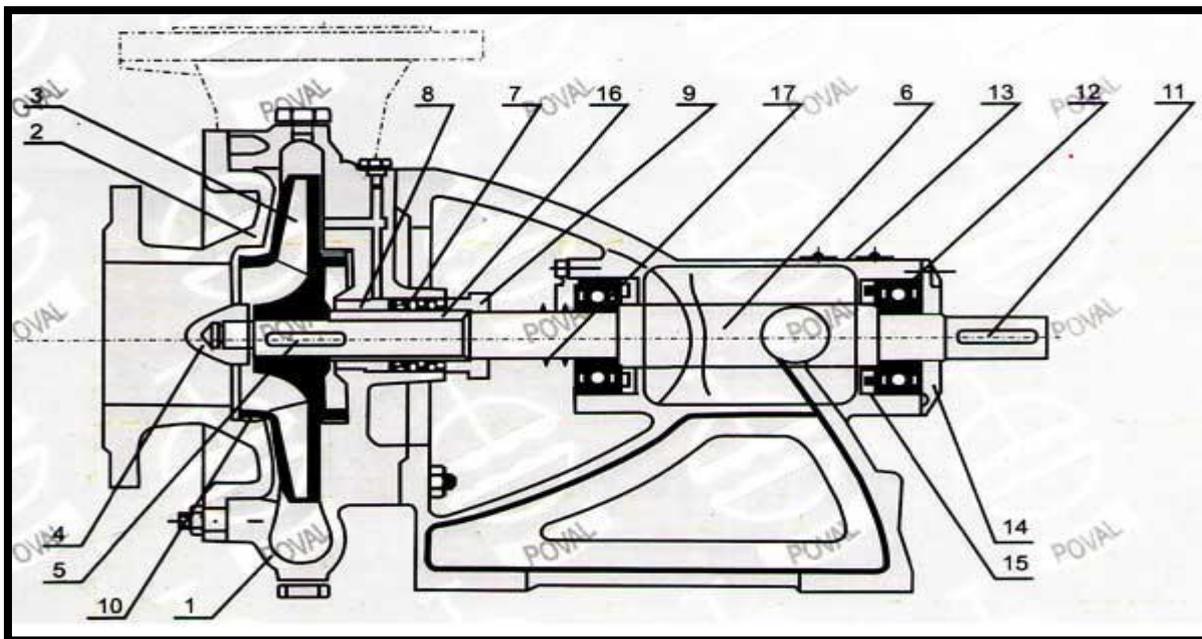


Figure II.2 : Coupe verticale de la pompe (40 NVA – 150 – 5).

10- Bague d'étanchéité	1 - Corps de pompe
11- Clavette d'accouplement	2 - Couvercle d'aspiration
12- Roulement à billes	3 - Roue centrifuge
13- Corps du chevalet	4 - Ecrou de roue centrifuge
14- Couvercle de palier	5 - Clavette de roue centrifuge
15- Tôle de recouvrement	6 - Arbre
16- Douille de protection	7 - Garniture de presse-étoupe
17- Racleur	8 - Douille
	9 - Couvercle de presse-étoupe

Tableau II.1 : Caractéristiques de la pompe (40 NVA – 150 – 5). (Catalogue POVAL)

η %	Poids Kg	Dr/P Mm/bar	Da/P Mm/bar	N Min ⁻¹	NPSH m	H m	Q m ³ /h	Pmot KW	Type
61	23.1	40/10	50/10	2900	2.7	23.5	18	2.2	40 NVA

II.3. Les courbes caractéristiques fournies par le constructeur (Catalogue POVAL)

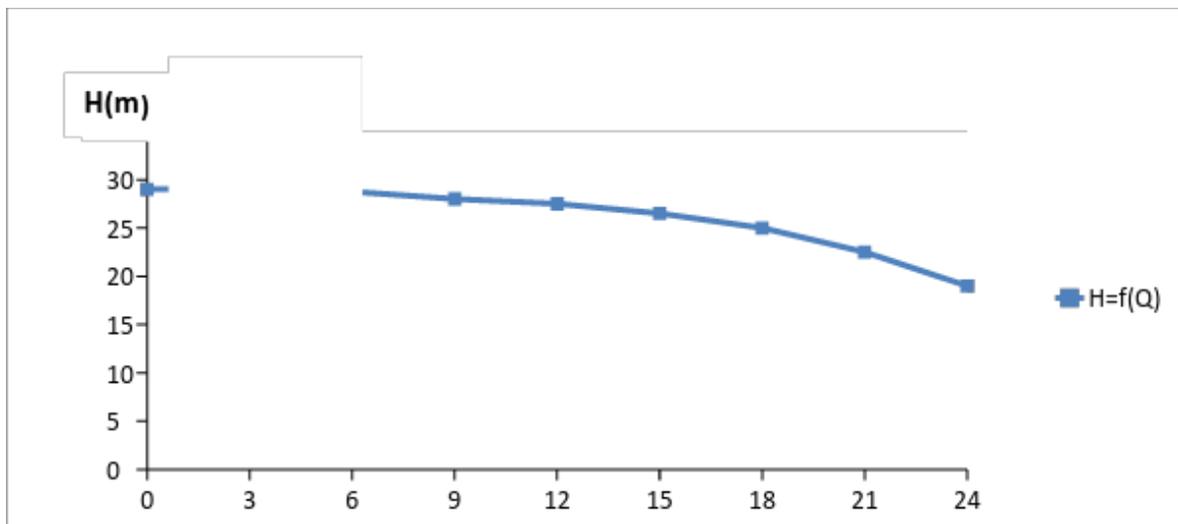


Figure II.3 : courbe caractéristique Hmt (m) = f(Q) (m³/h) de la pompe (40 NVA – 150 – 5)

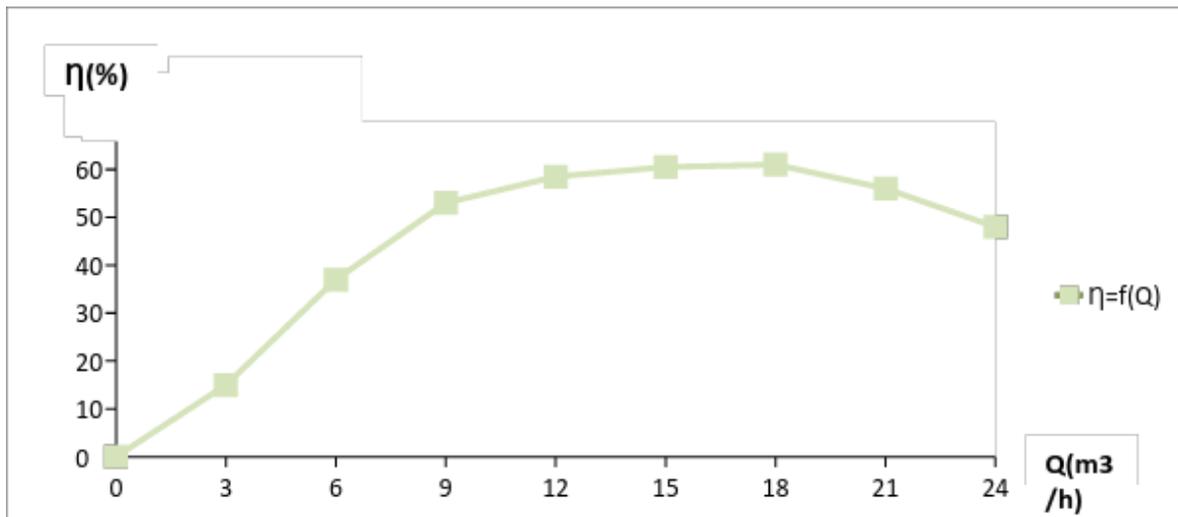


Figure II.4 courbe caractéristique $\eta(\%)=f(Q)$ (m³/h) de la pompe (40 NVA – 150 – 5)

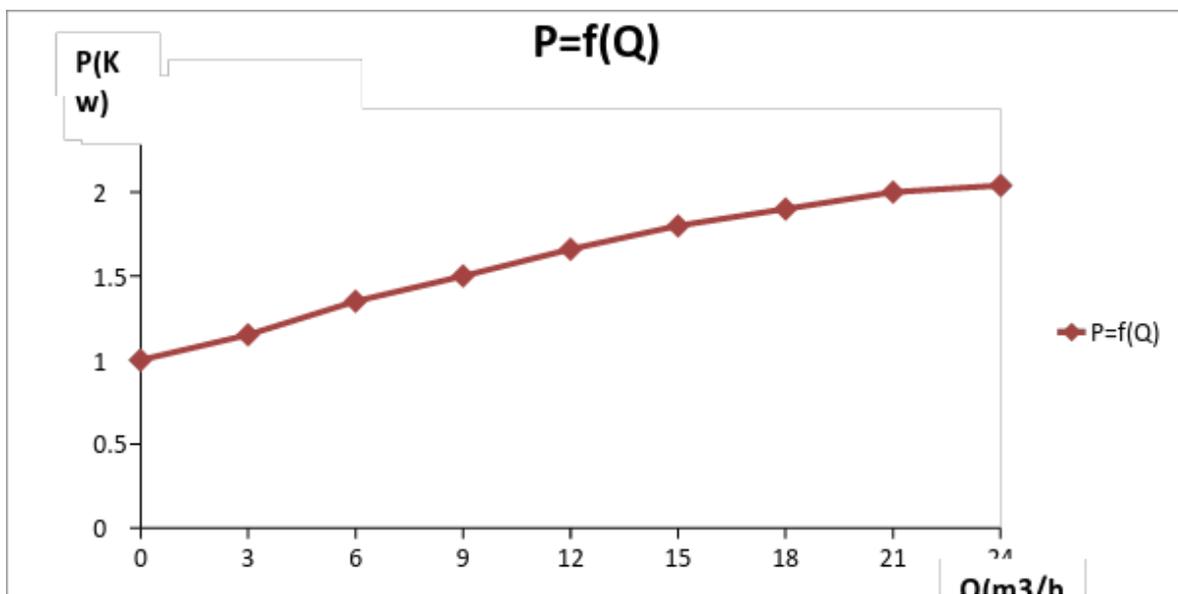


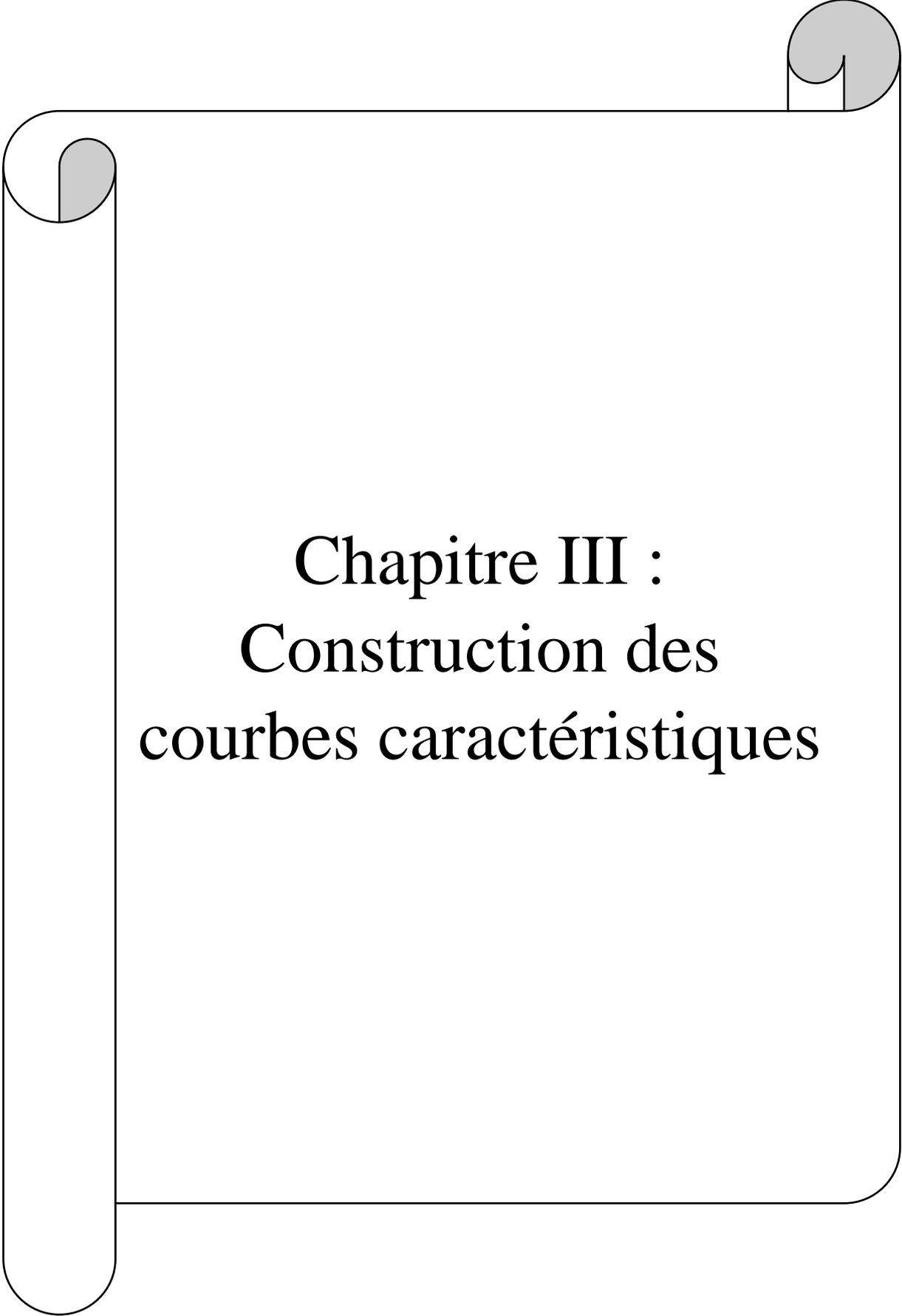
Figure II.5 courbe caractéristique $P_{abs}(kw)=f(Q)$ (m³/h) de la pompe (40 NVA – 150 – 5).

Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons pu avoir une vision approfondie des pompes (40 NVA – 150 – 5) à savoir :

- Les caractéristiques électriques ;
- Les paramètres hydrauliques ;
- Les courbes caractéristiques fournies par le constructeur.

Ces données vont nous guider vers une bonne installation de notre banc d'essai, ainsi pour avoir de bons résultats expérimentaux.



Chapitre III :
Construction des
courbes caractéristiques

Introduction

Ce chapitre concerne l'étude et l'interprétation des différents résultats issus de la réalisation d'un banc d'essai au niveau de la bache d'eau à proximité du laboratoire de pompage avec l'ensemble des outils et appareils de mesure nécessaires afin d'atteindre notre objectif.

III .1 But de l'expérimentation

Notre travail consiste à la construction et l'interprétation des courbes caractéristiques des deux pompes en sujet (40 NVA – 150 – 5) montées en parallèle à savoir :

- $H=f(Q)$;
- $\eta=f(Q)$;
- $P=f(Q)$.

NB : La construction des courbes caractéristiques sera faite à partir des lectures des appareils montés sur l'installation.

III.2 Installation du banc d'essai

Le banc d'essai consiste en un circuit fermé (l'aspiration et le refoulement se font dans la même bache d'eau d'une capacité de 15m^3 composé des appareillages suivants :

- Deux pompes identiques type (40 NVA – 150 – 5) ;
- Un débitmètre volumétrique (compteur) pour la mesure du débit ;
- Un vacumètre pour la mesure de la pression d'aspiration ;
- Un manomètre pour la mesure de la pression de refoulement ;
- Deux wattmètres pour la mesure de la puissance absorbée des pompes.

Pour avoir une bonne installation en marche, on a utilisé différents accessoires à savoir :

- Clapet de pied crépine D50mm ;
- Conduite galvanisée D50mm pour l'aspiration ;
- Conduite galvanisée D40mm pour le refoulement ;
- Coudes 90° de différents diamètres D50mm et D40mm ;
- Deux vannes d'arrêt D50mm et D40mm ;
- Câbles électriques.



Vacumètre



Débitmètre volumétrique



Manomètre



Wattmètre

Figures III.1 : Différents appareillages du banc d'essai.

III.3. Manipulation

Notre manipulation va se porter sur deux étapes à savoir :

- Mise en marche de l'installation avec une seule pompe ;
- Mise en marche de l'installation avec les deux pompes identiques montées en parallèle.

Et pour ce faire, on a :

- Vérifié que l'armoire électrique va assurer la mise en marche des pompes en sujet et que les câbles électriques sont bien placés pour avoir les lectures du Wattmètre ;
- Vérifié la fiabilité des lectures sur les différents appareils de mesures ;
- Vérifié l'ouverture des deux vannes d'aspiration et de refoulement avant la mise en marche des pompes ;
- Fait l'amorçage des deux pompes en sujet ;
- Mit en marche des pompes ;

NB : La lecture sur les différents appareils de mesure va se faire selon la variation de l'ouverture de la vanne d'aspiration sur onze (11) points de la fermeture complète jusqu'à l'ouverture maximale avec un laps de temps de 30 secondes entre chaque point de l'essai d'une seule pompe puis on ouvre la vanne d'aspiration de la 2 eme pompes pour avoir les résultats du couplage



Figure III.3 : installation du banc d'essai avec les deux pompes identiques montées en parallèle.

III.4 Conception de l'armoire électrique

Principe de démarrage : démarrage direct étoile *.

Matériel utilisé :

- Un sectionneur porte fusible de type AM (accompagnement moteur) 6A : pour la protection contre le court-circuit ;

- Un contacteur D09 ;
- Un relais thermique : pour protéger les pompes contre les surcharges faibles et prolongées ;
- Bouton poussoir arrêt avec lampe de signalisation ;
- Bouton poussoir marche avec lampe de signalisation ;
- Bornes pour connexion ;

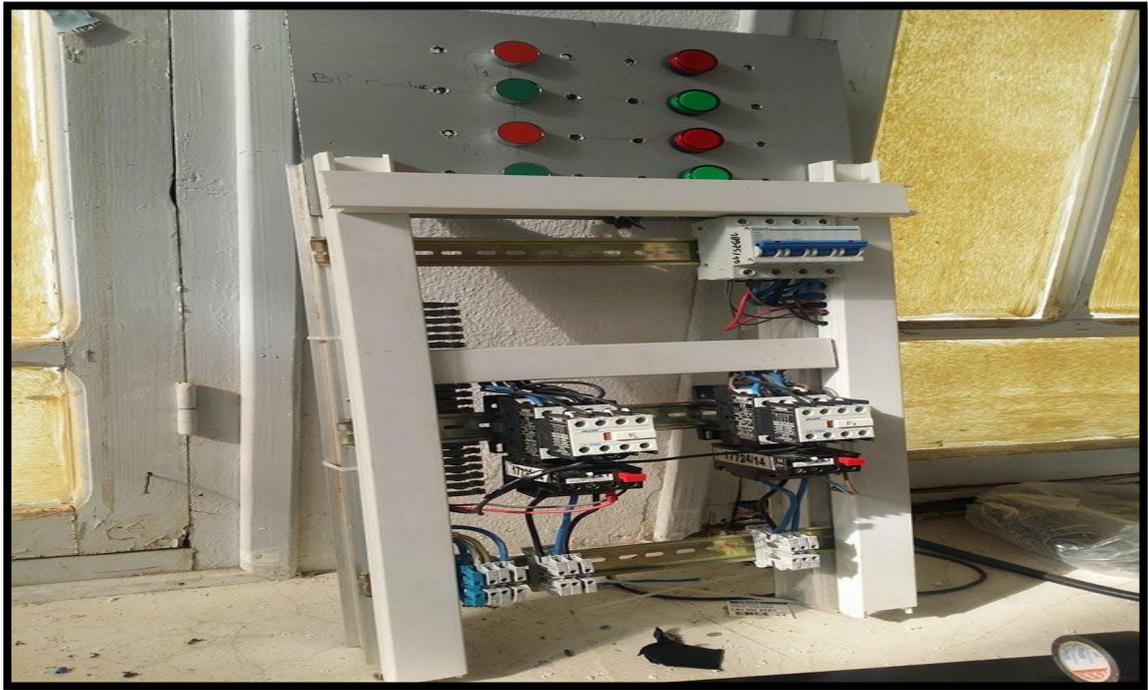


Figure III.4 : Armoire électrique

III.5. Formules employées pour la détermination des performances des pompes

➤ Hauteur manométrique totale (A.LENCASTRE, 2008)

$$H_{mt} = \frac{P_r - P_a}{\omega} + \frac{V_r^2 - V_a^2}{2g} + Z \quad \text{III.1}$$

$$\frac{P_r}{\omega} = \frac{P_{at}}{\omega} + \frac{P_{man}}{\omega} \quad \text{III.2}$$

$$\frac{P_a}{\omega} = \frac{P_{at}}{\omega} - \frac{P_{vac}}{\omega} \quad \text{III.3}$$

Avec :

$\frac{P_a}{\omega}$: Pression d'aspiration (m) ;

$\frac{P_r}{\rho}$: Pression de refoulement (m) ;

Z : distance entre la prise du vacumètre et celle du manomètre = 25cm ;

V_r : vitesse de refoulement (m/s) ;

V_a : Vitesse d'aspiration (m/s) ;

On aura :

$$H_{mt} = \frac{P_{man} + P_{vac}}{\rho g} + \frac{V_r^2 - V_a^2}{2g} + Z \quad \text{III.4}$$

Avec :

H : hauteur manométrique (m) ;

P : masse volumique de l'eau = 1000 kg/m³ ;

g : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s² ;

P_{man} : pression de refoulement donnée par le vacumètre (bar) ;

P_{vac} : pression d'aspiration donnée par le manomètre (bar).

❖ Puissance absorbée (H.Michalet ,2003)

La puissance absorbée est donnée par l'expression suivante :

$$P_{abs} = \frac{\sqrt{3}}{1000} * U * I * \cos\varphi \quad \text{III.5}$$

Avec :

P_{abs} : puissance absorbée (Kw) ;

U : tension aux bornes du moteur (V) ;

I : Intensité du courant délivré au moteur (A) ;

$\cos\varphi$: Facteur de puissance. (C. David, 2014)

NB : La lecture du Wattmètre va nous donner directement la valeur de la puissance absorbée.

Puissance utile (Manuel des pompes, Grundfos)

Elle donnée par la formule suivante :

$$Pu = \omega * Q * H \quad \text{III.6}$$

Avec :

Q : débit (m³/s) ;

H : Hauteur (m) ;

ω : Poids volumique de l'eau (N/m³).

Rendement (M.Rapinat,2005)

Le rendement est donné par l'expression suivante :

$$\eta = \frac{Pu}{Pabs} * 100 \quad \text{III.7}$$

Avec :

η : rendement en pourcentage (%);

Pu: puissance utile (Kw);

Pabs: puissance absorbée (Kw).

III.6 Calcul des paramètres des pompes en sujet

Après avoir effectué les différents essais des deux installations que ce soit pour une seule pompe ou bien pour les deux pompes montées en parallèle, on a pu déterminer les différents paramètres qui vont nous permettre de construire les courbes caractéristiques.

Les différents paramètres calculés sont les suivants :

- V (m³) : volume d'eau refoulé. ;
- T (s) : le temps pris entre les points de mesure ;
- Q (m³/s) : Le débit des pompes ;
- Vref (m/s) : la vitesse de refoulement ;
- Vasp (m/s) : la vitesse d'aspiration ;
- Pman (bar) : la lecture du manomètre ;
- Pvac (bar) : la lecture du vacumètre ;
- Hmt (m) : la hauteur manométrique totale des pompes ;
- Pu (Kw) : la puissance utile des pompes ;
- Pabs (Kw) : la puissance absorbée par les pompes ;
- η (%): le rendement des pompes.

Remarque : Les résultats de calcul des différents paramètres pour les deux installations sont résumés dans les tableaux en dessous.

Tableau III.1 : Résultats obtenus des différents paramètres de l'installation avec une seule pompe.

Pts	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V (m ³)	0	0,056	0,068	0,097	0,11	0,123	0,136	0,142	0,16	0,174	0,184
T(s)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Q (m ³ /s)	0	0,00187	0,00227	0,00323	0,00367	0,0041	0,00453	0,00473	0,00533	0,0058	0,00613
V ref (m/s)	0	1.48	1.81	2.57	2.91	3.26	3.61	3.76	4.24	4.62	4.88
V asp (m/s)	0	0.95	1.15	1.65	1.87	2.09	2.31	2.41	2.72	2.95	3.19
P _{man} (m/s)	2.60	2.40	2.20	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	0.80	0.60
P _{vac} (m/s)	0.08	0.12	0.14	0.16	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32
Hmt (m)	27.57	26	24.2	22.46	20.9	19.12	17.35	15.56	13.84	12.10	10.34
P _u (kw)	0.00	0.48	0.55	0.73	0.77	0.78	0.79	0.73	0.74	0.7	0.63
P _{abs} (Kw)	1.68	1.74	1.77	2.1	2.16	2.22	2.28	2.29	2.31	2.34	2.37
η (%)	0.00	27.9	30.99	34.59	35.46	35.31	34.51	32.30	31.95	30	26.77

Tableau III.2 : Résultats obtenus des différents paramètres de l'installation des deux pompes montées en parallèles.

Pts	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V (m3)	0	0,09	0,14	0,185	0,21	0,235	0,25	0.3	0,314	0,33	0,34
T(s)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Q (m3/s)	0	0,003	0,00467	0,00617	0,007	0,00783	0,00833	0.01	0.01047	0,011	0,01133
V ref (m/s)	0	2.38	3.71	4.91	5.57	6.23	6.63	7.96	8.33	8.75	9.02
V asp (m/s)	0	1.53	2.38	3.14	3.57	3.99	4.24	5.09	5.53	5.6	5.77
P man (bar)	2.60	2.40	2.20	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	0.80	0.70
P vac (bar)	0.08	0.12	0.14	0.16	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32
Hmt (m)	27.57	26.1	24.51	22.99	21.57	19.95	18.29	17.04	15.38	13.77	13.09
Pu (kw)	0.00	0.78	1.14	1.41	1.51	1.56	1.52	1.70	1.61	1.51	1.48
Pabs (Kw)	1.68	1.86	1.98	2.04	2.10	2.16	2.16	2.16	2.22	2.22	2.22
η (%)	0.00	21,06	28,89	34,75	34,95	35,88	34,80	37,37	34,86	32,37	31,32

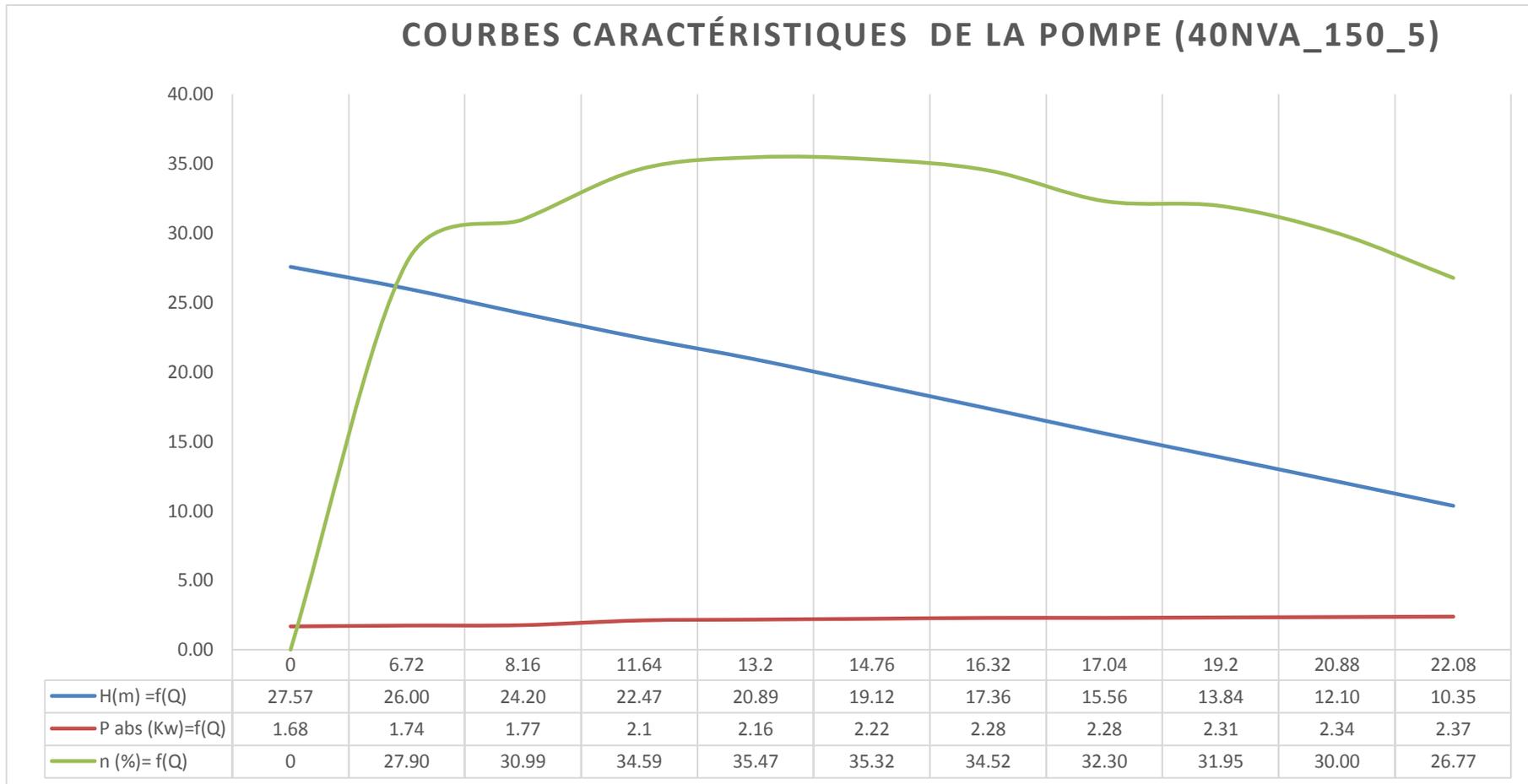


Figure III.5 : Courbes caractéristiques de la pompe (40 NVA – 150 – 5).

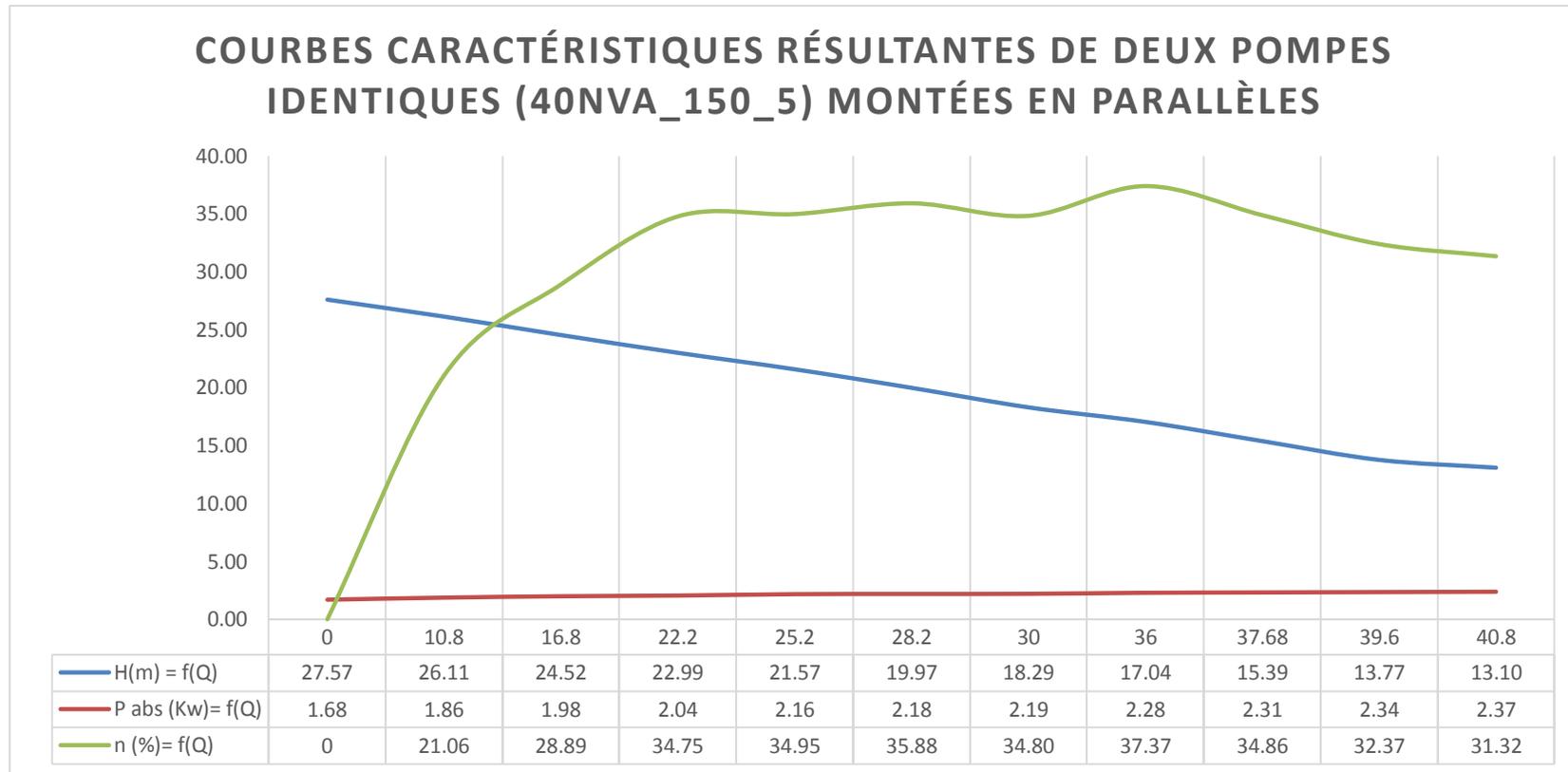


Figure III.6 : Courbes caractéristiques résultantes des deux pompes identiques (40 NVA – 150 – 5) montées en parallèles.

III.7. La plage de bon fonctionnement de la pompe 40NVA_150_5

Le point de fonctionnement d'une pompe indique le débit qu'elle est capable de fournir pour une HMT donnée.

- Pompe seule

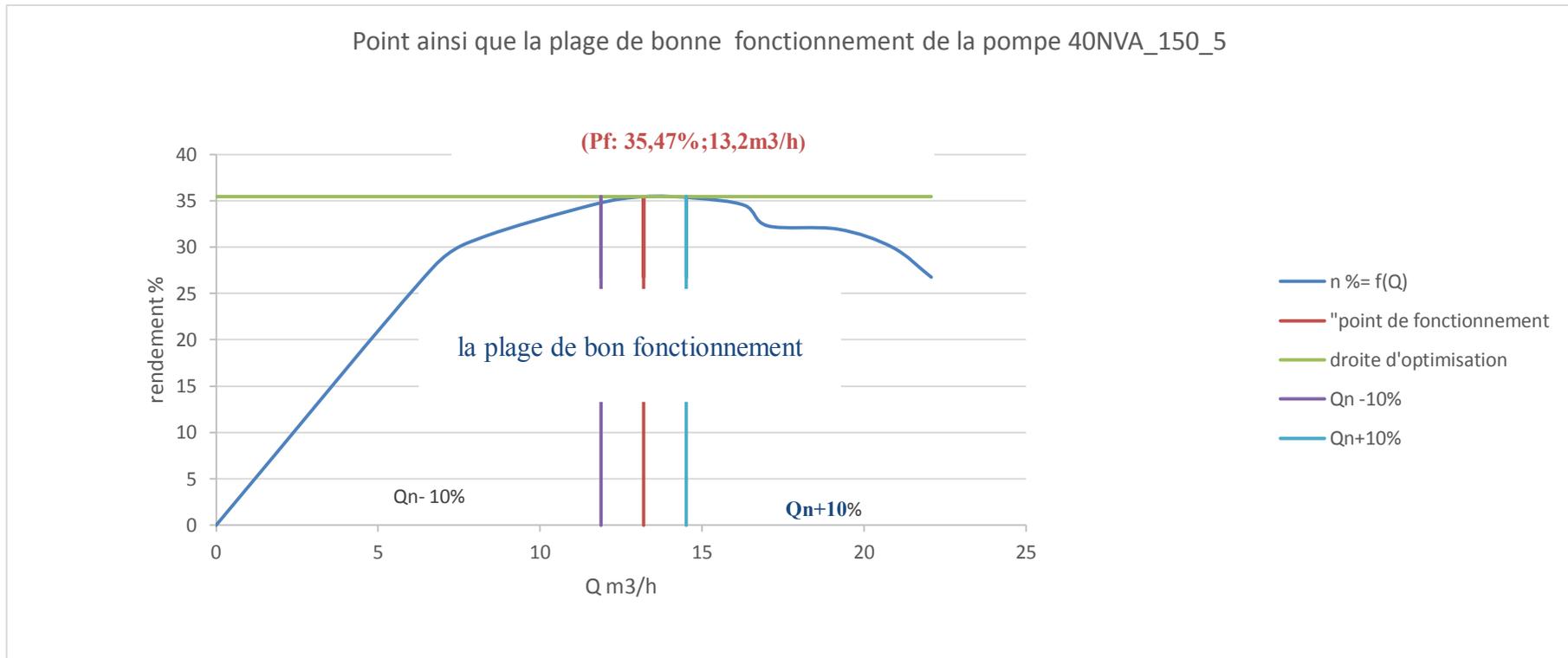
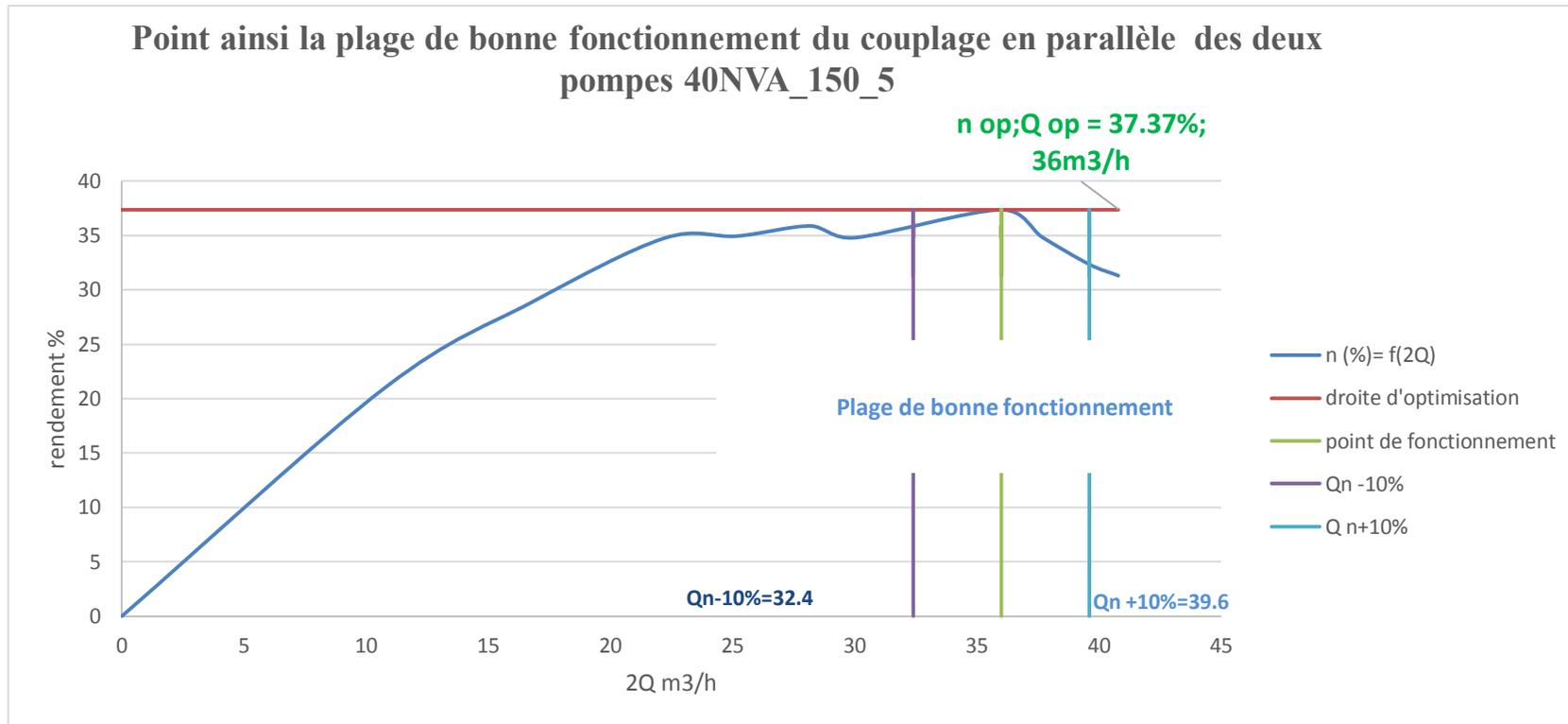


Figure III.6 : La plage de bon fonctionnement de la pompe 40NVA_150_5

- Pompes montées en parallèles



FigureIII.7 : La plage de bon fonctionnement du couplage en parallèle

Interprétation :

On remarque que :

- le rendement pour des deux installations est le même avec une erreur légère due à la lecture des appareils
- le débit optimal pour le couplage en parallèle est le double de celui d'une seule pompe

III.7 Analyse graphique des résultats obtenus

Nous allons tracer les différentes courbes caractéristiques obtenus expérimentalement avec celles données par le constructeur en utilisant des valeurs du débit d'un intervalle de 3 allant de (0-24 m³/h) comme mentionné dans l'annexe

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau et les figures ci-dessous :

Q con (m ³ /h)	0	3	6	9	12	15	18	21	24
H cons (m)	29.5	29	28	27	26	25	23	21	20
H exp (m)	27.56	26.2	25.8	24.2	22.5	19.56	17.4	15	12
n cons (%)	0	15	39	52	58	59	59.5	53	47
n exp (%)	0	12	27.9	32	35	35	32	30	24
Pcon (kw)	1	1.2	1.38	1.5	1.62	1.83	1.9	2	2.04
Pexp (kw)	1.6	1.7	1.75	1.86	2	2.2	2.28	2.38	2.37

1. Installation n°1 (Banc d'essai avec une seule pompe)

Après avoir terminer notre manipulation et enregistrer les différents paramètres tels le débit, la Pman, Pvac et la puissance absorbée :

Nous avons obtenus les résultats suivant :

$$\eta_{op} = 35\%$$

$$Q_n = 12 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ (constructeur)}, Q_n = 13,2 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ (expérimental)}$$

$$H_{mt} = 26 \text{ m (constructeur)} ; H_{mt} = 20,89 \text{ m (expérimental)}$$

$$\text{La plage de bon fonctionnement (constructeur)} : \pm 0.0033 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{La plage de bon fonctionnement (expérimentale)} : \pm 0.007 \text{ m}^3 / \text{s}$$

LA PROJECTION DE LA HMT DE LA POMPE (40NVA_150_5)

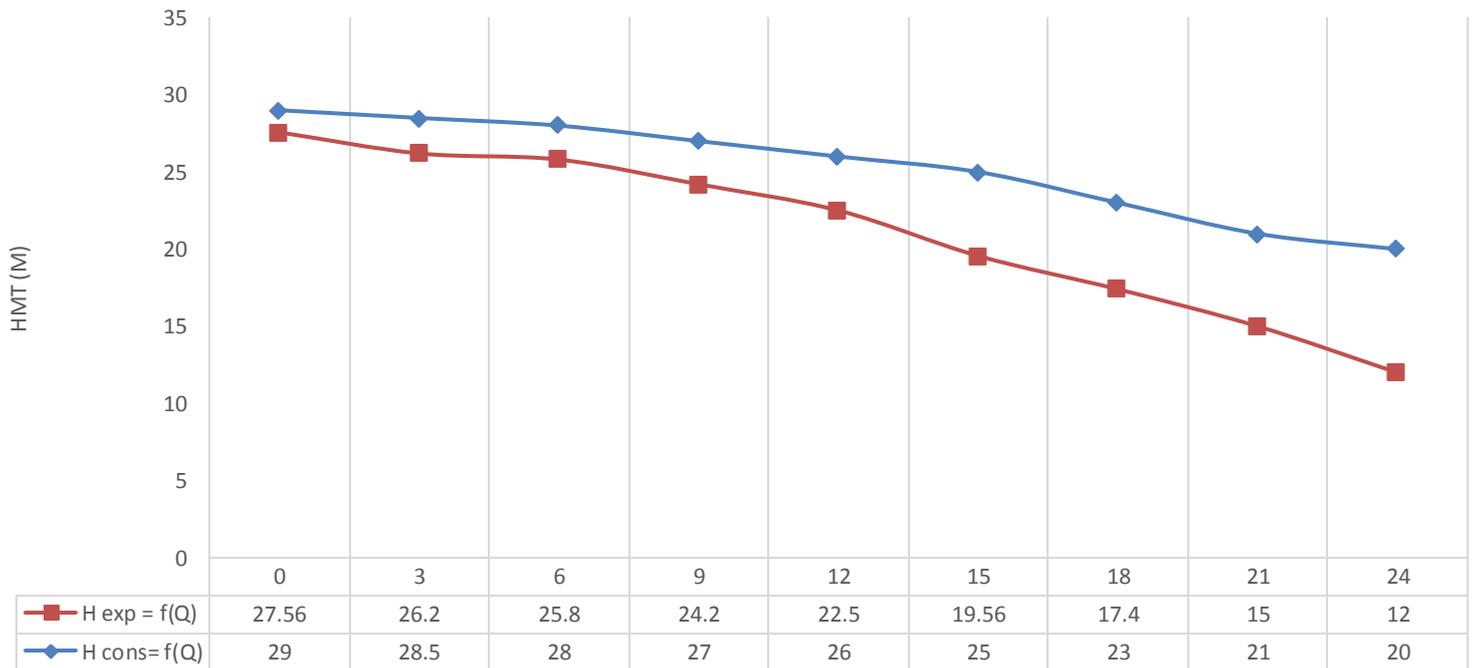


Figure III.7 : Projection de la Hmt=f(Q) constructeur(POVAL) et expérimentale de la pompe en sujet

LA PROJECTION DE LA PUISSANCE ABSORBÉE PAR LA POMPE 40NVA_150_5

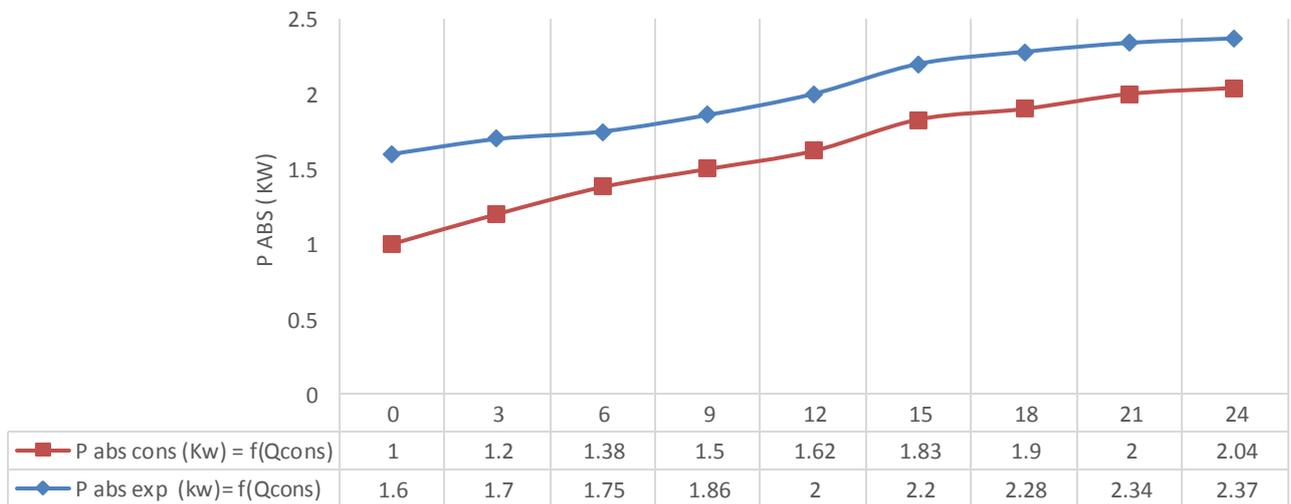


Figure III.8: Projection de la courbe Pabs=f(Q) constructeur (POVAL) et expérimental de la pompe en sujet.

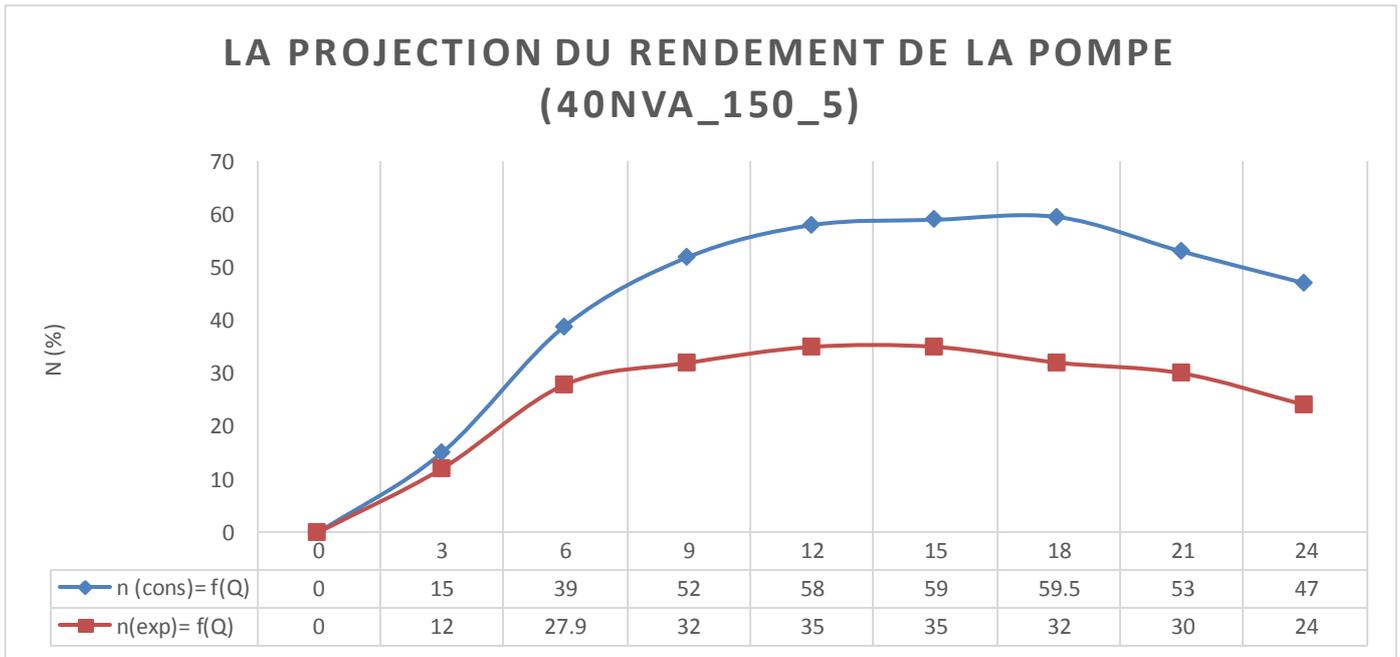


Figure III.9 : Projection de la courbe $\eta=f(Q)$ constructeur(POVAL) et expérimental de la pompe en sujet.

Interprétation des résultats graphiques obtenus :

❖ **La courbe Hmt = f(Q)**

Graphiquement on remarque les deux hauteurs se superpose avec une légère erreur vers les derniers point ou les valeurs de la Hmt expérimentale sont faibles dus à :

➤ **Pression insuffisante (M.BENAZZOUZ,2007)**

- a) Vitesses trop faible : voltage trop faible ou bien les caractéristiques actuelles différentes de celles qui est inscrit sur la plaque du moteur ;
- b) Défaut mécanique : revêtement des anneaux usés, pale abimé, revêtement ou joint défectueux

❖ **La courbe Pabs (Kw)=f(Q)**

- a) Graphiquement on remarque que les deux courbes sont superposables, y'a une légère différence de valeurs à cause des incertitudes de la manipulation.

❖ **La courbe (η %)= f(Q)**

Pour cette courbe on remarque qu'il y a une très grande différence entre les valeurs données par le constructeur et celles trouvées expérimentalement $\eta_{cons} > \eta_{exp}$ alors que les incertitudes sur la hauteur, le débit et la puissance sont acceptables donc :

- Le banc d'essai expérimental diffère de celui du constructeur de point de vue matériel utilisé, la longueur et le diamètre des conduites

❖ **Installation n°2 (Banc d'essai avec les deux pompes identiques montées en parallèles)**

NB : Dans cette partie :

- Le rendement obtenu des deux pompes identiques montées en parallèle ne sera pas pris en considération lors de cette analyse car le rendement est un paramètre qui caractérise la pompe elle-même et non pas le couplage.
- Concernant la puissance absorbée, les valeurs obtenues sont les mêmes que la première installation (une seule pompe) avec une légère variation (0.2 - 0.3 KW).

PROJECTION DE LA HMT RESULTANTE PAR LES DEUX POMPES

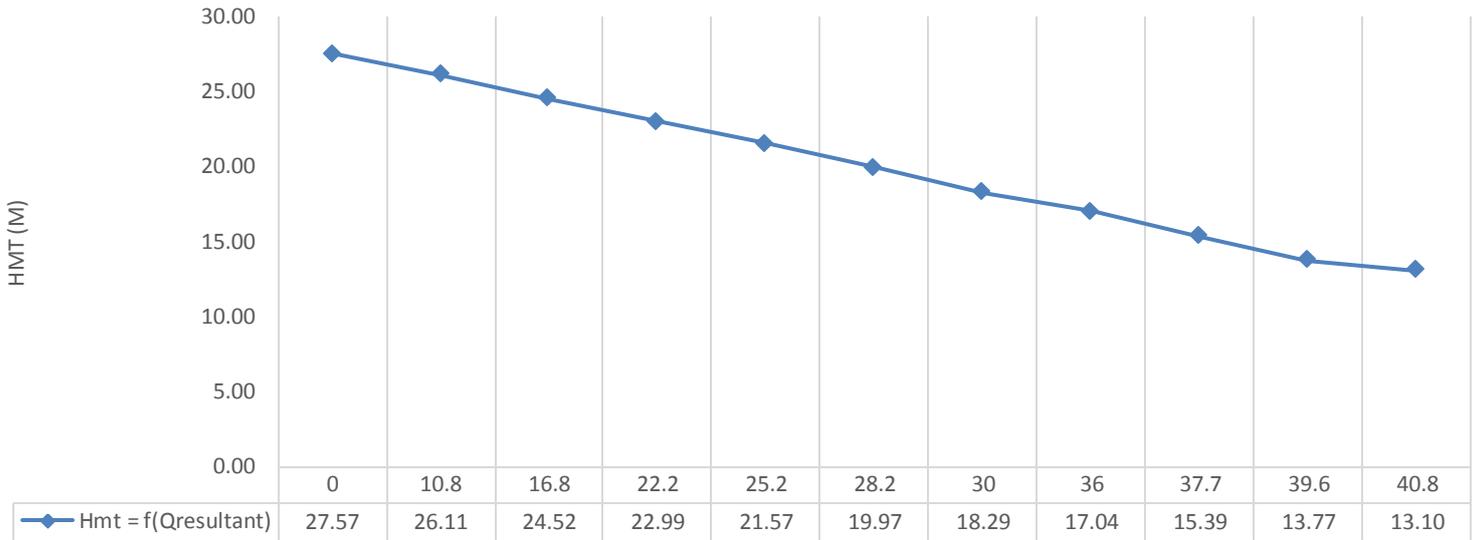


Figure III.11 : Projection de la Hmt résultante des deux pompes par le débit résultant

Ce graphe nous montre :

- 1) Un accroissement du débit dus au couplage en parallèle des deux pompes
- 2) On remarque que la Hmt du couplage s’adapte au changement du débit tel que chaque hauteur sur ce graphique on peut retrouver son équivalent dans la courbe $Hmt = f(Q)$ pour une seule pompe.

III.8.Calcul de l’erreur systématique relative

$$E_{sys} = [(Valeur réelle - valeur théorique) / valeur réelle] \times 100\%$$

La valeur théorique est une valeur calculée ou une valeur obtenue grâce à des estimations alors que la valeur réelle est la valeur mesurée ou réellement observée. D’après cette formule on voit qu’il est donc simplement nécessaire de diviser la valeur absolue de la différence entre valeur théorique et valeur réelle par la valeur réelle puis de multiplier le résultat par 100%.

3) Installation n°1 (Banc d’essai avec une seule pompe) :

Tableau III.3 : Calcul de l'erreur systématique relative pour l'installation à une seule pompe.

Pnt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n cons %	0	15	39	52	58	59	59.5	53	47
n exp %	0	12	27.9	32	35	35	32	30	24
Esys (η) %	0	25	39.8	62.5	65.7	84.4	85.9	76.7	95.8
Pabs con	1	1.2	1.38	1.5	1.62	1.83	1.9	2	2.04
Pabs exp	1.6	1.7	1.75	1.86	2	2.2	2.28	2.38	2.37
Esys (P) %	37	11.5	8.78	12.3	6.74	3.23	7.3	10.3	8.37

Interprétation des résultats obtenus :

Comme on l'a déjà cité dans l'analyse graphique l'incertitude de la puissance absorbée est dans les normes, donc acceptable,

Pour les erreurs du rendement on remarque qu'elles sont grandes ce qui rassure notre interprétation de l'analyse graphique

4) Installation n°2 (Banc d'essai avec les deux pompes identiques montées en parallèle) :

Tableau III.4 : Calcul de l'erreur systématique relative pour l'installation à deux pompes identiques montées en parallèle.

Pnt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q cons (m3/h)	0	6	12	18	24	30	36	42	48
Q exp (m3/h)	0	6.2	13.2	18.5	24.5	29.6	35.5	41	44.5
Esys(Q) %	-	3.22	9.09	2.7	2.04	1.35	1.41	2.43	7.86

Interprétation des résultats obtenus :

Le débit de ses deux pompes est assuré puisque la différence entre les résultats obtenu expérimentalement et ceux données par le constructeur est légère

Conclusion

Les deux pompes 40NVA_150_5 peuvent assurer le débit ainsi que la hauteur demandé mais à un rendement pas fiable ce qui engendre la détérioration ainsi que l'usure des performances de ses pompes le plus tôt possible.

Les deux pompes fonctionnant en parallèle, on remarque que les performances se modifient surtout le rendement donc la plage de fonctionnement est décalée par rapport à la bonne plage de fonctionnement avec un rendement acceptable cela est dû à la mauvaise lecture des appareils de mesure, l'installation des pompes en parallèle diffère de celle du constructeur par exemple les pertes de charge (longueur des conduites, accessoires..) se traduit par un déficit du débit.

Conclusion générale

Les ingénieurs en hydraulique sont en mesure de déterminer la réussite et la durabilité d'une pompe ou d'un groupement de pompes car c'est un outil très important en hydraulique et souvent utilisable en milieu pratique.

A travers ce modeste travail on a pu définir ainsi déterminer les différentes caractéristiques des deux pompes identiques 40NVA_150_5

Les essais sur les pompes soient seul ou bien couplées en série, en parallèle est un moyen pratique de se faire une idée de ses caractéristiques avant d'être utilisé.

Étude de pompes montées en parallèle permet de :

- détermination de la hauteur de refoulement
- enregistrement de la caractéristique de la pompe
- détermination de la puissance hydraulique
- détermination du point de fonctionnement

Le rendement varie en fonction du point de fonctionnement, qui est déterminé par la résistance du circuit connecté à la pompe.

La pompe augmente simultanément ces deux paramètres, en sorte que le débit obtenu dépend de la pression selon une certaine relation qui définit dans un graphique débit – pression une courbe qu'on appelle « courbe caractéristique de la pompe ».

Dans notre travail on conclut que les différents paramètres de la pompe y compris la hauteur, le débit, la puissance du moteur se confondent avec les données du constructeur mais à part le rendement que le constructeur a gonflé pour des raisons économiques, c'est pour ça que les essais sur les pompes sont obligatoires afin de savoir si la pompe installée fonctionne dans de bonnes conditions avec un bon rendement assurant un débit demandé nominal pour une hauteur demandée voulue.

Références bibliographiques

A.LENCASTRE, (2008) «Hydraulique générale » 5ème Edition

Catalogue POVAL (2017)

M. Rapinat (2005) Les stations de pompages d'eau Lavoisier, 6 ème édition

J.Jaques (2001) La pompes centrifuge dans tous les états

H.Michalet (2003) Le livre blanc des inducteurs

C.I.C.R (septembre 2011) Guide pratique pour les essais de pompage des puits

Grundfos Manuel des pompes en assainissement

O.Kesba Khodjet (2013) Polycopies 1^{er} année ENSH

M. BENAZZOUZ (2007) station de pompage

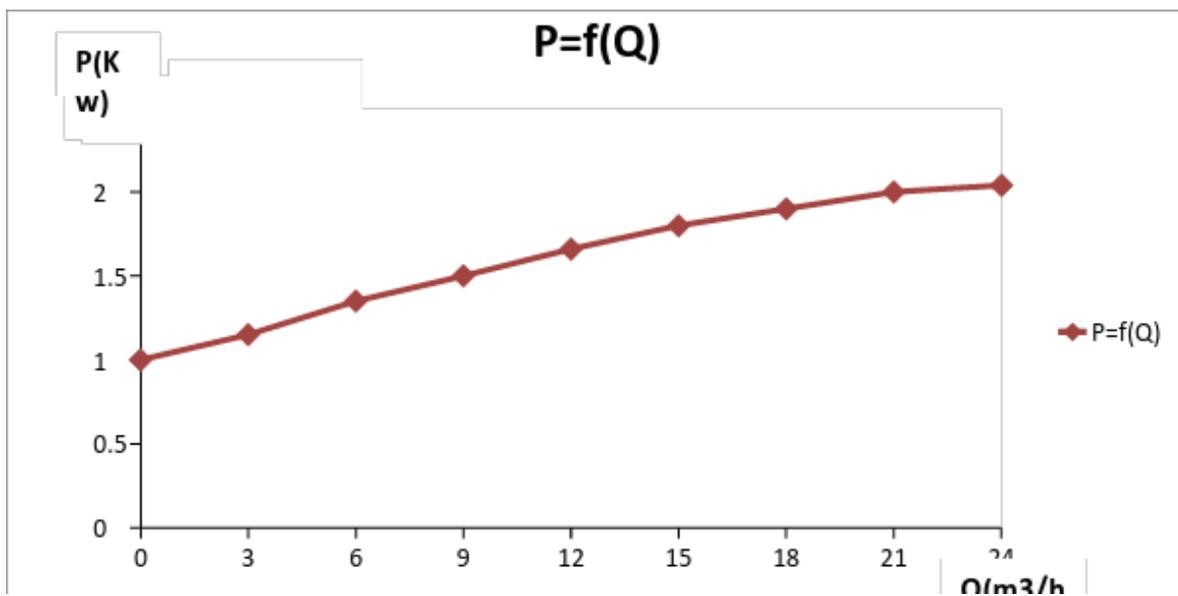
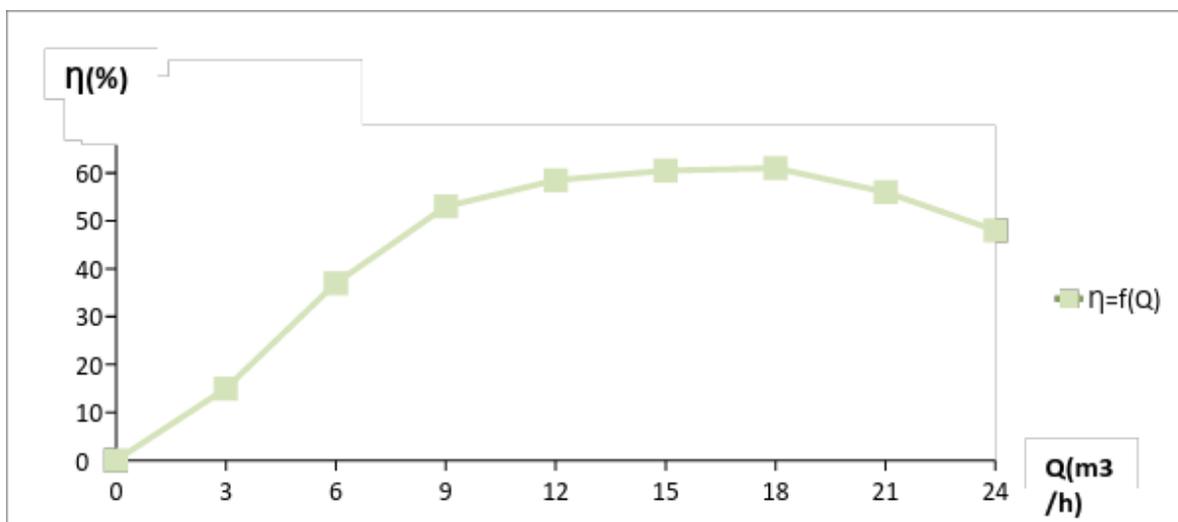
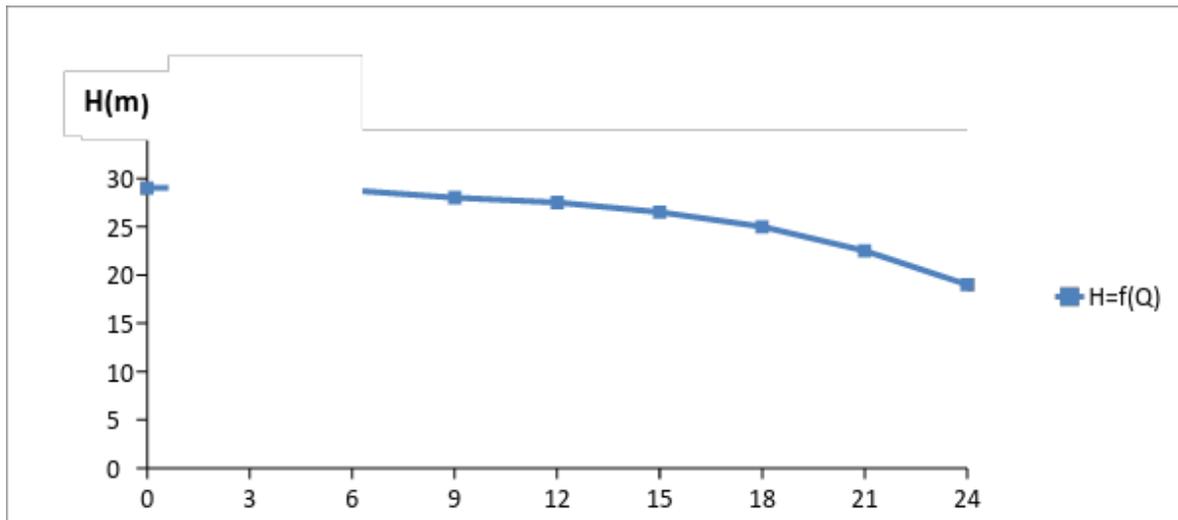
C.David (2014) Stations de pompages Polycopies

R. Miller (2004) Pumps & Hydraulics, third edition

Sitographie

[http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=860
&lang=fr](http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=860&lang=fr).....1

http://gpip.cnam.fr/ressourcespedagogiquesouvertes/hydraulique/co/1div_pompes_1.htm. 2



Figures : les courbes caractéristiques données par le constructeur de la pompe 40NVA_150_5