

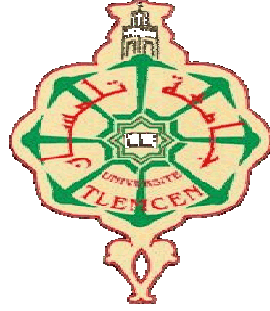
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Génie Energétique

Par :

RAHOU Khaled

NASLI Mohammed

Sujet

**Etude de la station de pompage d'eau de la station thermale de
Bouhrara**

Soutenu publiquement, le 05/09/2019 , devant le jury composé de :

Mr. ALIANE Abdennour
Mr. ALIANE Khaled
Mr. ROSTANE Brahim
Mr. SEBBANE Omar

MAA
Pr
MCB
MCA

Président
Examinateur
Examinateur
Encadreur

Année universitaire 2018-2019

Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et nous a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pu aboutir.

Nous avons eu le privilège de travailler parmi votre équipe et d'apprécier vos qualités et vos valeurs.

Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués.

Veillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Ce travail est pour nous l'occasion de vous témoigner notre profonde gratitude.

Nos remerciements vont aussi à Mr. SEBBANE OMAR d'avoir accepté de nous Encadrer et de nous avoir donné la chance de bénéficier de ses connaissances scientifiques et ses conseils intéressants tout au long de notre travail.

On tient également à remercier Mr le président ALIANE Abdenmour et les membres de jury Mr. ROSTANE Brahim et Mr. ALIANE KHALED

pour l'intérêt que vous avez bien voulu porter à notre travail en acceptant de faire partie de ce jury. C'est un honneur pour nous que d'avoir l'occasion de discuter du résultat de nos études avec vous.

Nous adressons aussi un grand merci pour toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

Dédicace

*Grâce à Dieu le Tout Puissant, nous dédions ce
modeste travail à toutes les
personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à la
réalisation de ce
mémoire plus particulièrement :
A nos très chers parents, tout notre respect et
affection en
témoignage de leur soutien, sacrifice, patience,
ainsi que
pour leurs conseils et orientations dans nos vies.
A toutes nos familles et nos très chers frères et nos
sœurs.*

*Rahou Khaled.
Nasli Mohammed.*

Sommaire :

Chapitre I : Historique de la station thermale de Hammam Boughrara.

I.	Introduction	1
II.	Plan pour moderniser la station thermale de Hammam Boughrara :	2
III.	Hammam Boughrara, un complexe thermal hors normes :	3
IV.	Station thermale de Hammam Boughrara: des eaux aux vertus médicinales :	5
V.	Conclusion :	6
Chapitre II : Rappels théoriques de Mécanique des Fluides		
I.	Introduction :	8
1.	Définition :	8
II.	Histoire et étymologie- Article détaillé : Qanât.	9
II.1	Type de canalisations :	9
III.	Matériaux constitutifs d'une canalisation :	10
III.1	Risques liés aux canalisations	11
III.2	Economie de transport par canalisation	11
III.3	Le cas de tuyaux en Amiante-ciment	12
1.	Histoire :	12
IV.	Principe de fonctionnement	14
V.	Avantages et contraintes	18
VI.	Cavitation	18
VII.	NPSH	188
VII.1.	NPSH de la pompe	19
VII.2.	NPSH de l'installation	19
VIII.	Rappels théoriques des notions de Mécanique des Fluides	20
VIII.1.	Définition :	20
VIII.2.	Fluide parfait :	21
VIII.3.	Fluide réel	21
a)	Fluide incompressible	22
b)	Fluide compressible	22
VIII.4.	Caractéristiques physiques	22

IX.	Viscosité	233
IX.1.	Viscosité dynamique.....	233
IX.2.	Viscosité cinématique.....	25
IX.3.	Différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique :	25
X.	Conclusion.....	25
XI.	Dynamique des fluides incompressibles parfaits.....	255
XI.1.	Introduction	255
XI.2.	Ecoulement permanent :	26
XI.3.	Equation de continuité	26
XII.	Théorème de Bernoulli	27
XII.1	Cas d'un écoulement sans échange de travail.....	27
XIII	Pertes de charge.....	29
XIII.1	Pertes de charges singulières.....	29
XIII.2	Pertes de charge linéaires.....	29
XIV	Régimes d'écoulement.....	29
XIV.1	Nombre de Reynolds.....	29
XIV.2	Cas de l'écoulement laminaire.....	30
XIV.3	Cas de l'écoulement turbulent.....	30
XV.	Théorème d'Euler :	Erreur ! Signet non défini.
X.	Conclusion :	322
Chapitre III : Calcul de perte de charge total-Point de fonctionnement		
I.	Introduction :	33
II.	Composition de notre Station de Pompage :	33
III.	Présentation des circuits hydrauliques :	34
IV.	Calcul des pertes de charge de chaque circuit hydraulique, pour 3 valeurs de débit : ..	38
V.	Circuit hydraulique N°1	38
VI.	Circuit hydraulique N°1	39
VII.	Circuit hydraulique N°2	44
VIII.	Circuit hydraulique N°3	46
IX.	Circuit hydraulique N°4 :	49
X.	Conclusion :	54

Nomenclature :

Grandeurs	Désignations	Unités
Q_v	débit volumique	m^3/s
Q_m	débit massique	Kg/s
t	temps	S
S	section	m^2
V	vitesse de fluide	m/s
V_m	vitesse moyenne de fluide	m/s
g	accélération de pesanteur	m/s^2
H_n	Hauteur	m
P	pression	pascal
ΔH	perte de charge	pascal
Re	nombre de Reynolds	
P_a	puissance absorbé par la pompe	W
P_h	puissance hydraulique	W
J_{asp}	pertes de charge d'aspiration	m
NPSH	hauteur d'aspiration nette positive	m
F	force de glissement	N
E	énergie	J
E_m	énergie mécanique	J
E_{pt}	énergie potentielle	J
E_{cin}	énergie cinétique	J

ρ	Masse volumique	Kg/m^3
λ	Coefficient de perte de charge linéaire	
ξ	Coefficient de perte de charge singulière	
μ	Viscosité dynamique	Kg/m.s
ν	Viscosité cinématique	m^2/s
η	Rendement	

Liste des figures :

Figure 1 : Station thermique.....	01
Figure2 : Position géographique de Hammam Boughrara.....	01
Figure 3 : Vue de l'Hôtel de Hammam Boughrara.....	02
Figure 4 : Présentation d'un bain.....	03
Figure 5 : Entrée de Hammam Boughrara.....	04
Figure 6 : Entrée d'un bain.....	04
Figure 7 : Soins dans Hammam Boughrara.....	06
Figure 8 : Cafeteria de Hammam Boughrara.....	06
Figure 9 : Photo graphie de canalisation.....	10
Figure 10 : Photo graphie de conduites en PEHD.....	11
Figure 11 : Pompe centrifuge.....	13
Figure 12 : Vue de principe en coupe d'une pompe centrifuge.....	14
Figure 13 : Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge.....	15
Figure 14 : D'étermination du point de fonctionnement.....	16
Figure 15 : Courbe caractéristique des pompes centrifuges.....	17
Figure 16 : $NPSH_{disponible}$ pour une pompe en aspiration et en charge.....	20
Figure 17 : les courbes de $NPSH_{disponible}$ et requis.....	20
Figure 18 : Système de fluide.....	21
Figure 19 : Ecoulement entre deux plaques planes.....	23
Figure 20 : Equation de continuité.....	27
Figure 21 : Equation de Bernoulli.....	29
Figure 22 : Equation d'Euler.....	31
Figure 23 : Plan synoptique du réseau hydraulique de la station de pompage d'eau chaude..	33
Figure 24 : Schéma des quatre circuits composant le réseau hydraulique de la station de pompage	33
Figure 25 : Schéma du circuit hydraulique N°1.....	34
Figure 26 : Schéma du circuit hydraulique N°2.....	35
Figure 27 : Schéma du circuit hydraulique N°3.....	36
Figure 28 : Schéma du circuit hydraulique N°4.....	37
Figure 29 : Courbe caractéristique des pompes centrifuges	37

Figure 30 : Circuit hydraulique N°1.....	39
Figure 31 : Photographie de plaque de la pompe pentax.....	40
Figure 32 : Courbe de perte de charge totale du circuit hydraulique N°1.....	43
Figure 33 :Circuit hydraulique N°2.....	44
Figure 34 : Courbes des pertes de charge totale du circuit hydraulique N°2.....	46
Figure 35 : Circuit hydraulique N°3.....	47
Figure 36 : Courbe de perte de charge totale du circuit hydraulique N°3.....	48
Figure 37 : Circuit hydraulique N°4.....	49
Figure 38 : Courbe de perte de charge totale du circuit hydraulique N°4.....	50
Figure 39 : Courbes des pertes de charge totale du circuit hydraulique N°2 et N°3 et leur résultant.....	51
Figure 40 : courbes des pertes de charge totale du circuit hydraulique N°2 et N°3 leur résultant.....	52
Figure 41 : Point de fonctionnement du circuit hydraulique total.....	53

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des fluides.....	22
Tableau 2 : Valeurs de viscosité dynamique.....	25
Tableau 3 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°1.....	43
Tableau 4 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°2.....	46
Tableau 5 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°3.....	48
Tableau 6 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°4.....	50
Tableau 7 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°2 et N°3.....	51
Tableau 8 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°2 et N°3	52
Tableau 9: Résultante de tout le réseau hydraulique et le point de fonctionnement.....	53

Introduction générale

Introduction Générale

En Algérie, les stations de pompage d'eau chaude et d'eau froide sont généralement très vétustes et présentent des failles et difficultés de fonctionnement. Le travail proposé par l'encadreur, en ce qui concerne l'étude de la station de pompage d'eau de la station thermale de Boughrara, montre qu'il est indisponible de revoir l'état des lieux de ces stations de pompage pour vérifier le bon fonctionnement des réseaux des conduits et des pompes pour respecter le débit de pointe imposé par les établissements.

Il ya dans la wilaya de Tlemcen plusieurs eaux desources, qui desservent les populations. parmi ces eaux de source on trouve celle de station thermale de Hammam Boughrara .

La station thermale de Hammam Boughrara c'est le sujet que nous étudions dans notre mémoire ; et notre travail se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre présente l'historique de la station thermale de Hammam Boughrara comme nous l'avons mentionné : plan pour moderniser la station thermale de Hammam Boughrara et nous avons donné une position géographique et quelques photos pour cette station.

Dans le deuxième chapitre, nous avons rappelé quelques notions théoriques de mécanique des fluides : viscosité, équation de continuité, théorème de Bernoulli, l'écoulement permanent, etc...

Dans le troisième chapitre, nous avons calculé dans un premier temps, les pertes de charge linéaires et singulières des quatre circuits composant la station de pompage, de l'aspiration des deux pompes placées en parallèle, jusqu'à la distribution d'eau chaude dans les douches et, dans un deuxième temps, nous avons tracé les courbes caractéristiques des pertes de charge ΔH en fonction du débit Q_v .

Chapitre I : Historique
de la station thermale
de Hammam
Boughrara

I. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre historique de la station thermale de Hammam Bouhrara. Cette station est située à 30 km à l'ouest de la ville de Tlemcen. Qui a bénéficié d'un plan de modernisation et d'extension visant à améliorer les prestations assurées par cet établissement (Directeur de l'entreprise de gestion touristique de Tlemcen- EGTT). Nous allons présenter quelques photos de Hammam Bouhrara[1].



Figure 1 : Station thermale



Figure 2 : Position géographique de Hammam Bouhrara [1]

II. Plan pour moderniser la station thermale de Hammam Boughrara :

Une convention pour moderniser cette station a été signée, entre l'EGTTet un bureau d'études composé de trois entreprises espagnoles pour entreprendre une étude du projet de modernisation et amélioration des prestations de Hammam Boughrara en plus de trois autres stations de l'ouest : Il s'agit de Hammam Bouhanifia (à Mascara), Hammam Rabi (à Saida) et Hammam Bouhadjar (à Ain Témouchent).

L'opération de modernisation vise aussi à augmenter les capacités d'accueil de la station qui sont actuellement de l'ordre de 180 lits répartis entre 30 chambres, 14 bungalows et 16 suites en plus d'un restaurant servant 200 repas/jour. La station dispose également d'une clinique, des salles de massage et traitement thermal assurant 160 séances de cure par jour, ainsi que des bains accueillant 120 curistes par jour. La wilaya de Tlemcen recèle d'autres sources. Elles ont des vertus curatives avérées et sont très fréquentées par les curistes. Toutefois, elles sont exploitées de manière traditionnelle. A l'exception des trois stations (Hammam Boughrara, Hammam Chigueur et Hammam de Sidi Abdelli) les autres sources thermales sont restées à l'état naturel. Parmi elles, figurent celles de Sidi Belkheir (Maghnia), d'Ain El Hammam (Sebdou), de Sidi Rahou (Hennaya) et Sidi Berkani (Ouled Mimoun)[1].



Figure 3: Vue de l'Hôtel de Hammam Boughrara

III. Hammam Boughrara, un complexe thermal hors normes :

Le complexe thermal de Hammam Boughrara est devenu le principal pôle touristique de la wilaya de Tlemcen, avec les bienfaits de ses eaux sulfatées et bicarbonatées, conseillées pour les affections rhumatologiques, dermatologiques et gynécologiques. L'affluence est nombreuse durant toute l'année mais les saisons d'été et d'hiver, représentent les périodes de pointe. Les week-ends, la station est prise d'assaut au point où elle ne peut contenir le nombre impressionnant de curistes et visiteurs, encore moins leurs moyens de locomotion notamment les bus.

Les 1200 bains /jours et 160 soins /jours, qu'assure cette station thermale de Hammam Boughrara, s'avèrent insuffisants devant l'afflux de plus en plus intense. Parmi les différents bains assurés, on cite ceux avec ou sans hydromassage, les bains locaux et généraux, les bains de caisse, les douches lombaires, les douches au jet ou encore les bains carbo-gazeux. Si la qualité de ces eaux est très appréciée pour diverses indications thérapeutiques, l'affluence est favorisée également par le cadre agréable, bien que le complexe reste moyennement fourni en infrastructures d'accueil : 18 cabines pour hommes dont 2 sont équipées de nouvelles baignoires, 9 cabines pour dames dont une est équipée de nouvelles baignoires, 16 cabines pour le bain traditionnel pour dames, 7 cabines dont 4 neuves pour l'électrothérapie et une salle de rééducation.

Quant aux structures d'accueil et de commodités, on citera un hôtel de 60 chambres, 16 bungalows et un restaurant de 200 couverts. Hammam Boughrara comporte aussi une cafétéria de 72 places, des boutiques et deux buvettes. C'est un lieu de détente et de cure qui s'est forgé une notoriété qui en fait l'un des plus importants du pays[1].



Figure4: Présentation d'un bain



Figure 5 : Entrée de Hammam Bouhrara

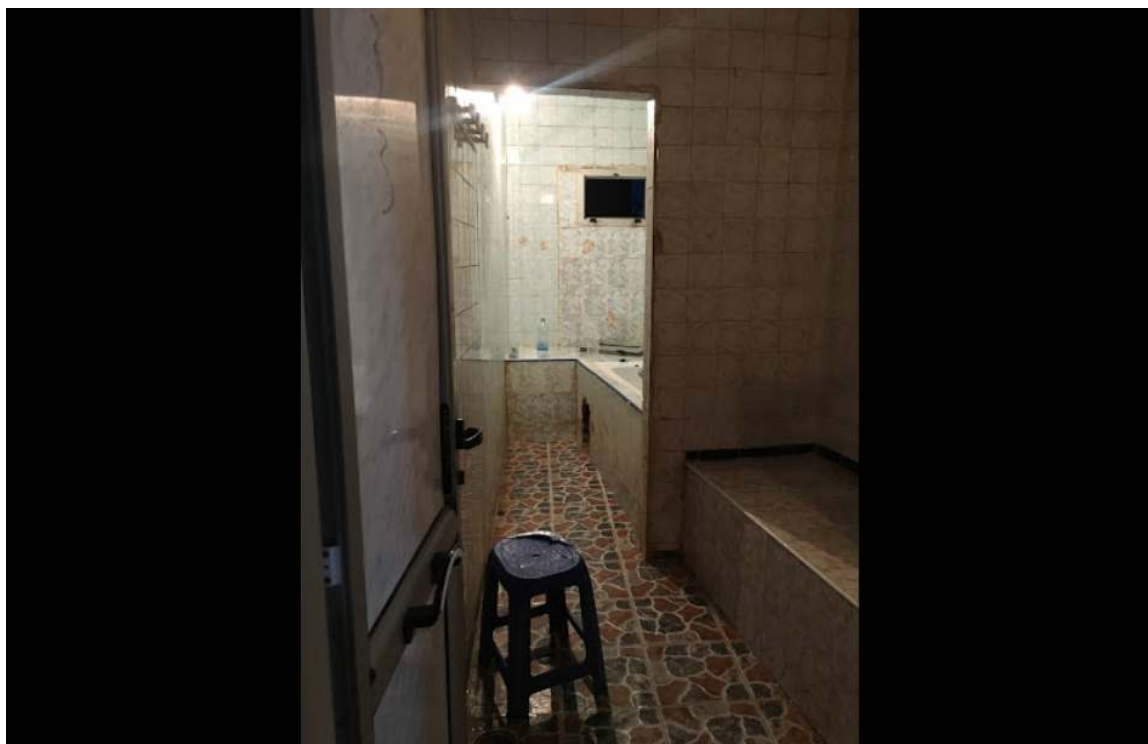


Figure 6: Entrée d'un bain

IV. Station thermale de Hammam Boughrara: des eaux aux vertus médicinales :

Doté d'une cafétéria, d'un restaurant, d'un parking, d'espaces verts, d'un boulodrome, de bungalows ainsi que de 80 chambres, Le complexe, géré par l'Entreprise de gestion de tourisme de Tlemcen (EGTT) reçoit des touristes de tout le territoire national. Situé à 260 mètres d'altitude, à 25 minutes de l'aéroport international Messali Hadj et à quinze minutes de la frontière algéro-marocaine (fermée depuis 1994) le complexe est doté de toutes les infrastructures adéquates et matérielles de haute technologie assurant une prise en charge de cures de toutes sortes.

De ses eaux sulfatées et bicarbonatées à 45°C émerge une température variable et sont utilisées pour les soins de certaines affections rhumatologiques, dermatologiques, gynécologiques et respiratoires, explique le premier responsable de cette station et d'explicitier davantage: des appareils haut de gamme, reconnus mondialement, traitent les patients en utilisant les techniques les plus appropriées au cas du curiste, où l'eau est employée de manière judicieuse sous l'œil vigilant d'un personnel médical expérimenté. Rénové, Hammam Boughrara dispose, aussi, de salles de rééducation, de gymnastique et de massage pour les soins complémentaires.

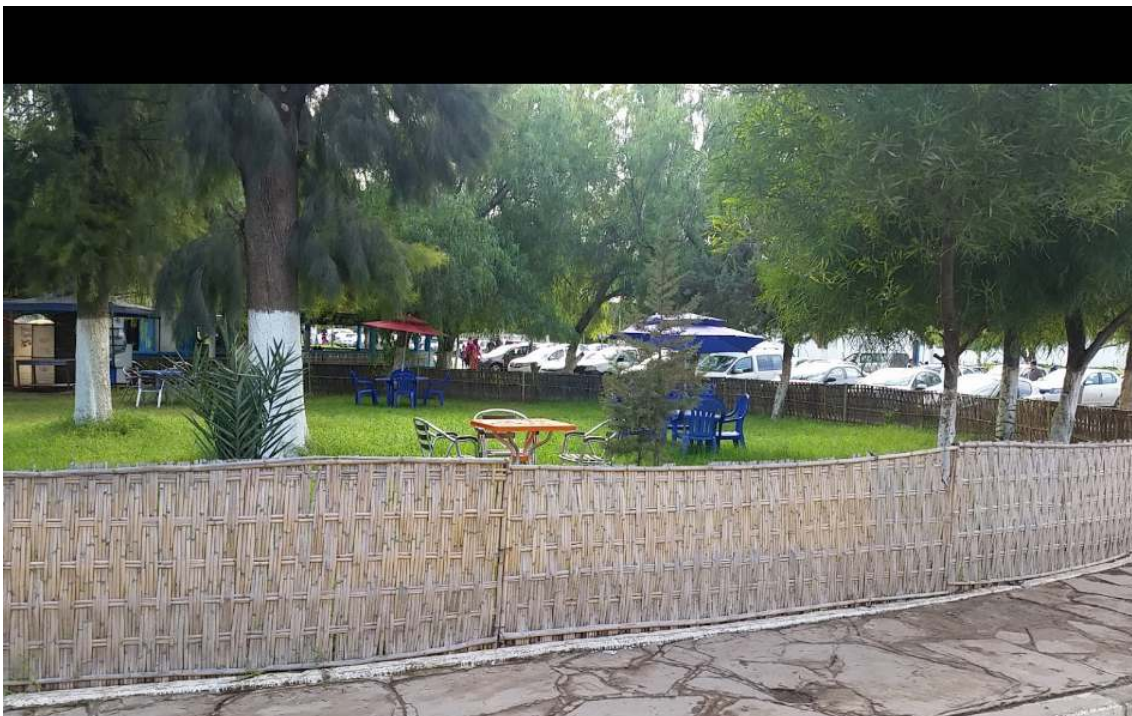
La mise en service de nouveaux équipements ultramodernes pour redynamiser la station sous divers aspects a suscité un engouement particulier des curistes qui se disent satisfaits des différentes prestations de service, affirme le même responsable. En plus, les malades bénéficient de soins aux bains carbogazeux, de bains de rééducation en piscine thermale, de massages à sec, au talc, d'une électrothérapie, extra-motrice, ultraviolet, infrarouge [1]



Figure 7: Soins dans Hammam Boughrara

Figure 8: Cafeteria de Hammam Boughrara

V. Conclusion :



Dans ce chapitre nous avons donné un historique de la station thermale de Hammam Bouhrara, Où nous parlé duplan pour moderniser la station thermale de Hammam Bouhrara et nous avons donné uneposition géographique et quelques photos graphie pour cette station.

La station thermale de Hammam Bouhrara est un SPA doté d'installations et de centres de villégiature destinés à faciliter le divertissement des visiteurs.

Chapitre II : Rappels
théoriques de
Mécanique des Fluides

I. Introduction :

La mécanique des fluides est une discipline ancienne, d'applications très variées et encore en pleine d'évolution. Il convient de toujours garder à l'esprit que l'évolution de cette discipline a eu, tout au long de l'histoire de l'humanité, deux moteurs, fortement imbriqués :

- l'explication des phénomènes naturels : les vagues, le vent, la force de résistance sur un corps en mouvement dans l'air ou l'eau, l'aspiration d'une cheminée, le mouvement des bulles, la chute d'objets l'Eger (les feuilles des arbres), les vibrations provoquées par un écoulement...
- l'exploitation des fluides à des fins pratiques : fabrication d'embarcations, pompage de puits, adduction d'eau, applications énergétiques (moulins à eau ou à vent), propulsion et sustentation des avions, bateaux, sous-marins, forces de frottement sur les véhicules ou sur l'homme dans le domaine du sport (cyclisme, natation)...

La mécanique des fluides a cet avantage sur d'autres disciplines de la physique qu'elle fait partie de notre quotidien. Aussi, il est toujours bon d'appréhender un écoulement de fluide tout d'abord avec sa seule intuition. Les équations de la mécanique des fluides ont une structure mathématique complexe, et doivent être vues comme un ultime recours pour décrire ou quantifier un phénomène, où l'intuition s'arrête. Les équations ne sont pas la mécanique des fluides, elles la décrivent. Cette accessibilité ne doit pas masquer cependant le fait que certains aspects, notamment la turbulence, restent encore mal compris, même si l'astuce des chercheurs et ingénieurs l'ont rendue accessible à la simulation quotidienne [2].

Section A : Conduites

1 Définition :

Une conduite est une canalisation ou un tuyau ou un canal destiné à l'acheminement de matières gazeuses, liquides, solides ou polyphasiques.

Lorsqu'il s'agit d'un tuyau, le diamètre nominal d'une canalisation peut aller de trente millimètres environ (un pouce un quart) pour des fluides spéciaux.

Le terme pipeline est également couramment utilisé.

Lorsqu'une canalisation a un très petit diamètre (moins de trente millimètres environ), on parle plutôt de tuyauterie.

Les différents types de canalisations sont fabriquées et posées par des entreprises et corps de métiers spécialisés pour l'eau potable, le gaz, le pétrole, l'oxygène, l'hydrogène, les eaux résiduaires, les égouts et divers autres fluides dont caloporteur ou porteurs de frigories, pour les réseaux de chaleur et les réseaux de froid. Il existe une organisation professionnelle dénommée « les Canalisateurs » (rassemblant environ 300 entreprises en 2019), membre de la Fédération nationale des travaux publics [2].

Parmi les enjeux de ce secteur figurent la sécurité :

- risques d'explosion ou de feu pour les canalisations d'hydrocarbures ou de fluides sous très haute-pression, risques toxiques et écotoxiques avec les canalisations en amiante-ciment qui se dégradent plus vite que celles construites avec d'autres matériaux...

- lutte contre les fuites, la cartographie des réseaux souterrains, la recherche de nouveaux matériaux, les réseaux intelligents, l'installation de canalisations « sans tranchées » [2].

II. Histoire et étymologie-Article détaillé : Qanât.

Les canalisations étaient autrefois un tunnel creusé dans la roche (Qanât), ou réalisées en bois (par exemple un tronc d'arbre percé dans la longueur), en pierre et en plomb (source de saturnisme notamment quand l'eau qui y circule est naturellement acide et/ou chaude ou sous forte pression) ; on a aussi constaté des relargages de plomb induits par la corrosion galvanique quand là où le plomb est contact avec un autre métal dont le potentiel électrochimique est différent)

En Europe le plomb a été abondamment utilisé jusque dans les années 1963. En France il est devenu plus marginal des années 1960 jusqu'en 1995 où il était parfois encore utilisé pour des branchements entre réseaux privés et publics de distribution d'eau, de même pour les réseaux intérieurs du domaine privatif ; il a été interdit pour tout nouveau réseau de distribution.

II.1 Types de canalisation

Le type et le nom d'une canalisation dépendent des caractéristiques physiques et des conditions d'acheminement du produit à déplacer.

Pour le gaz naturel, on parle de gazoduc ;

Pour le pétrole, on parle d'oléoduc ;

Pour l'eau industrielle ou alimentaire, on parle de canal, d'aqueduc - dans lesquels l'écoulement se fait à l'air libre - de conduite, de conduite hydraulique ou d'émissaire - constitué de tuyaux. Pour les eaux d'égouttage on parle d'égout.

Pour l'eau salée, on utilise le terme de saumoduc ;

Pour l'oxygène, on utilise le terme d'oxiginiduc d'oxyde ;

Pour l'hydrogène, on utilise le terme d'hydrogénoduc.

De manière générale, le suffixe d'origine latine « ducats », dérivé de « Duchère » qui veut dire « conduire », permet ainsi de construire le nom français d'une canalisation spécialisée pour l'acheminement d'un type de produit particulier [3].



Figure 9 : Photos de canalisation

III. Matériaux constitutifs d'une canalisation :

Installation d'une canalisation en polyéthylène haute densité à Mexico par la compagnie Krach Mexico.

À l'intérieur d'une canalisation de la même compagnie.

Les matériaux constitutifs d'une canalisation dépendent de la nature et de l'état des produits qu'elle doit acheminer.

Les oléoducs et gazoducs sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol ;

Les saumoducs ainsi que les oléoducs et les gazoducs de transport à haute pression sont construits avec des tubes d'acier soudés bout à bout et revêtus ;

Les gazoducs de distribution de gaz moyenne pression sont généralement en polyéthylène haute densité (PEHD)[3].



Figure 10 : Photos de conduites en PEHD

Les canalisations d'eau, jadis en bois puis maçonnées ou en fonte grise à graphite lamellaire, sont aujourd'hui en fonte grise à graphite sphéroïdal (également appelée fonte ductile), en polychlorure de vinyle, le polyéthylène mais également en béton armé ou en acier. Au début du XXe siècle, des pipelines en bois ont été construits aux États-Unis.

Les canalisations d'évacuation des eaux usées sont en polychlorure de vinyle, en polyéthylène.

Les canalisations de produits alimentaires sont souvent en acier inoxydable.

Pour l'eau potable, selon une extrapolation à partir de l'étude des canalisations de 8 départements, environ 36 000 kilomètres de canalisations de France seraient en amiante-ciment, soit 4,2 % des installations totales ; mais 9 % dans l'Allier, 7 % dans la Manche et la Somme [3].

III.1 Risques liés aux canalisations

Certaines canalisations en plomb ou en amiante-ciment sont sources de produits toxiques durant leur fabrication, mise en œuvre et fin de vie ou recyclage.

Les risques majeurs de défaillance physique des pipelines sont liés aux agressions (volontaires ou involontaires) et à la corrosion interne ou externe.

La corrosion externe est maintenant freinée par des dispositifs de protection cathodique et parfois par l'injection de substances (ortho phosphates par exemple) destinés à déposer un film protecteur [3].

III.2 Économie du transport par canalisation

Empilement d'un pipeline connecté pour le transport de produits pétroliers

Au contraire de leur investissement initial ; l'utilisation des canalisations est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances.

Certaines canalisations de gros diamètre et ou de grande longueur s'avèrent coûteuses et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés. C'est le cas des ouvrages subaquatiques, des ouvrages enterrés au passage des fleuves, des ouvrages aériens sur du pergélisol qui fond, en zone de risque sismique ou politiquement instable).

Pour l'exemple de la France, les canalisations d'eau potable - hors branchement - représentent 800 000 à 850 000 km, 10 % ont plus de 50 ans, 44 % ont plus de 30 ans. Les canalisations installées avant 1970 sont majoritairement en fonte. Les canalisations installées après 1970 sont majoritairement en plastique (PVC-PEHD). La longueur des canalisations est en moyenne de 40 mètres par abonné. Les communes rurales ont des réseaux plus longs, mais aussi moins performants. Le rendement primaire, défini par le pourcentage entre le volume comptabilisé et facturé et le volume mis en distribution atteint 72 % en moyenne, mais seulement 55 % pour les communes de moins de 1 000 habitants. La différence entre volume distribué et volume consommé est liée aux fuites et aux quantités consommées non facturées, telles que les eaux de lavage du domaine public ou les eaux utilisées pour la lutte contre l'incendie. Dans le cas des petites communes, l'écart vient majoritairement de fuites [3].

III.3 Le cas des tuyaux en Amiante-ciment

Selon le rapport Cadour de 2002, l'amiante ciment (des tuyauteries) est « souvent dégradé et pose des problèmes techniques, en particulier en environnement agressif. De nombreux départements envisagent sa dépose systématique. Avec 4% d'amiante ciment sur notre échantillon de huit départements, le linéaire national dans ces conditions représenterait 36 000 km, soit 3,6 milliards d'euros. Toutefois, il semblerait que des pratiques locales aient favorisé l'implantation de ce matériau en de large proportions dans quelques départements français »

En 2017, la question d'un éventuel risque sanitaire est révoquée par l'Anses après que deux études récentes (2015, 2017) aient conclu à un lien entre exposition à l'amiante et le cancer du côlon et le cancer colorectal (avec une relation dose-réponse). Le cancer de l'estomac et celui de l'œsophage pourraient aussi être concernés, mais sous réserve de confirmation par d'autres études. À ce jour les études n'évoquent pas de lien direct avec l'eau potable ayant circulé dans des tuyaux en amiante-ciment mais fin 2017 l'Anses a décidé de s'autosaisir du sujet [3].

Section B : Pompes

1. Histoire :

L'idée même de la pompe centrifuge (voir figure 11) est difficile à dater. On a pu créditer Denis Papin d'en avoir fabriqué une des premières au XVII^e siècle, mais des machines similaires bien plus anciennes ont été décrites. En 1735, M. Le Démure invente une pompe basée sur ce principe pour être utilisée dans les jardins du roi.

Cependant ces inventions demeurent sans lendemain, et il faut attendre la seconde moitié du XIX^e siècle pour voir apparaître ce type de machine autrement que par des prototypes.

La seconde moitié du XIX^e siècle voit le démarrage de l'utilisation des pompes centrifuges (Angleterre - Allemagne). Plusieurs modèles sont présentés à la grande exposition universelle de Londres en 1851. Cependant l'utilisation des pompes alternatives restera la règle dans l'industrie du XIX^e siècle.

L'essor de la machine centrifuge accompagne celui de l'utilisation des moteurs électriques auxquels elle est particulièrement adaptée, puisqu'elle ne requiert aucune pièce intermédiaire de transformation du mouvement : La pompe centrifuge est un enfant du XX^e siècle. En France, par exemple, la société d'Auguste Râteau, fondée en 1903 fabrique une pompe centrifuge où l'eau descendant du premier barrage de la Girotte est forcée au travers d'une roue à aube actionnée par l'usine électrique sous le barrage dont la rotation l'aspire axialement dans la pompe, puis l'accélère radialement et la refoule 500 mètres plus haut dans le

barrage.[pas clair] Dès 1902, la maison Sulzer Frères avait donné, à la suite d'un appel d'offres, une solution pratique dans l'installation d'accumulation de Ruppoldingen en Suisse, qui forme un établissement complémentaire des usines électriques situées au fil de l'Aar, dans le Canton d'Argovie². La pompe rejetait de l'eau la nuit dans un bassin situé 325 mètres en amont, pour produire 850 kW supplémentaire le jour³. La même technique est utilisée dans l'usine suisse de Porrentruy en 1910⁴. Au Barrage de la Girotte une pompe d'Auguste Râteau vient compléter celle de Sulzer Frères installée en 1921 ou 1922. En 1925, l'installation de pompage-turbinage de Belleville, juste sous le lac, la première en France, permet d'afficher une puissance de 20 MW en période de pointe, en remontant dans le lac, 520 mètres plus haut [4].

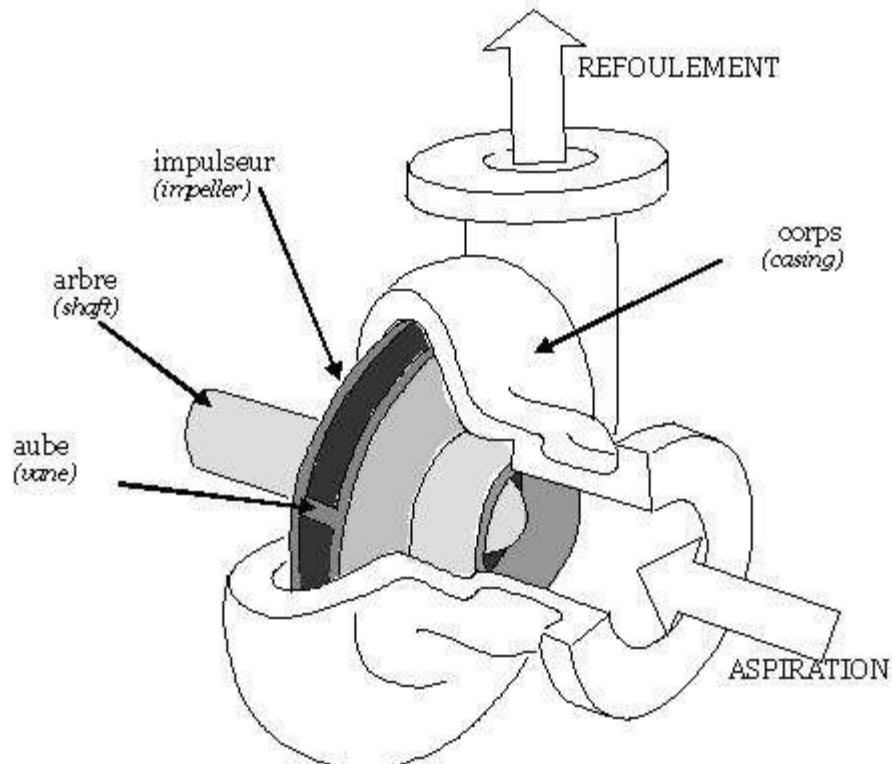


Figure 11 : Pompe centrifuge

On appelle corps de pompe (voir figures 12), l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator.

Le corps est constitué principalement de la tubulure d'aspiration, de la volute, et de la tubulure de refoulement. La partie mobile ou rotor est formée de l'impulseur (roue à aubes), monté sur un arbre.

Le rotor est actionné par une machine d'entraînement qui est le plus souvent un moteur électrique ou thermique mais peut être également une turbine [4].

- 1a : corps de pompe
- 1b : diffuseur
- 2 : impulseur
- 3 : corps de pompe
- 4 : garniture mécanique
- 5 : corps de pompe
- 6 : arbre

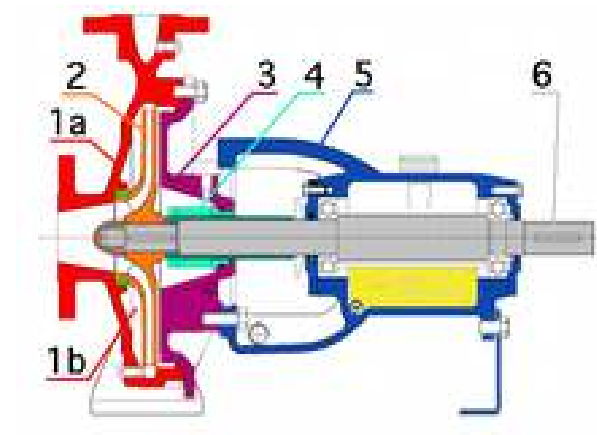


Figure 12 : Vue de principe en coupe d'une pompe centrifuge

Comme l'arbre traverse le plus souvent la volute, il est nécessaire de réaliser à cet endroit un dispositif assurant l'étanchéité globale. Ceci est effectué à l'aide de deux types principaux d'accessoires : un presse-étoupe ou une garniture mécanique.

On appelle aubes les lamelles grossièrement radiales qui, à l'intérieur de l'impulseur, canalisent le fluide de l'intérieur vers l'extérieur de la volute.

On appelle flasques les parois de l'impulseur qui enserrant les aubes. Les roues à deux flasques dites aussi impulseur fermé sont les plus fréquentes. Il existe également des roues sans flasque, et des roues à un seul flasque (impulseur ouvert ou semi-ouvert) [4].

IV. Principe de fonctionnement

Une pompe centrifuge accélère le fluide qui la traverse en lui communiquant un mouvement de rotation, donc une certaine puissance hydraulique.

Cette énergie hydraulique peut être vue comme la somme d'une énergie cinétique déterminée par le mouvement liquide dans le tube et d'une énergie potentielle stockée soit sous la forme d'un accroissement de pression soit sous celle d'une augmentation de hauteur (théorème de Bernoulli) [5].

La puissance hydraulique P_h fournie par la pompe est donnée par la relation : $P_h = \rho \cdot g \cdot Q_v \cdot h$

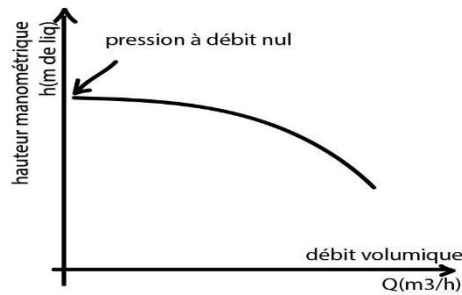


Figure 13 : Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge

Dans laquelle :

- P_h en Watt
- ρ est la masse volumique du liquide en kg/m^3
- g est l'accélération de pesanteur soit $9,81 m/s^2$
- Q_v est le débit volumique du liquide exprimé en m^3/s
- H est la hauteur manométrique de la pompe exprimée en mètres de colonne d'eau

La hauteur manométrique H est la hauteur d'une colonne de liquide qui déterminerait une pression statique égale à la pression de refoulement.

Le terme Q_h est souvent appelé charge hydraulique.

La puissance mécanique à fournir à la machine est bien évidemment toujours supérieure à la puissance hydraulique fournie au liquide et on appelle rendement de la pompe le coefficient η de proportionnalité qui lie ces deux paramètres.

On appelle puissance P_a à l'arbre la puissance mécanique requise pour faire fonctionner la pompe. On a donc la relation : $P_h = \eta \cdot P_a$ [5].

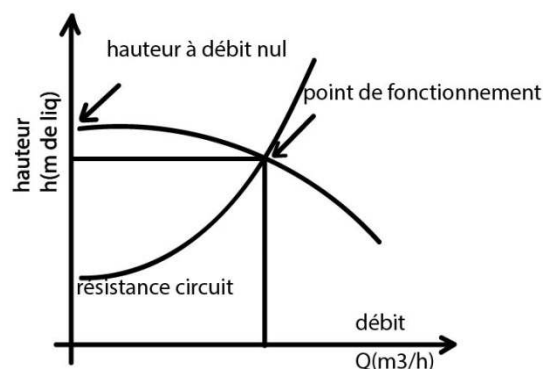


Figure 14 : Détermination du point de fonctionnement

Le rendement varie en fonction du point de fonctionnement, et dépend également de la machine. Pour les machines usuelles, les catalogues de constructeurs indiquent qu'il se situe le plus souvent entre 70 % et 90 %.

Une pompe centrifuge ne délivre ni une quantité de liquide fixée, ni une pression déterminée : le point de fonctionnement est déterminé par la résistance du circuit connecté à la pompe.

Elle 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 » [5].

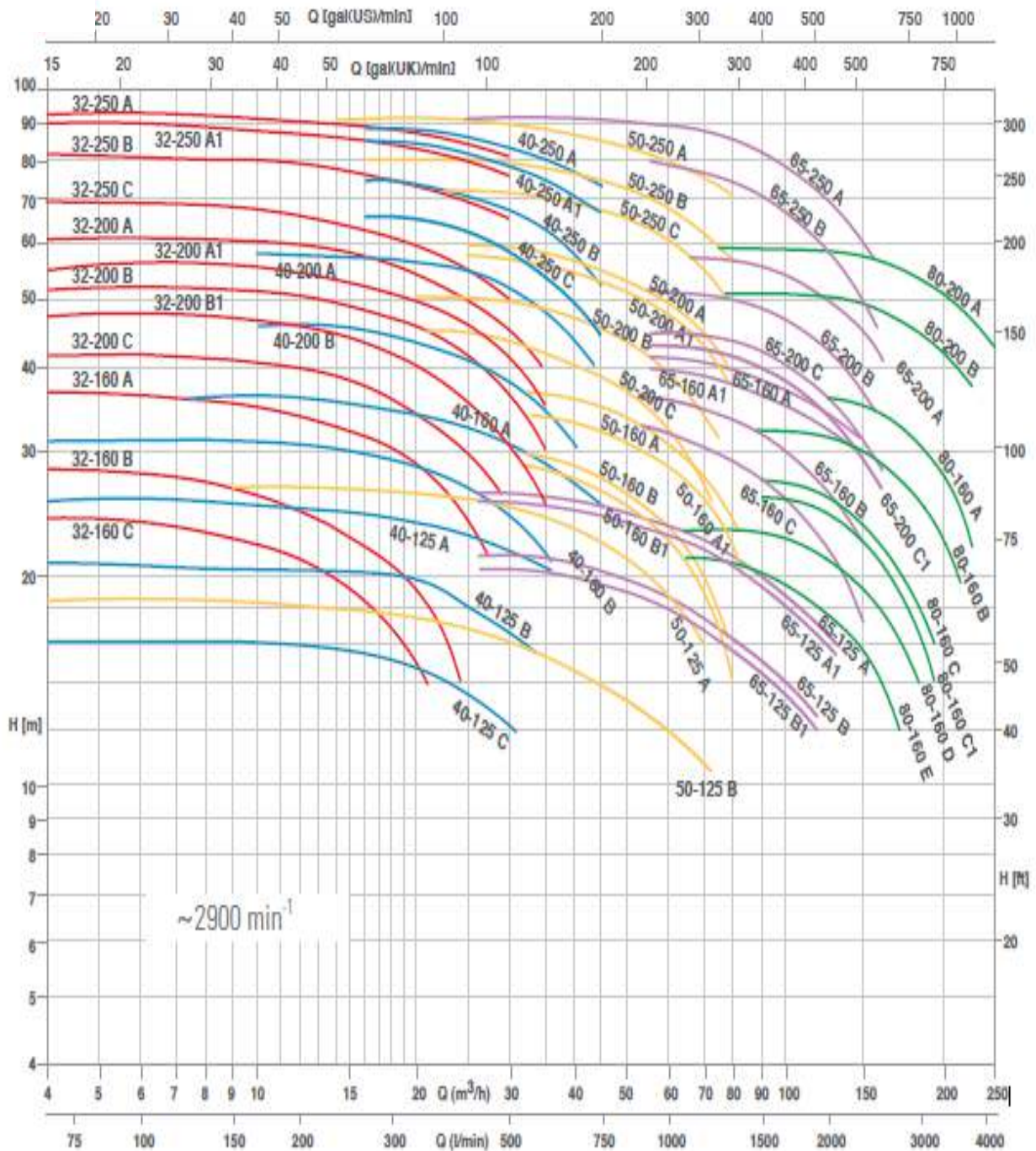


Figure 15 : Courbes caractéristiques des pompes centrifuges

Faisceaux typiques de courbes représentatives du fonctionnement d'une même machine équipée d'impulser de diamètres différents

Cette courbe caractéristique est le plus souvent décroissante : la pression diminue quand le débit augmente, et affecte une forme grossièrement parabolique.

En fonction des caractéristiques du circuit hydraulique de refoulement, les propriétés du liquide pompé vont varier tout en restant toujours situées sur cette courbe.

La pression obtenue lorsque la pompe fonctionne à débit nul est la pression maximale à laquelle le circuit aval puisse être soumis et constitue un paramètre de dimensionnement très important pour toute l'installation aval.

La courbe caractéristique d'une pompe dépend, pour un corps de pompe donné, de la dimension du diamètre extérieur de la roue. Les fournisseurs proposent en général des abaques définis dans le plan (Q, H), qui présentent les diverses courbes obtenues pour des diamètres variables de l'impulser, ainsi que le rendement de la machine en ces points, et, parfois la puissance à l'arbre (voir schéma type ci-contre).

V. Avantages et contraintes

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-amorçages. Enfin, leur plus grande simplicité mécanique a tendance à les rendre meilleur marché.

C'est pourquoi ce type de machine est très largement utilisé, notamment dans l'adduction d'eau, le transport d'hydrocarbures, l'industrie chimique, etc.

Cependant, comme toutes les machines, elles font l'objet de problèmes qui doivent être bien revus avant d'avoir recours à leur utilisation.

VI. Cavitation

Lors du pompage, le liquide situé à l'intérieur d'une pompe centrifuge ne possède pas une pression uniforme. Il s'y trouve notamment des zones présentant des dépressions plus ou moins accentuées.

Usure par cavitation d'un « impulser » de pompe centrifuge

Lorsque le liquide pompé est suffisamment proche de son point d'ébullition, il peut se produire que la pression en ces points tombe en deçà de sa tension de vapeur, de sorte qu'il se forme dans la pompe des bulles de vapeur. Lorsque ces bulles parviennent dans des zones où la pression remonte, elles implosent soudainement. L'implosion est accompagnée de bruit et, dans le cas où elle se produit au voisinage d'une paroi, elle est susceptible d'y occasionner des dégâts mécaniques en provoquant des micros perforations du métal. Lorsque ce phénomène se produit d'une manière suffisamment généralisée dans la masse du fluide, on dit que la pompe « cavité ».

La cavitation est l'ennemi numéro un de la pompe centrifuge. C'est un phénomène bruyant, qui peut détruire une machine en quelques minutes.

VII. NPSH

Pour y remédier, il faut qu'une pression suffisante soit toujours assurée à l'aspiration de la pompe. Seul le constructeur de la machine est à même de déterminer par des tests le caractère suffisant ou non de la hauteur manométrique totale à l'aspiration. Cette

caractéristique essentielle de la machine s'appelle le NPSH (de l'anglais Net Positive Section Head). On l'appelle « NPSH requis » de la pompe, qui doit toujours être inférieur au « NPSH disponible » de l'installation, qui dépend de la géométrie du circuit, du fluide, du réservoir en amont, etc. Pour une pompe donnée, le NPSH requis augmente avec le débit. Les constructeurs de machines donnent les courbes de NPSH requis en complément des courbes caractéristique dont il été fait mention plus haut [6].

VII.1. NPSH de la pompe

Le NPSH nécessaire dépend seulement des caractéristiques de la pompe et non de celles de l'installation. Il est variable pour chaque pompe en fonction du débit et de la vitesse de rotation. De plus il est toujours positif. NPSH nécessaire est indépendant de la nature du fluide transféré. Les valeurs de NPSH mentionnées sur la courbe caractéristiques de chaque pompe résultent de mesures effectuées avec de l'eau froide. Ces valeurs ont été obtenues sur un banc d'essai spécialement conçu pour mesurer le NPSH et peuvent être vérifiées à tous moment. Le NPSH nécessaire donne une indication sur la possibilité d'aspiration de la pompe en un point précis de la courbe.

La capacité nécessaire d'aspiration de la pompe est d'autant plus grande que la valeur NPSH est faible.

Grace à une construction adaptée, on peut obtenir de faibles valeurs de NPSH.

Ces valeurs jouent un rôle très important, notamment dans le cas de transfert de liquides proches du point d'ébullition (gaz liquéfiés).

VII.2. NPSH de l'installation (voir figure 16)

NPSH disponible équivaut à la réserve totale de pression au-dessus de la tension de vapeur du produit qui est disponible à la bride d'aspiration de la pompe. Cette notion résume en un terme toutes les données de l'installation qui ont une influence sur la hauteur d'aspiration de la pompe. Il suffit au constructeur de la pompe de connaître la valeur NPSH disponible pour pouvoir garantir un fonctionnement irréprochable de l'installation de pompage.

Les différentes données contenues dans la formule NPSH disponible sont :

- p_{atm} : pression atmosphérique (dépend de l'altitude) en [pa]

- p_v : pression absolue [pa] de vaporisation

- J_{asp} : pertes de charge de la conduite d'aspiration en [pa]

- H_h : charge hydraulique du fluide $H_h = \rho \cdot g \cdot h$

- H : hauteur géométrique (d'aspiration ou de refoulement ou les deux) en mètre d'eau

- ρ : masse volumique de liquide

- g : pesanteur [m/s^2]

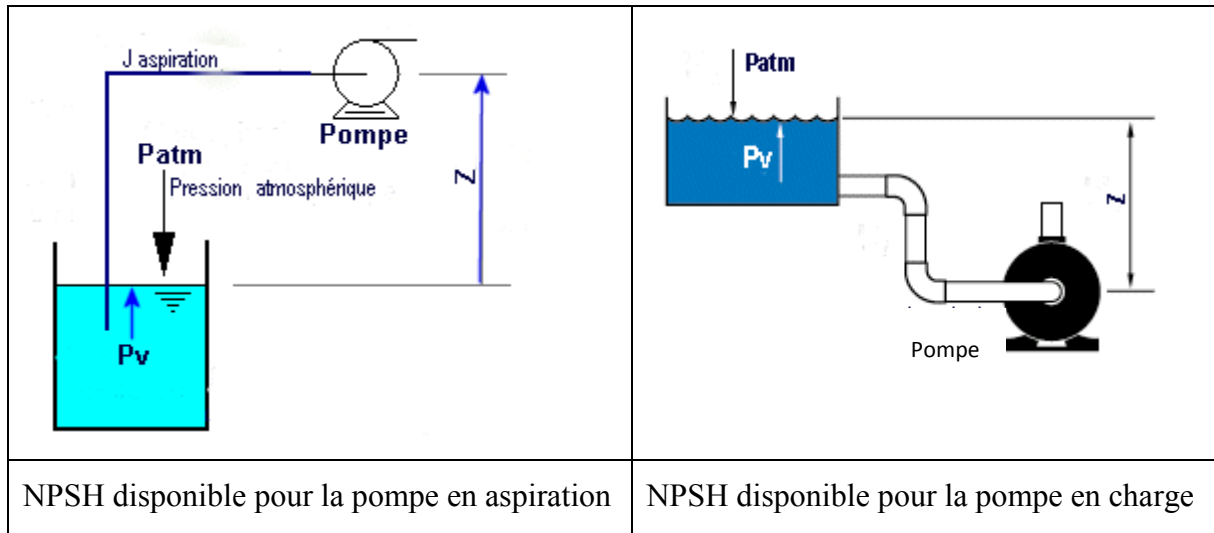


Figure 16 : NPSH disponible pour une pompe en aspiration et en charge

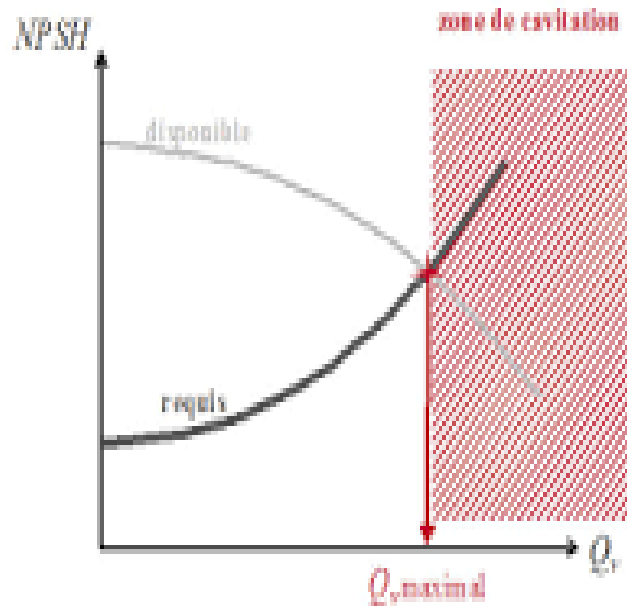


Figure 17 : les courbes de NPSH disponible et requis

VIII. Rappels théoriques des notions de Mécanique des Fluides

VIII.1. Définition :

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entres particules

élémentaires sont très faible de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient [7].

VIII.2. Fluide parfait :

Soit un système fluide, c'est-à-dire un volume délimité par une surface fermée Σ fictive ou non (voir figure 17).

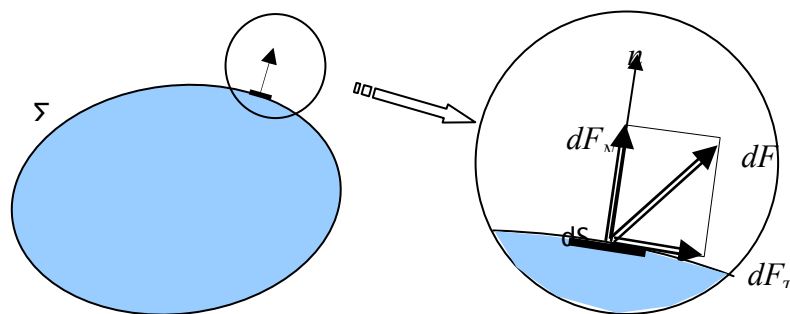


Figure 18 : Système de fluide

Considérons dF la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de normale n entre le fluide et le milieu extérieur.

On peut toujours décomposer dF en deux composantes :

- une composante dF_T tangentielle à dS .
- une composante dF_N normale à dS .

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement. C'est à dire quand la Composante dF_T est nulle. Autrement dit, la force dF est normale à l'élément de surface dS [7].

VIII.3. Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide.

C'est uniquement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, et on suppose que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent. La statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits[7].

a) Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.) [7].

b) Fluide compressible

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles. Par exemple, l'air, l'hydrogène, le méthane à l'état gazeux, sont considérés comme des fluides compressibles.

VIII.4. Caractéristiques physiques [7]

Masse volumique $\rho = \frac{m}{v}$

Où : ρ : Masse volumique en kg/m^3 , m : masse en kg, V : volume en m^3

Tableau 1 :Caractéristiques physiques des fluides

Fluide	Masse volumique $\rho(\text{kg/m}^3)$	Type de fluide
Benzène	$0,880. 10^3$	Incompressible
Chloroforme	$1,489. 10^3$	
Eau	10^3	
Huile d'olive	$0,918. 10^3$	
Mercure	$13,546. 10^3$	
Air	$0,001205. 10^3$	compressible ¹
Hydrogène	$0,000085. 10^3$	
Méthane	$0,000717. 10^3$	

IX. Viscosité

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel on mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide.

La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes.

Par exemple, si on considère un fluide visqueux placé entre deux plaques P_1 et P_2 ,

Tel que la plaque P_1 est fixe et la plaque P_2 est animée d'une vitesse \vec{V}_2 [7].

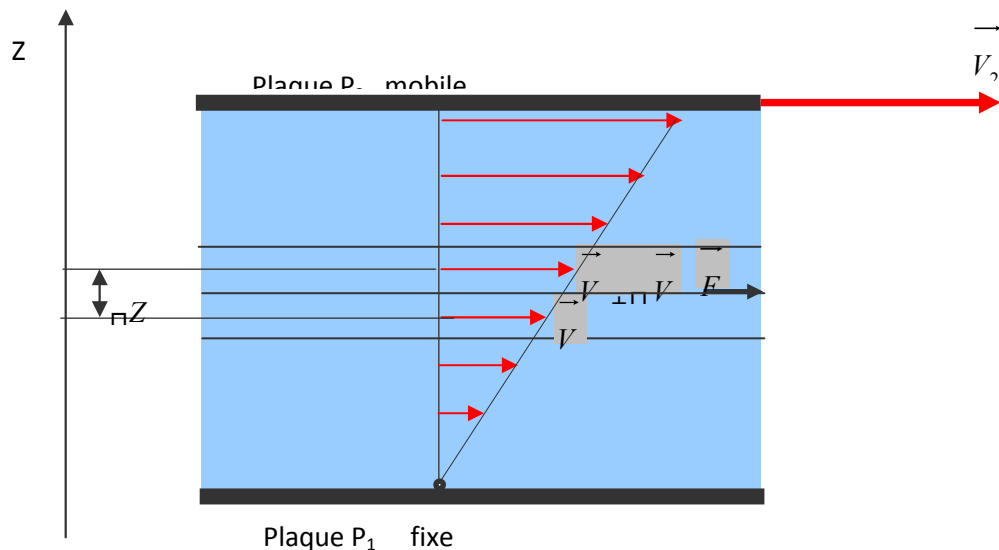


Figure 19 : Ecoulement entre deux plaques planes

Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement, la courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres. La vitesse de chaque couche est une fonction de la distance Z . On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique [7].

IX.1. Viscosité dynamique

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force qu'il faut exercer sur une plaque lorsqu'elle est plongée dans un courant et la variation de vitesse des veines de fluide entre les 2 faces de la plaque. ...Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte

de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière[7].

Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de Δz . La force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre. Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches soit Δv , à leur surface S et inversement proportionnelle à Δz :

Le facteur de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide[7]

$$F = \mu * S$$

Où :

F : force de glissement entre les couches en N.

μ : Viscosité dynamique en kg/m.s,

S : surface de contact entre deux couches en m^2 .

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en m/s.

ΔZ : Distance entre deux couches en m.

Remarque : Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde (Pas) ou Poiseuille (Pl) : $1 \text{ Pas} = 1 \text{ Pl} = 1 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$.

Tableau 2 : Valeurs de viscosité dynamique

Fluide	$\mu(\text{Pa}\cdot\text{s})$
eau (0 °C)	$1,787\cdot 10^{-3}$
eau (20 °C)	$1,002\cdot 10^{-3}$
eau (100 °C)	$0,2818\cdot 10^{-3}$
Huile d'olive (20 °C)	$\approx 100\cdot 10^{-3}$

glycérol (20 °C)	$\approx 1000 \cdot 10^{-3}$
Hydrogène (20 °C)	$0,86 \cdot 10^{-5}$
Oxygène (20 °C)	$1,95 \cdot 10^{-5}$

IX.2. Viscosité cinématique

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

L'unité de la viscosité cinématique est le m^2/s .

On utilise souvent le Stokes (St) comme unité de mesure de la viscosité cinématique.

Soit : $1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Lorsque la température augmente, la viscosité d'un fluide décroît car sa densité diminue.

IX.3. Différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique :

La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort). En d'autre terme, cette dernière exprime la « rigidité » d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement [7].

X. Conclusion

Les fluides peuvent être classés en fluides parfaits (sans frottement), fluides réels (avec frottement), fluides incompressibles (liquides) et fluides compressibles (gaz). Les fluides sont caractérisés par les propriétés suivantes : la masse volumique, le poids volumique, la densité et la viscosité. Ces propriétés seront utilisées ultérieurement.

Le comportement mécanique et les propriétés physiques des fluides compressibles et ceux des fluides incompressibles sont différents. En effet, les lois de la mécanique des fluides ne sont pas universelles. Elles sont applicables uniquement pour une classe de fluides donnée. Conformément à la classification qui a été faite, les lois relatives à chaque type de fluides seront exposées dans la suite du cours d'une façon indépendante.

XI. Dynamique des fluides incompressibles parfaits

XI.1. Introduction

Nous allons étudier les fluides en mouvement. Contrairement aux solides, les éléments d'un fluide en mouvement peuvent se déplacer à des vitesses différentes.

L'écoulement des fluides est un phénomène complexe. On s'intéresse aux équations fondamentales qui régissent la dynamique des fluides incompressibles parfaits, en particulier : - l'équation de continuité (conservation de la masse),

Théorème de Bernoulli (conservation de l'énergie) et, le théorème d'Euler (conservation de la quantité de mouvement) à partir duquel on établit les équations donnant la force dynamique exercée par les fluides en mouvement (d'où l'exemple des jets d'eau)[7].

XI.2. Ecoulement permanent :

L'écoulement d'un fluide est dit permanent si le champ des vectrices vitesses des particules fluides est constant dans le temps. Notons cependant que cela ne veut pas dire que le champ des vectrices vitesses est uniforme dans l'espace. L'écoulement permanent d'un fluide parfait incompressible est le seul que nous aurons à considérer dans ce cours. Un écoulement non permanent conduirait à considérer les effets d'inertie des masses fluides[7].

XI.3. Equation de continuité

Considérons une veine d'un fluide incompressible de masse volumique ρ animée d'un

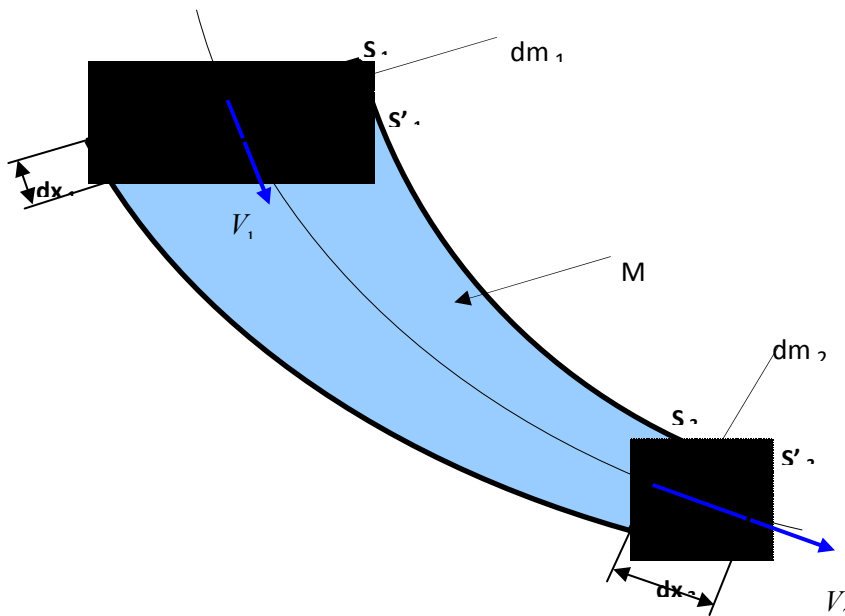


Figure 20 : Equation de continuité

écoulement permanent (voir le figure 19)

On désigne par :

S_1 et S_2 respectivement la section d'entrée et la section de sortie du fluide à l'instant t , S'_1 et S'_2 respectivement les sections d'entrée et de sortie du fluide à l'instant $t'=t+dt$,

\vec{V}_1 et \vec{V}_2 les vecteurs vitesses d'écoulement respectivement à travers les sections S_1 et S_2 de la veine.

dx_1 et dx_2 respectivement les déplacements des sections S_1 et S_2 pendant l'intervalle de temps dt , dm_1 : masse élémentaire entrante comprise entre les sections S_1 et S'_1 , dm_2 : masse élémentaire sortante comprise entre les sections S_2 et S'_2 ,

M : masse comprise entre S_1 et S_2 ,

dV_1 : volume élémentaire entrant compris entre les sections S_1 et S'_1 ,

dV_2 : volume élémentaire sortant compris entre les sections S_2 et S'_2 ,

A l'instant t : le fluide compris entre S_1 et S_2 a une masse égale à $(dm_1 + M)$

A l'instant $t+dt$: le fluide compris entre S'_1 et S'_2 a une masse égale à $(M + dm_2)$.

Par conservation de la masse : $dm_1 + M = M + dm_2$ en simplifiant par M on aura $dm_1 = dm_2$ Donc $\rho_1 \cdot dV_1 = \rho_2 \cdot dV_2$ ou encore $\rho_1 \cdot S \cdot dx_1 = \rho_2 \cdot S \cdot dx_2$. En divisant par dt on aboutit à : [7].

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \rho_2 \cdot S_2 \cdot \frac{dx_2}{dt}$$

Puisque le fluide est incompressible : $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ On peut simplifier et aboutir à l'équation de continuité suivante :

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \text{ Ou } q_{m1} = q_{m2}$$

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 \text{ Ou } q_{v1} = q_{v2}$$

XII. Théorème de Bernoulli

XII.1 Cas d'un écoulement sans échange de travail

Soit le schéma de la figure de la veine fluide avec les mêmes notations et les hypothèses suivantes :

- Le fluide est parfait et incompressible.
- L'écoulement est permanent.
- L'écoulement est dans une conduite parfaitement lisse.

On considère un axe Z vertical dirigé vers le haut.

On note Z_1 , Z_2 et Z respectivement les altitudes des centres de gravité des masses dm_1 , dm_2 et M .

On désigne par F_1 et F_2 respectivement les forces de pression du fluide agissant au niveau des sections S_1 et S_2 [8]

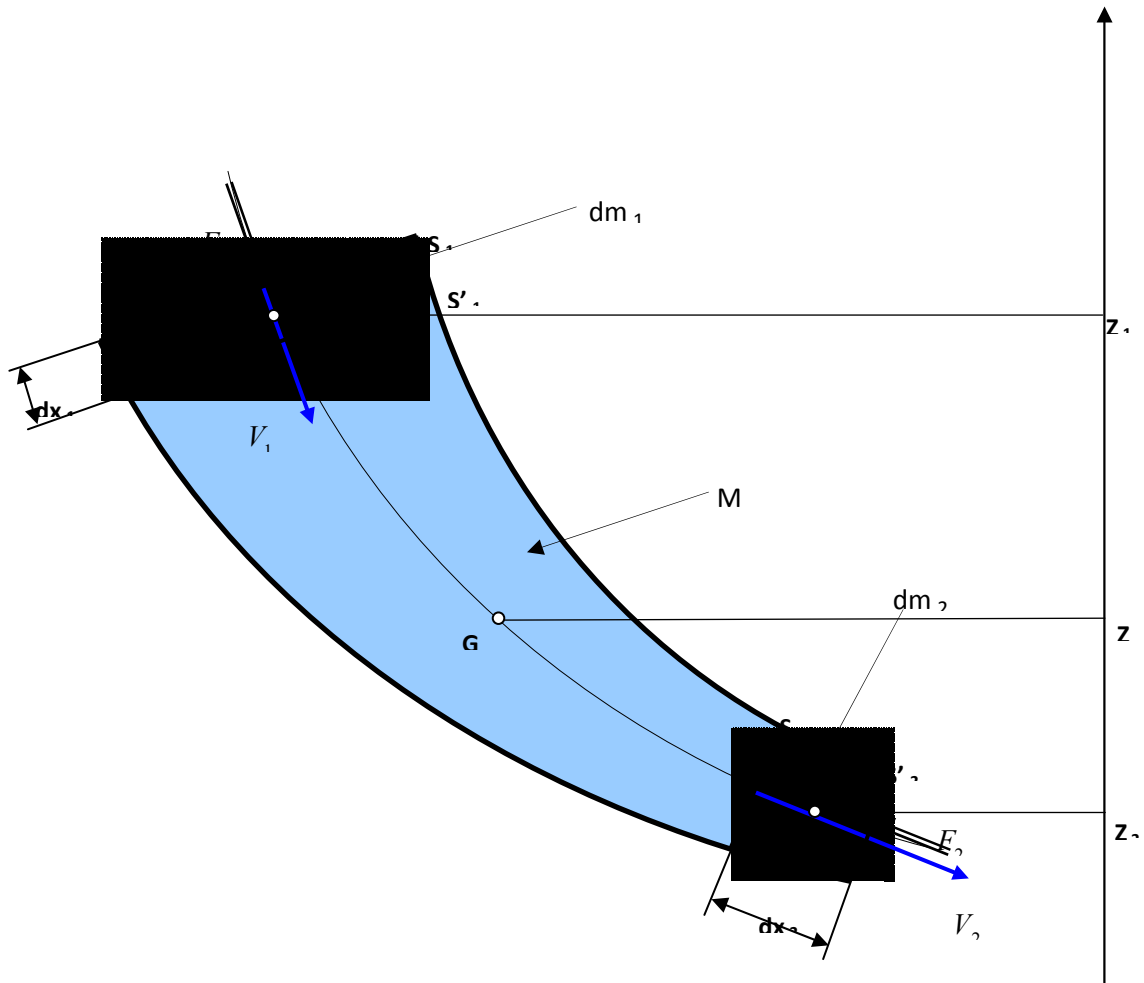


Figure 21 : Equation de Bernoulli

A l'instant t le fluide de masse $(dm_1 + M)$ est compris entre S_1 et S_2 . Son énergie mécanique est :

$$E_{mec} = E_{pot} + E_{cin} = dm_g \cdot z_1 + \frac{1}{2} \cdot dm_1 \cdot v_1^2 + \int_{S_1}^{S_2} dm_2 \cdot v_2^2 + mgz$$

E_{mec} : Energie mécanique

E_{pt} : Energie potentielle

E_{cin} : Energie cinétique

A l'instant $t'=t+dt$ le fluide de masse $(M+dm_2)$ est compris entre S'_1 et S'_2 . Son

énergie mécanique est : $E'_{mec} = E'_{pot} + E'_{cin} = mgz + dm_g \cdot z_2 + \int_{S'_1}^{S'_2} dm_2 \cdot v_2 + \frac{1}{2} \cdot dm_2 \cdot v_2$

On applique le théorème de l'énergie mécanique au fluide entre t et t' : « La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces extérieures »

$$\begin{aligned} E'_{mec} - E_{mec} &= W_{force\ de\ pretion} = F_1 \cdot dx_1 - F_2 \cdot dx_2 \Leftrightarrow E'_{mec} - E_{mec} \\ &= p_1 \cdot s_1 \cdot dx_1 - p_2 \cdot s_2 \cdot dx_2 = p_1 \cdot dv_1 - p_2 \cdot dv_2 \end{aligned}$$

Par conservation de la masse : $dm_1 = dm_2 = dm$ et puisque le fluide est incompressible $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, On aboutit à l'équation de Bernoulli :

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{1}{2g} \cdot v_1^2 + z_1 = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{1}{2g} \cdot v_2^2 + z_2 \quad (1)$$

XIII Perte de charge [9]

Le fluide réel et incompressible suppose l'existence de forces élémentaire de frottement visqueux qui contribue dans l'équation de bilan par un travail négatif et donner naissance à des pertes de charge.

XIII.1 Pertes de charges singulières

Quand la conduite subit de brusque variation de section ou de direction, il se produit des pertes de charge dites singulières, elles sont généralement mesurable et font partie des caractéristiques de l'installation.

XIII.2 Pertes de charge linéaires

Les pertes de charges linéaires, sont des pertes de charge réparties régulièrement le long des conduits. En chaque point d'un écoulement permanent, les caractéristiques de l'écoulement sont bien définies et ne dépendent pas du temps.

XIV Régimes d'écoulement [10]

XIV.1 Nombre de Reynolds

Les expériences réalisées par **Reynolds** en 1883 lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : régime laminaire et régime turbulent.

En utilisant des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, **Reynolds** a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de **Reynolds** Re et donné par :

$$Re = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu}$$

ρ : masse volumique de fluide

v_m : vitesse moyenne

D : diamètre de la conduite

μ : viscosité dynamique de fluide

L'expérience montre que si :

- $Re < 2000$ le régime est laminaire
- $2000 < Re < 3200$ le régime est transitoire
- $Re > 3200$ le régime est turbulent

XIV.2 Cas de l'écoulement laminaire

Dans ce cas on peut montrer que le coefficient λ est uniquement fonction du nombre de Reynolds Re ; l'état de la surface n'intervient pas et donc ne dépend pas de la hauteur moyenne des aspérités du tuyau, ni de la nature de la tuyauterie.

$$\text{Avec : } \lambda = \frac{64}{Re}$$

XIV.3 Cas de l'écoulement turbulent

Les phénomènes d'écoulement sont beaucoup plus complexes et la détermination du coefficient de perte de charge λ résulte de mesures expérimentales. C'est ce qui explique la diversité des formules anciennes qui ont été proposées pour sa détermination. En régime turbulent l'état de la surface devient sensible et son influence est d'autant plus grande que le nombre Reynolds. Tous les travaux ont montré l'influence de la rugosité et on s'est attaché par la suite à chercher la variation du coefficient en fonction du nombre de Reynolds Re et de la rugosité k du tuyau.

Exemple d'une équation de régime d'écoulement :

Equation de Blasius pour les conduites lisses et $4000 < Re < 10^5$:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

Equation de Nikuradse pour les conduites lisse et $Re > 10^5$:

$$\lambda = \frac{0.221}{Re^{0.237}} + 0.0032$$

XV. Théorème d'Euler :

Une application directe du théorème d'Euler est l'évaluation des forces exercées par les jets d'eau. Celles-ci sont exploitées dans divers domaines : production de l'énergie électrique à partir de l'énergie hydraulique grâce aux turbines, coupe des matériaux, etc. Le théorème d'Euler résulte de l'application du théorème de quantité de mouvement à l'écoulement d'un fluide :

$$\Sigma F_{ext} = \frac{dp}{dt}(2)$$

Avec $p = m.v$: quantité de mouvement.

Ce théorème permet de déterminer les efforts exercés par le fluide en mouvement sur les objets qui les environnent.

Enoncé

La résultante (ΣF_{ext}) des actions mécaniques extérieures exercées sur un fluide isolé (fluide contenu dans l'enveloppe limitée par S_1 et S_2) est égale à la variation de la quantité de mouvement du fluide qui entre en S_1 à une vitesse

$$\Sigma F_{ext} = q_m \cdot (v_2 - v_1) \quad (3)$$

V_1 et sort par S_2 à une vitesse V_2 [7].

Exemple:

Considérons un obstacle symétrique par rapport à l'axe Z . Le jet d'un écoulement de débit massique q_m , de vitesse V_1 et de direction parallèle à l'axe Z , percute l'obstacle qui le dévie d'un angle β . Le fluide quitte l'obstacle à une vitesse V_2 de

Direction faisant un angle β par rapport à l'axe Z

La quantité de mouvement du fluide à l'entrée de l'obstacle est : $q_m \cdot V_1$ porté par l'axe Z .

La quantité de mouvement du fluide à la sortie de l'obstacle est : $q_m \cdot V_2 \cdot \cos\beta$ porté par l'axe Z .

La force opposée au jet étant égale à la variation de la quantité de mouvement [7].

$$R = q \cdot v_{m2} \cdot \cos \beta - q \cdot v_{m1} \quad (4)$$

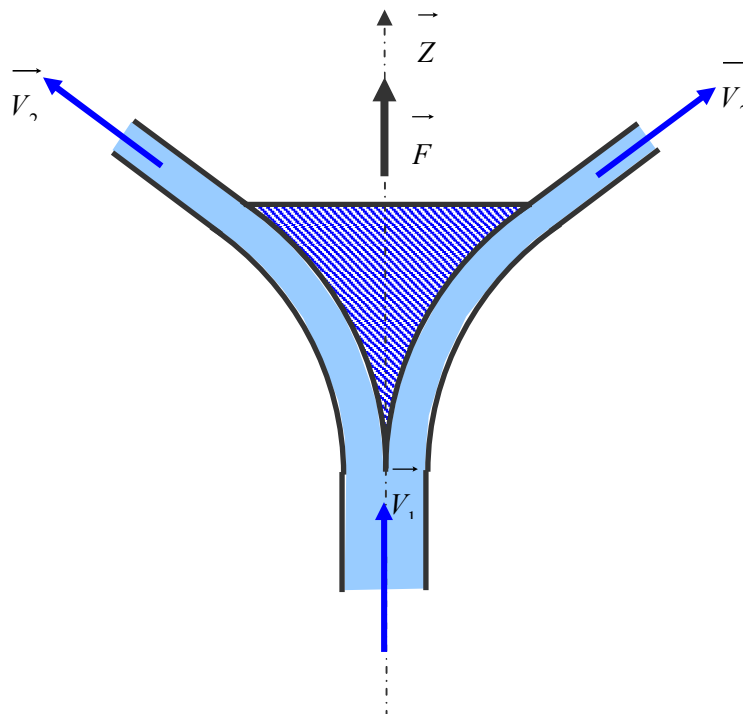


Figure 22 : Equation d'Euler

La force F exercée sur l'obstacle en direction de Z est égale et opposée à celle-ci :

$$F = q_m \cdot (v_1 - v_2) \cos \beta \quad (5)$$

X. Conclusion :

Les lois et les équations établies dans ce chapitre en particulier l'équation de Bernoulli ont un intérêt pratique considérable du moment où elles permettent de comprendre le principe de fonctionnement de beaucoup d'instruments de mesure de débits tels que le tube de Pitot, le tube de Venturi et le diaphragme...etc.

Réservées aux fluides incompressibles, ces lois et équations peuvent être employées dans certains cas particulier pour les fluides compressibles à faible variation de pression. Une telle variation existe dans plusieurs cas pratiques. Cependant, lorsqu'on veut prendre en considération la compressibilité dans les calculs, il est nécessaire d'employer les formules appropriées.

Ces notions nous permettront d'appliquer le théorème de Bernoulli au niveau du fonctionnement d'une pompe sur une conduite que nous allons aborder dans le chapitre suivant.

Chapitre III : Calcul de perte de charge totale- Point de fonctionnement

I. Introduction :

Pour l'étude de la station de pompage d'eau de la station thermique à la société de Hammam Boughrara de la Wilaya de Tlemcen un état des lieux a été effectué sur place. Des prises de photographies ont été prises, par endroits (voir chapitre I) ainsi que des relevés des circuits hydrauliques, à savoir les diamètres des conduites et leurs longueurs (voir figure 1 : schéma synoptique du réseau hydraulique de la station de pompage d'eau chaude)).

Dans cette station deux pompes sont installées en parallèle, sur deux conduites placées en parallèle, comme le montrent les schémas des figures 1-a et 1-b.

II. Composition de notre Station de Pompage :

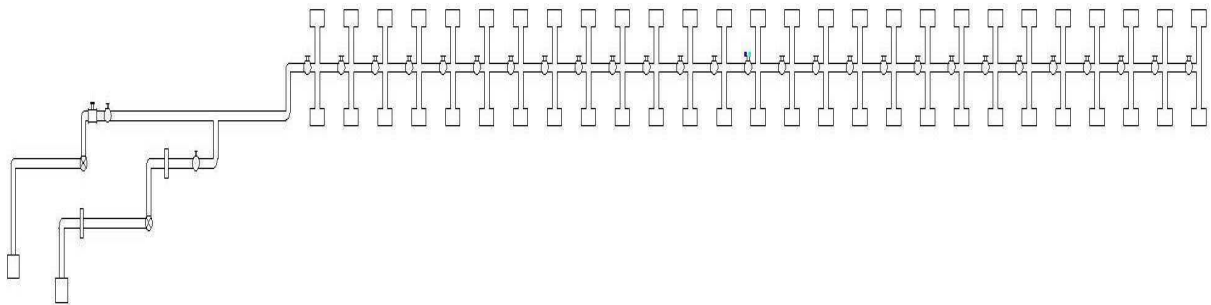


Figure 23 : plan synoptique du réseau hydraulique de la station de pompage d'eau chaude

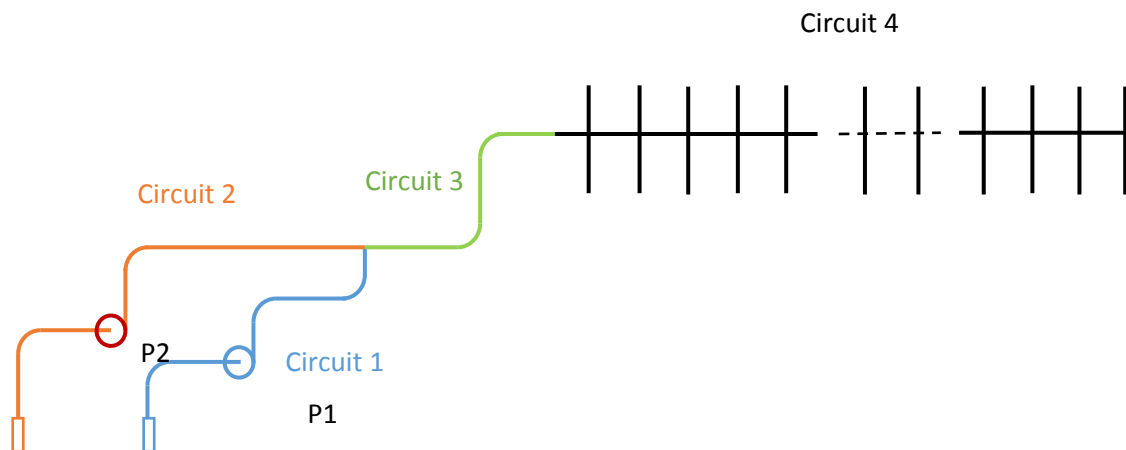


Figure 24 : Schéma des quatre circuits composant le réseau hydraulique de la station de pompage

III. Présentation des circuits hydrauliques :

Notre station de pompage est composée de 4 circuits.

1/ Le circuit hydraulique N°1 (voir figure 2) est constitué d'une pompe P1, d'une crépine, de 6 conduites, de 3 coudes droits et d'une vanne.

Soit conduite 1 : $D_1 = 90 \text{ mm}$, $L_1 = H_1 = 5.5 \text{ m}$

Soit conduite 2 : $D_2 = 90 \text{ mm}$, $L_2 = 3.05 \text{ m}$

Soit conduite 3 : $D_3 = 90 \text{ mm}$, $L_3 = H_3 = 30 \text{ cm}$

Soit conduite 4 : $D_4 = 90 \text{ mm}$, $L_4 = 65 \text{ cm}$

Soit conduite 5 : $D_5 = 100 \text{ mm}$, $L_5 = 25 \text{ cm}$

Soit conduite 6 : $D_6 = 100 \text{ mm}$, $L_6 = H_6 = 20 \text{ cm}$

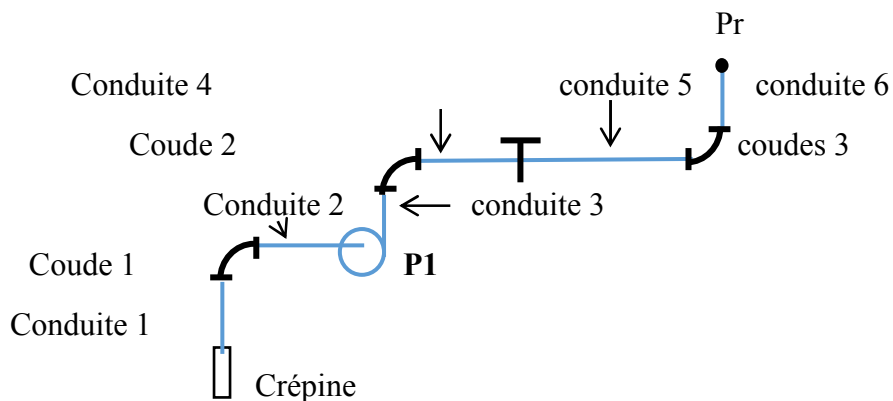


Figure 25: Schéma du circuit hydraulique N°1

2/ Le circuit hydraulique N°2 (voir figure 3) est constitué d'une pompe P2, d'une crépine, de 4 conduites en acier, de 2 coudes droits et d'une vanne.

Soit conduite 1 : $D_1 = 90 \text{ mm}$, $L_1 = H_1 = 5.5 \text{ m}$

Soit conduite 2 : $D_2 = 90 \text{ mm}$, $L_2 = 1.5 \text{ m}$

Soit conduite 3 : $D_3 = 90 \text{ mm}$, $L_3 = H_3 = 0.4 \text{ m}$

Soit conduite 4 : $D_4 = 90 \text{ mm}$, $L_4 = 0.35 \text{ m}$

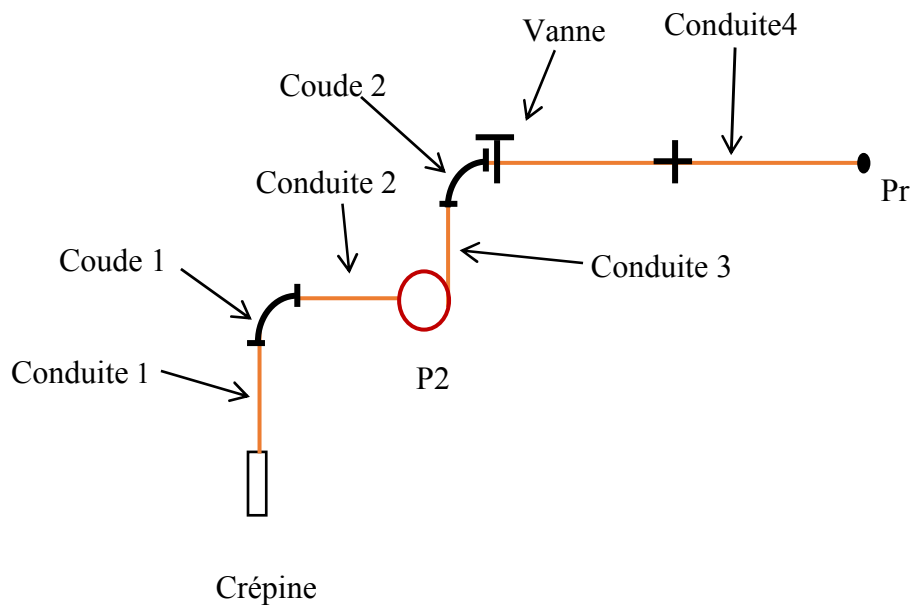


Figure 26: Schéma du circuit hydraulique N°2

3/ Le circuit hydraulique N°3 (voir figure 4) est constitué de 3 conduites, de 2 coudes et de 1 vanne.

Soit conduite 1 : $D_1 = 90 \text{ mm}$, $L_1 = 100 \text{ m}$

Soit conduite 2 : $D_2 = 90 \text{ mm}$, $L_2 = H_2 = 1,5 \text{ m}$

Soit conduite 3 : $D_3 = 33 \text{ mm}$, $L_3 = 3 \text{ m}$

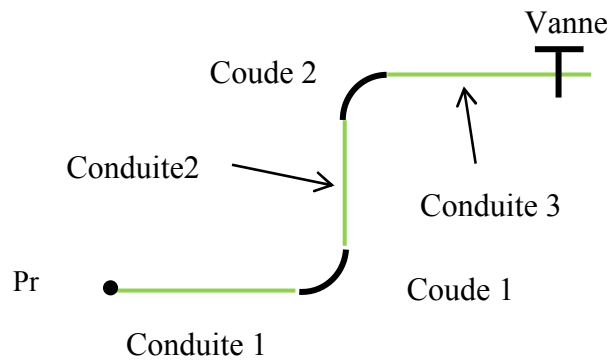


Figure 27: Schéma du circuit hydraulique N°3

4/ Le circuit hydraulique N°4 (voir figure 27) est constitué de 27 branches (2 conduites en //) de diamètre $D = 26$ mm, de 2m, de distribution d'eau chaude dans les douches coté hommes et coté femmes, comprenant 26 tronçons de conduites, en série, de diamètre $D = 33$ mm de longueur 2m, et de 26 vannes, une vanne par tronçon.

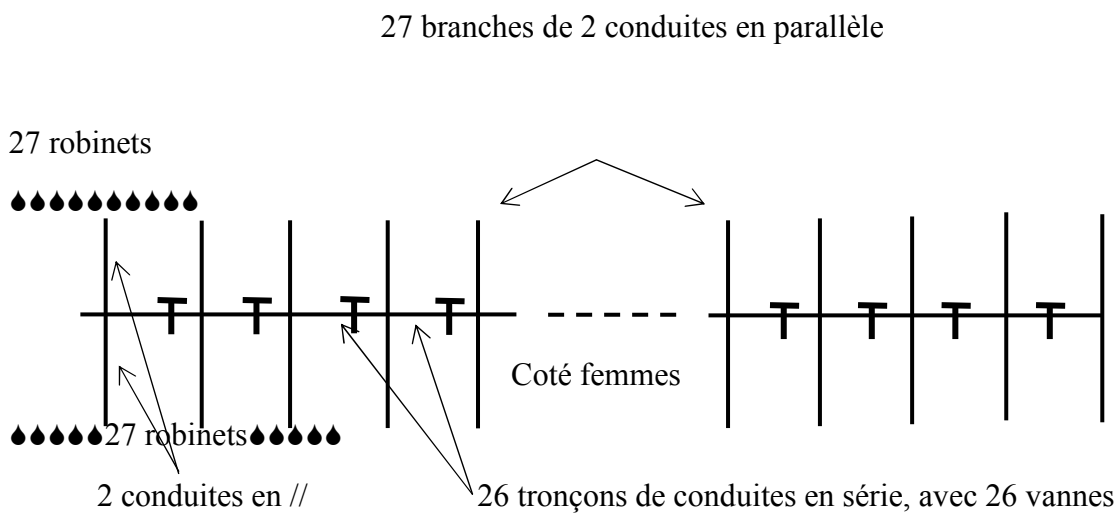


Figure 28 : Schéma du circuit hydraulique N°4

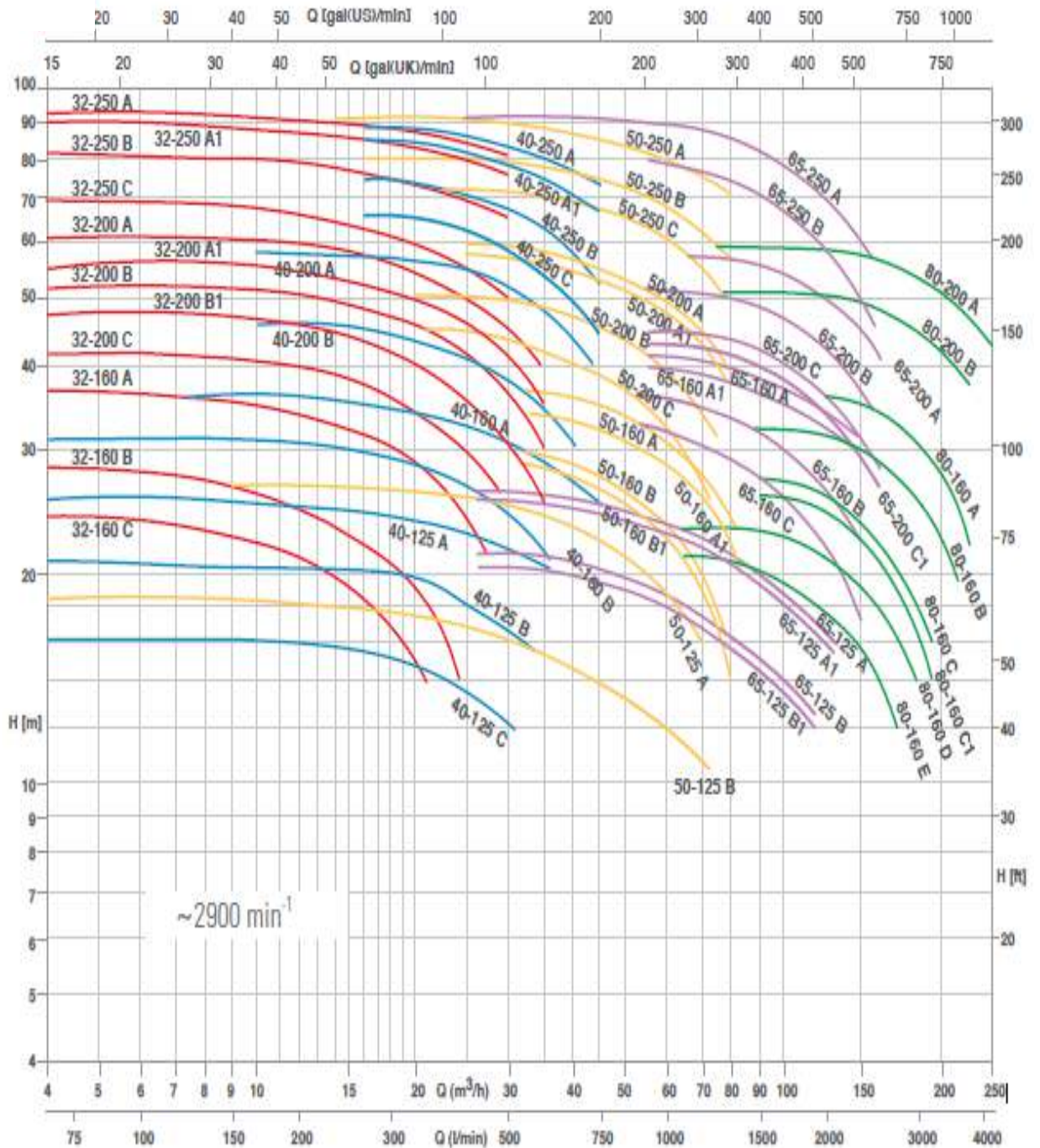


Figure 29 : Courbes caractéristiques des pompes centrifuges de type Pentax

IV. Calcul des pertes de charge de chaque circuit hydraulique, pour 3 valeurs de débit :

Pour le calcul des pertes de charge totale et le tracer leurs courbes, nous avons proposé 3 valeurs de débit différentes : 1 valeur avant 3.25l/s et 1 valeur après 3.25l/s pour les deux circuits hydrauliques N°1 et N°2.

Pour le circuit hydraulique N°1 :

Ecrivons l'équation de Bernoulli, entre les sections 1 et 2, 2 et 3.

- Pour $Q_v = 2 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 3.25 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 4 \text{ l/s}$

Pour le circuit hydraulique N° 2 :

Ecrivons l'équation de Bernoulli, entre les sections 1 et 2, 2 et 3, 3 et 4.

- Pour $Q_v = 2 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 3.25 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 4 \text{ l/s}$

Pour le calcul des pertes de charge totale et le trace de leurs courbes, nous avons proposé 3 valeurs de débit différent : 1 valeur avant 6.5l/s et 1 valeur après 6.5l/s pour le circuit hydraulique N°3

Pour le circuit hydraulique N°3 :

Ecrivons l'équation de Bernoulli, entre les sections 3 et 4.

- Pour $Q_v = 4 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 6.5 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 8 \text{ l/s}$

Pour le calcul des pertes de charge totale et le tracer leurs courbes, nous avons proposé 3 valeurs de débit différent : 2 valeur après 0.12l/s pour le circuit hydraulique N°4

Pour le circuit hydraulique N°4 :

Ecrivons l'équation de Bernoulli.

- Pour $Q_v = 0.12 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 0.2 \text{ l/s}$
- Pour $Q_v = 0.3 \text{ l/s}$

V. Circuit hydraulique N°1 (figure29)

Calcul des pertes de charge pour les conditions de fonctionnement de la station de pompage :
 $H_n=50\text{m}$ et $Q_v=3.25\text{l/s}$

VI. Circuit hydraulique N°1 :

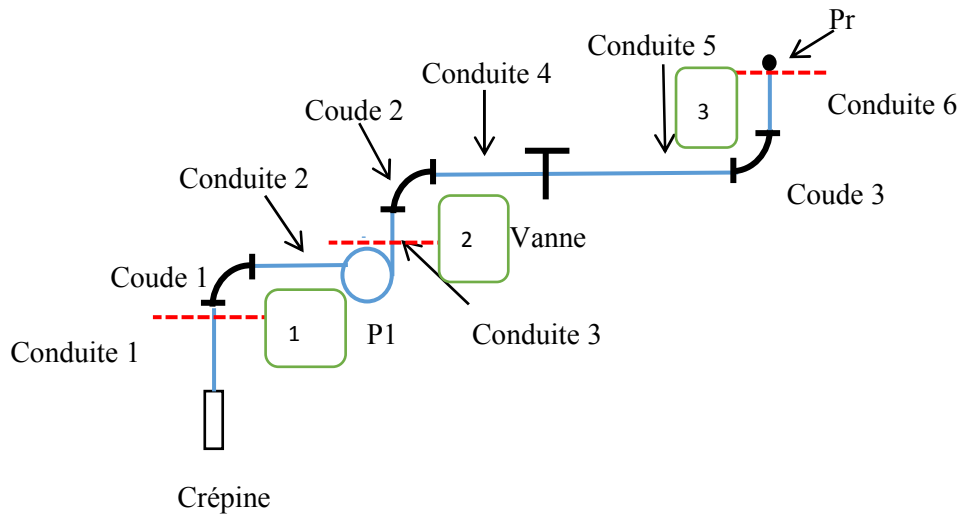


Figure 30 : circuit hydraulique N°1

$H_n = 50m$ Pour $Q_v = 3.25l/s$ (D'après la courbe caractéristique de la pompe Pentax).

$H_n=50m$, valeurs correspondent à $q_v=3.25$ d'après la courbe caractéristique de la pompe pentax, de code 50-200B (inscrit sur la plaque signalétique de cette pompe) voir la photo de la figure 30

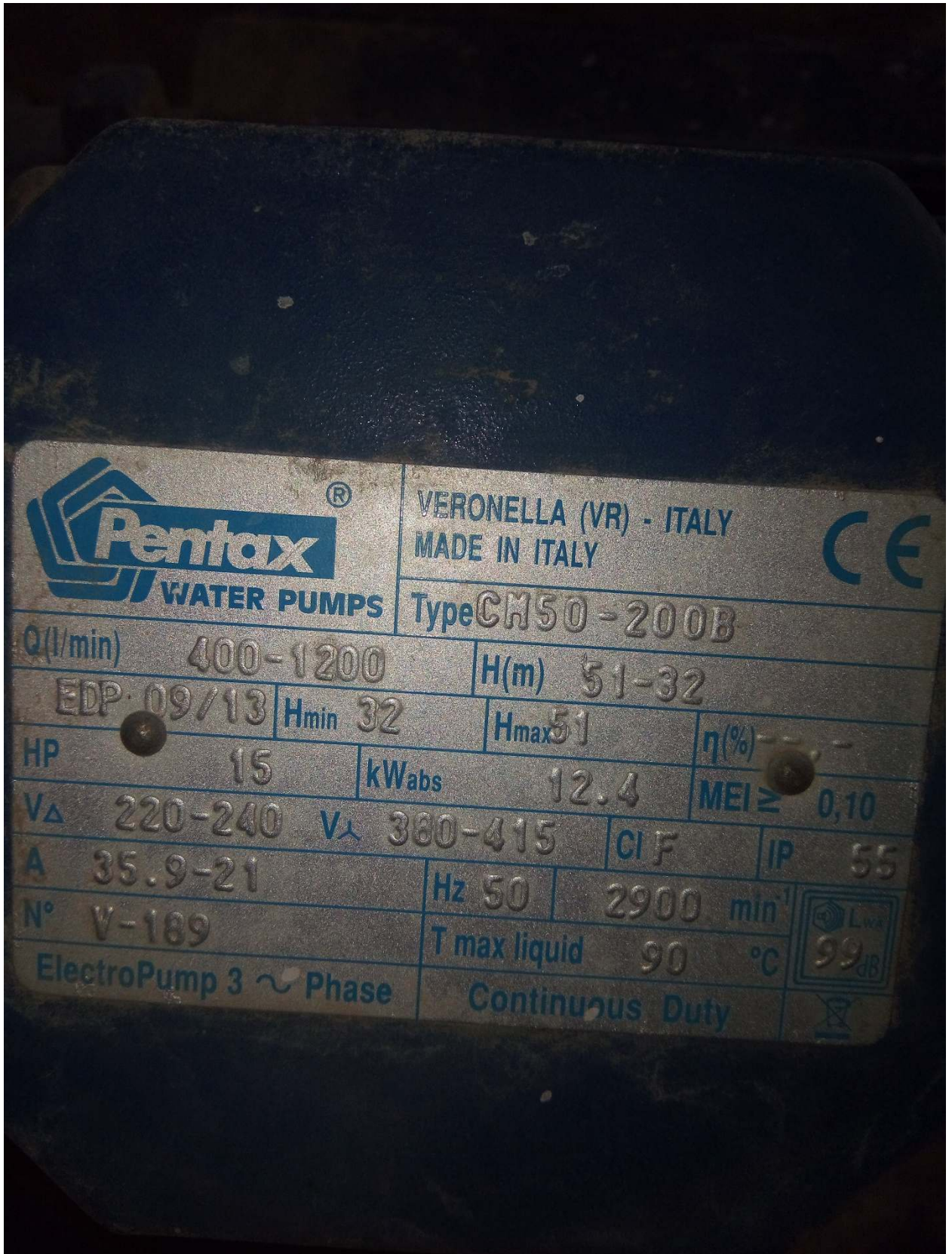


Figure 31 : photo de plaque de la pompe Pentax

Appliquons le théorème de Bernoulli entre la surface libre de la bache d'eau (1) et la sortie de la pompe 1 (2) :

$$p_1 = p_{atm} = 10^5 \text{ pa}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_n = \frac{p_{s1}}{\rho g} + \frac{v_{s1}^2}{2g} + z_{s1}$$

Pour cette conduite :

$$p_1 = p_{atm} = 10^5 \text{ pa}$$

$$D_1 = 90 \text{ mm}$$

$$L_1 = 3.05 \text{ m}$$

$$Q_v = v \cdot s$$

$$v_{s1} = \frac{Q_v}{s}$$

$$v_{s1} = \frac{Q_v}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{3,25 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,09^2}{4}}$$

$$v_{s1} = 0,51 \text{ m/s}$$

$$\frac{P_{s1}}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + H_m - \frac{v_{s1}^2}{2g} - z_{s1}$$

$$\frac{P_{s1}}{\rho g} = \frac{10^5}{992 \cdot 9,81} + 5 + 50 - \frac{0,51^2}{2 \cdot 9,81} - 5,5$$

$$P_{s1} = 5,81 \cdot 10^5 \text{ pa}$$

Pour $T=45^\circ$, $\rho=992 \text{ kg/m}^3$ et $\mu=6.6 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$ (d'après le tableau thermodynamique)

Appliquons le théorème de Bernoulli entre la sortie de la pompe 1 (2) jusqu'à (3)

$$\frac{p_{s1}}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} + z_e = \frac{p_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} + z_r + \left(\xi_{coud} + \xi_v + \frac{\lambda_1 \cdot L_t}{D} \right) \frac{Q_{v1}^2}{2g \cdot s_1^2} + \left(\xi_{coud} + \frac{\lambda_2 \cdot L_t}{D} \right) \frac{Q_{v1}^2}{2g s_2^2}$$

On cherche la valeur λ_1 sachant que : $\begin{cases} D = 90 \text{ mm.} \\ K = 0,05 \text{ mm (acier)} \end{cases}$

$$\frac{K_1}{D_1} = \frac{0,05}{90} = 5,5 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{s1} = \frac{Q_{v1}}{s_1} = \frac{3,25 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,09^2}{4}} = 0,51 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{s1} \cdot D}{\mu} = \frac{992 \cdot 0,51 \cdot 0,09}{6,6 \cdot 10^{-4}} = 68989,09$$

Alors le régime est turbulent.

$$\left. \begin{array}{l} R_e = 68989,09 \\ \frac{K}{D} = 5,55 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

A l'aide du diagramme de Moody on déduit : $\lambda_1 = 0,0162$

On cherche λ_2 sachant que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{K}{D} = \frac{0,05}{100} = 5 \cdot 10^{-4} \\ v_{m2} = \frac{Q_V}{S} = \frac{3,25 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,1^2}{4}} = 0,41 \text{ m/s} \\ R_e = \frac{\rho \cdot v_{m2} \cdot D}{\mu} = \frac{992 \cdot 0,41 \cdot 0,1}{6,6 \cdot 10^{-4}} = 61624,24 \end{array} \right.$$

Alors le régime est turbulent.

$$\left\{ \begin{array}{l} R_e = 61624,24 \\ \frac{K_2}{D_2} = 5 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

A l'aide du diagramme de Moody on déduit : $\lambda_2 = 0,0160$.

D'après l'équation 2 on a :

$$\Delta H_1 = \left(3 + 0,65 + \frac{0,0162 \cdot 95 \cdot 10^{-2}}{0,09} \right) \frac{(3,25 \cdot 10^{-3})^2}{2g \left(\pi \cdot \frac{0,09^2}{4} \right)^2} = 5,08 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Pour $Q_v = 3,25$ l/s

$$\Delta H_2 = \left(3,5 + \frac{0,0160 \cdot 45 \cdot 10^{-2}}{0,1} \right) \frac{(3,25 \cdot 10^{-3})^2}{2g \left(\pi \cdot \frac{0,1^2}{4} \right)^2} = 3,11 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta H(3,25 \text{ l/s}) = (5,08 + 3,11) 10^{-2} = 8,19 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Pour $Q_v = 2$ l/s, nous utilisons l'équation 2 pour déterminer le perte de charge ΔH (2 l/s).

$$\Delta H_1 = 1,92 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = 1,18 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Pour $Q_v = 4$ l/s, nous utilisons l'équation 2 pour déterminer le perte de charge ΔH (4 l/s).

$$\Delta H_1 = 7,69 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = 4,72. 10^{-2}m$$

$$\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 12,41. 10^{-2}m$$

Soit le tableau 3 des valeurs $\Delta H_t = f(Q_v)$ pour le circuit 1 :

Tableau 3 : les pertes de charge pour le circuit hydraulique N°1

Q_v (l/s)	0	2	3.25	4
ΔH (m)	0	0.03	0.08	0.12

Traçons la courbe caractéristique de perte de charge pour ce circuit

Circuit 1 :

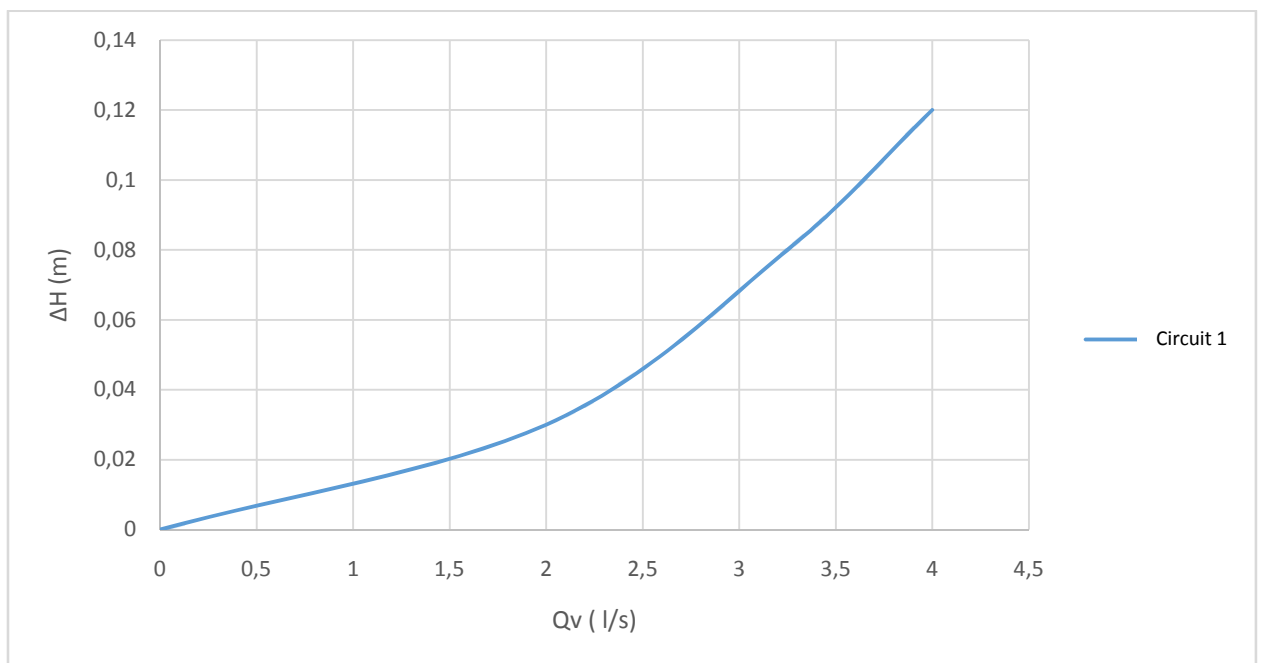


Figure 32 : courbe de perte de charge totale du circuit hydraulique N°1

-cette courbe (courbe bleu) est représenté le courbe de perte de charge en fonction de débit pour le circuit 1

VII. Circuit hydraulique N°2 (figure 32)

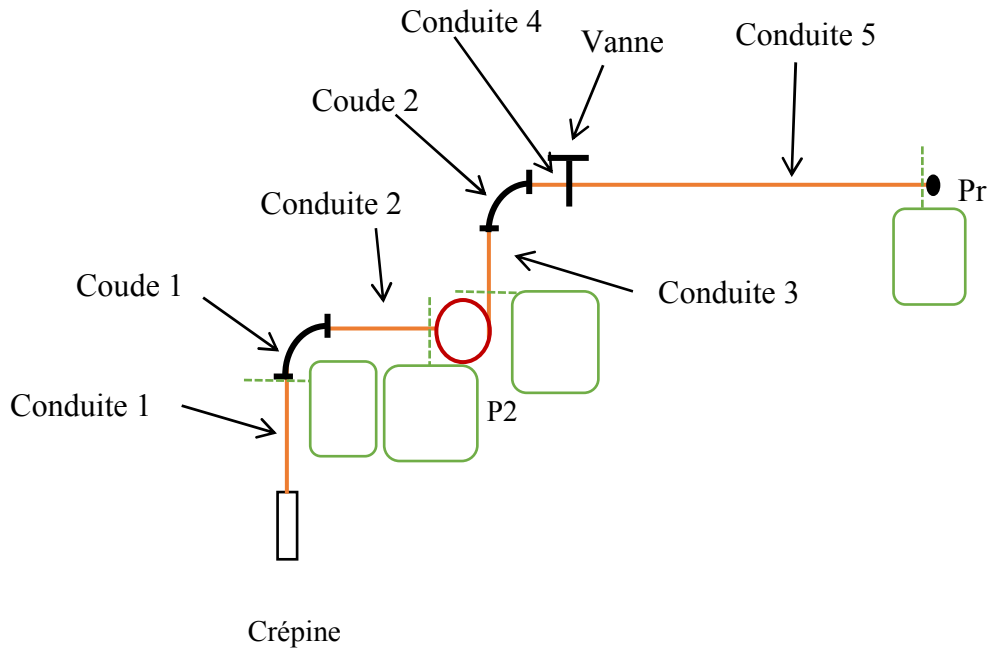


Figure 33 : circuit hydraulique N°2

Application de l'équation de Bernoulli entre (1) et (2) : $p_1 ? p_{e2} ?$

$$\frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + z_2 = \frac{p_{e2}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{e2}^2}{2 \cdot g} + z_{e2} + \left(\xi_{cri} + \xi_{coud} + \frac{\lambda \cdot L_t}{D} \right) \frac{v_e^2}{2 \cdot g}$$

$$P_{e2} = \rho g H_2 = 0,53 \cdot 10^5 \text{ pas}$$

Pour la conduite 2 :

$$\begin{cases} P_2 = P_{atm} = 10^5 \\ D_2 = 90 \text{ mm} \\ L_2 = 1,5 \text{ m} \end{cases}$$

$$\frac{P_2 - P_{e2}}{\rho g} + (z_2 - z_e) = \frac{(1 - 0,5)10^5}{\rho g} + (5 - 5,5) = 4,32$$

$$\left(\xi_{cri} + \xi_{coud} + \frac{\lambda \cdot L_t}{D} \right) = 4,32 \cdot \frac{2gs_2^2}{Q_{v2}^2} = 324,76$$

$$Q_v = 2 \text{ l/s}$$

$$\Delta H = 1,63 \text{ m}$$

$$Q_v = 4 \text{ l/s}$$

$$\Delta H = 6,54 \text{ m}$$

Application de l'équation de Bernoulli entre (3) et (4) :

$$\frac{P_{s2}}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} + z_2 = \frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} + z_{2'} + \left(\xi_v + \xi_{coud} + \xi_T + \frac{\lambda \cdot L_t}{D} \right) \frac{Q_{v2}^2}{2g s_2^2}$$

$$Q_v = 3,25 \text{ l/s}$$

$$Q_v = v \cdot s$$

$$D = 90 \text{ mm.}$$

$$K = 0,05 \text{ mm (acier)}$$

$$L = 5 \text{ m.}$$

$$\frac{K}{D} = \frac{0,05}{90} = 5,5 \cdot 10^{-4}$$

$$u_m = \frac{Q_v}{s} = \frac{3,25 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,09^2}{4}} = 0,51 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot u_m \cdot D}{\mu} = \frac{992 \cdot 0,51 \cdot 0,09}{6,6 \cdot 10^{-4}} = 68989,09$$

$$\left(3 + 0,65 + 10 + \frac{0,0162 \cdot 115 \cdot 10^{-2}}{0,09} \right) \cdot \frac{(3,25 \cdot 10^{-3})^2}{2,981 \cdot \left(\pi \frac{0,09^2}{4} \right)^2}$$

$$\Delta H = 0,18 \text{ m}$$

En utilisant l'équation pour déterminer la perte de charge : $\Delta H(2 \text{ l/s})$

$$Q_v = 2 \text{ l/s}$$

$$\Delta H = 0,069 \text{ m}$$

En utilisant l'équation 4 pour déterminer la perte de charge : $\Delta H(4 \text{ l/s})$

$$Q_v = 4 \text{ l/s}$$

$$\Delta H = 0,27 \text{ m}$$

Tableau 4 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°2

Q_v (l/s)	0	2	3.25	4
H_m (m)	0	1.7	4.5	6.81

Traçons la courbe caractéristique de ce circuit

Circuit 2 :

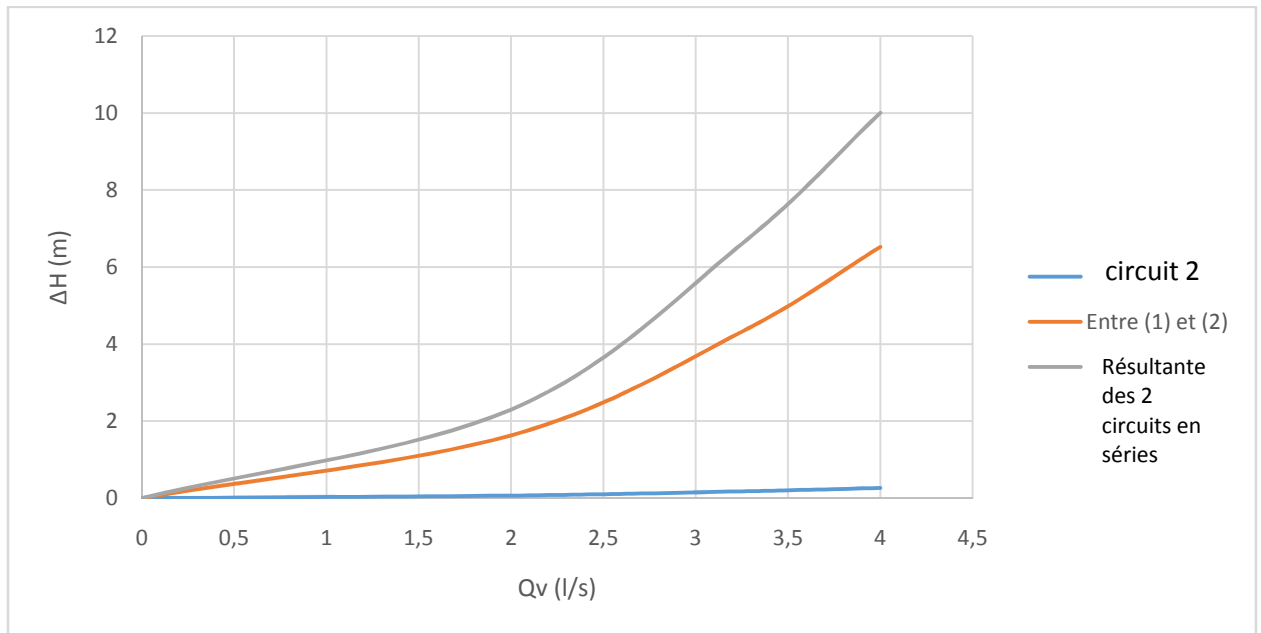


Figure 34 : Courbes des pertes de charge totale du circuit hydraulique N°2

- Le courbe en bleu pour l'équation de Bernoulli entre 3 et 4
- le courbe en rouge pour l'équation de Bernoulli entre 1 et 2
- le courbe en move pour le résultant de de courbe entre (3 et 4) et (1 et 2) en série

VIII. Circuit hydraulique N°3

Application de l'équation de Bernoulli entre (3) et (4) :

Les positions (3) et (4) ?

Les diamètres et les longueurs (hauteurs) ?

Soit la conduite 1 : $D_1 = 90\text{mm}$; $L_1 = 100\text{m}$.

Soit la conduite 2 : $D_2 = 90\text{mm}$; $L_2 = H_2 = 1,5\text{m}$.

Soit la conduite 3 : $D_3 = 33\text{mm}$; $L_3 = 3\text{m}$.

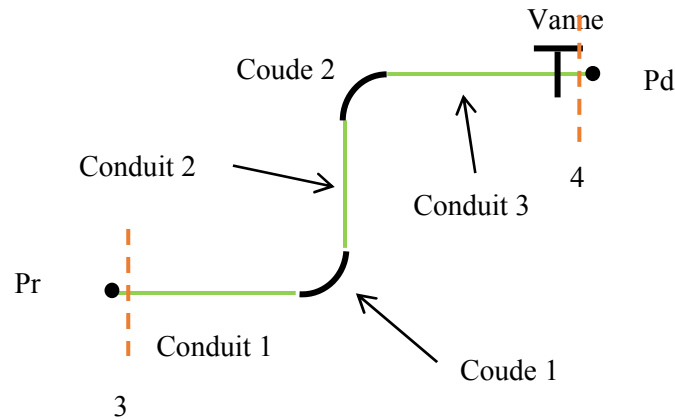


Figure 35 : Circuit hydraulique N°3

$$\frac{p_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} + z_r = \frac{p_d}{\rho g} + \frac{v_d^2}{2g} + h + \left(\frac{\lambda(L_1 + L_2)}{D} + \xi_{coud} + \xi_{coud} \right) \frac{v_1^2}{2g} + \xi_{vanne} \cdot \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_l$$

$$Q_v = 6,5 \text{ l/s}$$

$$Q_v = v \cdot s$$

$$D_1 = D_2 = 90 \text{ mm.}$$

$$K_1 = K_2 = 0,05 \text{ mm (acier)}$$

$$\text{Soit } L_1 + L_2 = 101,5 \text{ m.}$$

$$\frac{K_1}{D_1} = \frac{K_2}{D_2} = \frac{0,05}{90} = 5,5 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{m1} = v_{m2} = \frac{Q_{V1}}{s_1} = \frac{Q_{V2}}{s_2} = \frac{6,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,09^2}{4}} = 1,02 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot u_m \cdot D}{\mu} = \frac{992 \cdot 1,02 \cdot 0,09}{6,6 \cdot 10^{-4}} = 1,37 \cdot 10^5$$

Alors le régime est turbulent :

$$\left. \begin{array}{l} Re = 137000 \\ \frac{K_1}{D_1} = \frac{K_2}{D_2} = 5,5 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

A l'aide du diagramme de Moody on déduit : $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,0160$.

$$\left(\frac{\lambda L_t}{D} + \xi_{coud} + \xi_{coud} + \xi_{vanne}\right) \frac{v_d^2}{2g}$$

$$\left(3 + 3 + \frac{0,0162 \cdot 101,5}{0,09}\right) \frac{Q_v^2}{2gS_1^2} + (0,26) \frac{Q_v^2}{2gS_2^2} + 4$$

Pour $Q_v = 6,5$ l/s

$$\Delta H = 6,05 \text{ m}$$

Pour $Q_v = 4$ l/s

$$\Delta H = 2,5 \text{ m}$$

Pour $Q_v = 8$ l/s

$$\Delta H = 6,75 \text{ m}$$

Tableau 5 : Pertes de charge de Pour le circuit hydraulique N°3

Q_v (l/s)	0	4	6,5	8
ΔH (m)	0	2,5	6,05	6,75

Circuit 3 :

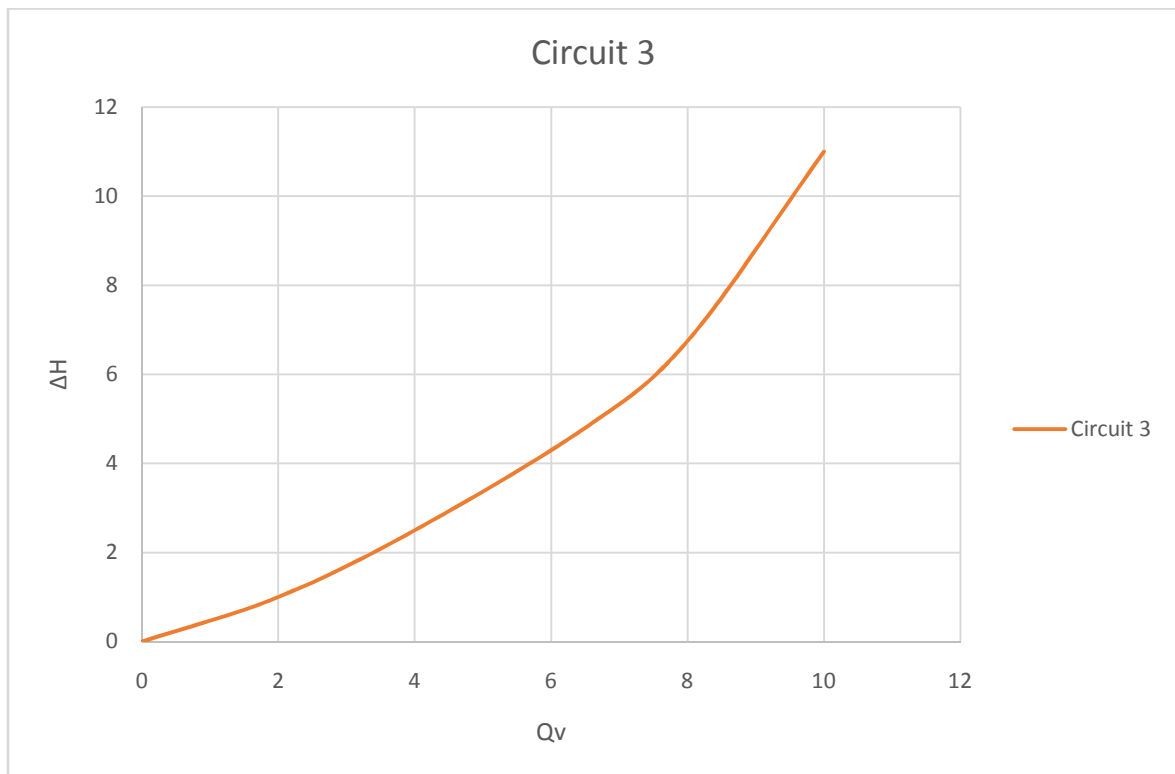


Figure 36 : courbe de perte de charge totale du circuit hydraulique N°3

- La courbe en rouge est représenté la courbe de perte de charge en fonction de débit pour le circuit 3

IX. Circuit hydraulique N°4 :

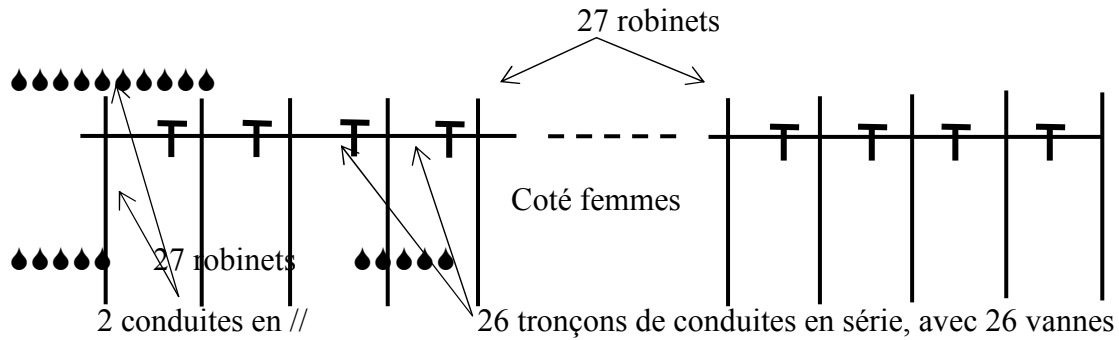


Figure 37 : Circuit hydraulique N°4

$$\frac{\rho_d}{\rho g} + \frac{v_d^2}{2g} + z_d = \frac{P_{rob}}{\rho g} + \frac{v_{rob}^2}{2g} + z_{rob} + \left(\xi_{rob} + \frac{\lambda L}{d} \right) \frac{v_{rob}^2}{2g}$$

$$v_d = \frac{Q_v}{S} = \frac{6,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,033^2}{4}} = 7,60 \text{ m/s}$$

$$v_{rob} = \frac{Q_v}{S} = \frac{\frac{6,5}{54} \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,026^2}{4}} = 0,22 \text{ m/s}$$

$$\left(\xi_{rob} + \frac{\lambda L}{d} \right) \frac{v_{rob}^2}{2g} = \xi_{rob} \cdot \frac{v_{rob}^2}{2g} + \frac{\lambda L}{d} \cdot \frac{v_{rob}^2}{2g}$$

$$0,25 \cdot \frac{0,22^2}{2g} + 3 \cdot 10^{-3} = 3,61 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{\lambda L}{d} \cdot \frac{v_{rob}^2}{2g} = 3 \cdot 10^{-3}$$

En utilisant l'équation pour $Q_v = 0,2 \text{ l/s}$

$$0,25 \cdot \frac{0,37^2}{2g} + 9 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ m}$$

En utilisant l'équation pour $Q_v = 0,3 \text{ l/s}$

$$0,25 \cdot \frac{0,56^2}{2g} + 2 \cdot 10^{-2} = 0,023 \text{ m}$$

Tableau 6 : Pertes de charge pour le circuit hydraulique N°4

Q _v (l/s)	4	6	8	10
H _m (m)	0.001	0.003	0.005	0.009

Circuit 4 :

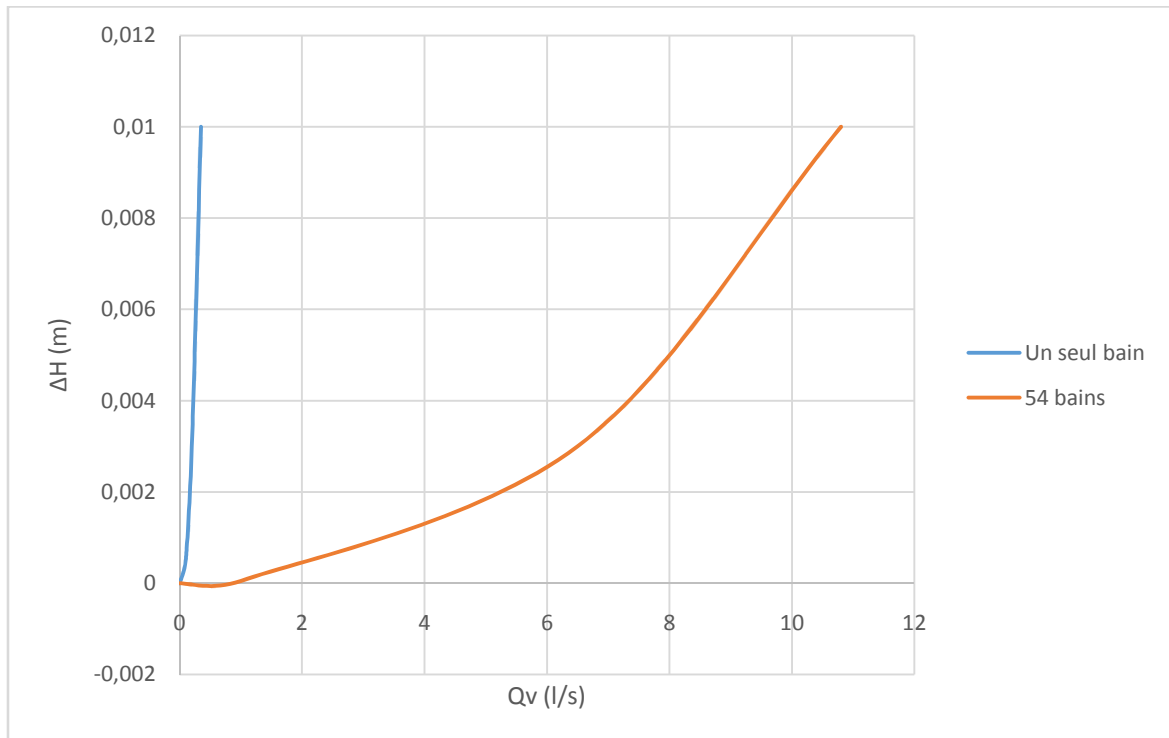


Figure 38 : Courbe de perte de charge totale du circuit hydraulique N°4

- La courbe en bleu pour un seul bain
- La courbe en rouge pour 54 baigns

Circuits 2 et 3 :

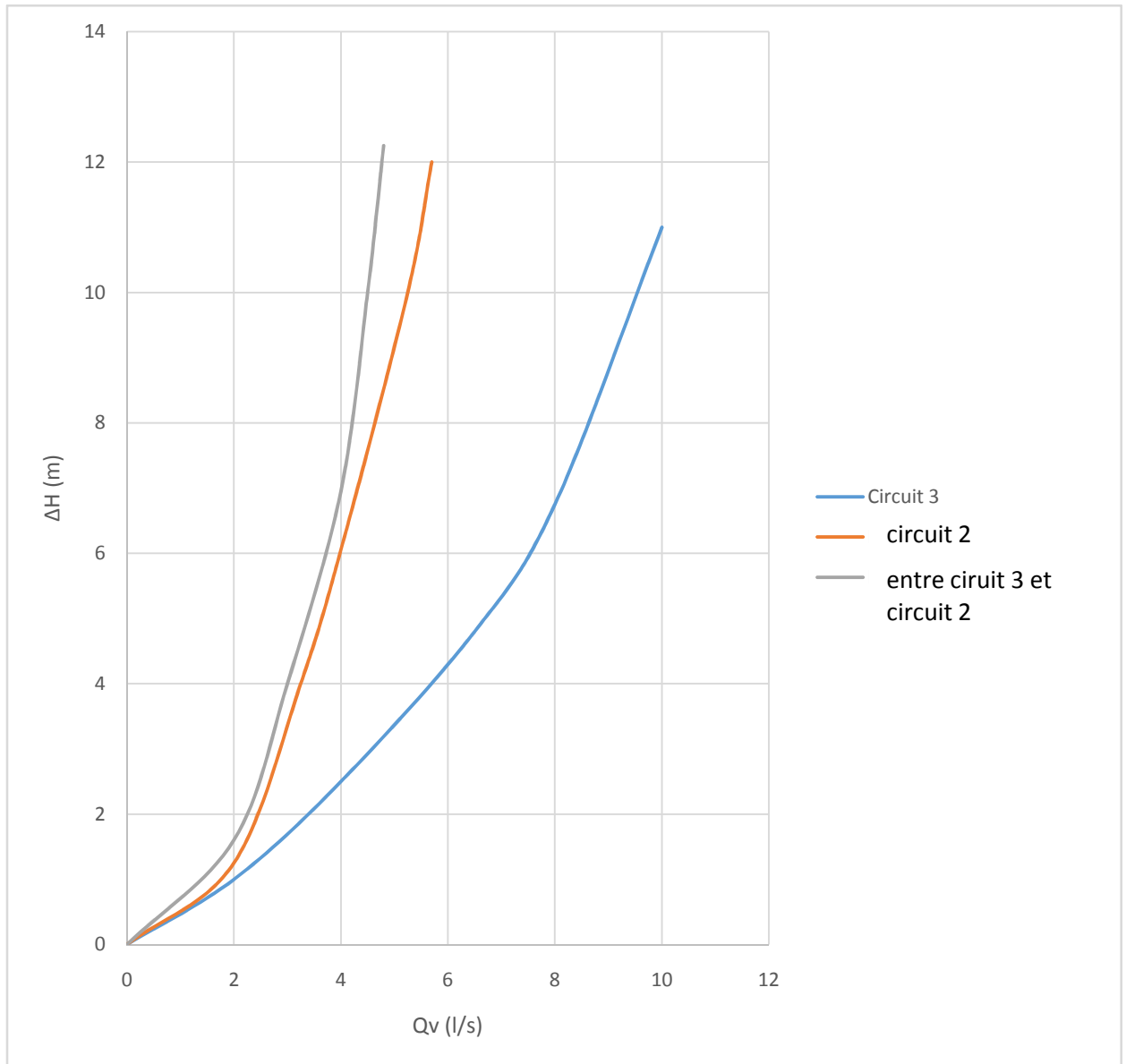


Figure 39 : Courbes des pertes de charge totale du circuit hydraulique N°2 et N°3 et leur résultant

Tableau 7 : Pertes de charge Pour le circuit hydraulique N°2 et N°3

Q_v (l/s)	2	3	4	4.8
ΔH (m)	1.6	4	6.95	12.25

- La courbe en bleu représente le circuit 3
- La courbe en rouge représente le circuit 2
- La courbe en move représente le résultant entre les circuits 2 et 3

Circuit 2 et 3 (Transe de 0.5) :

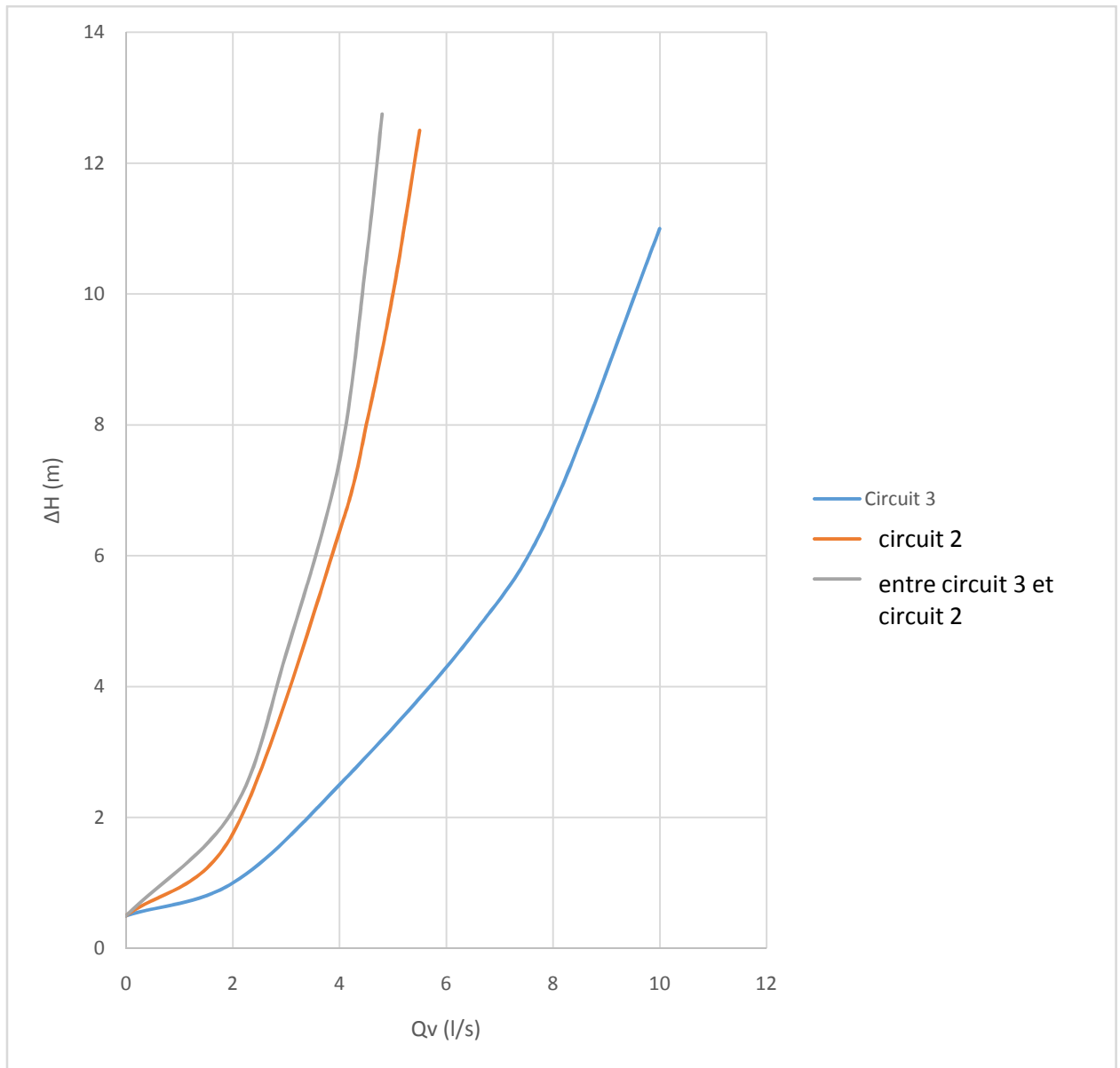


Figure 40 : Courbes des pertes de charge totale du circuit hydraulique N°2 et N°3 et leur résultant

Tableau 8 : Pertes de charge pour le circuit hydraulique N°2 et N°3 (à partir de 0.5)

Q _v (l/s)	0	2	3	4	4.8
ΔH (m)	0.5	2.1	4.5	7.45	12.75

- La courbe en bleu représente le circuit 3 (transe de 0.5)
- La courbe en rouge représente le circuit 2 (transe de 0.5)

- La courbe en rouge représente le résultant entre les circuits 2 et 3 (tranche de 0.5)

Entre les circuits 2 et 3 :

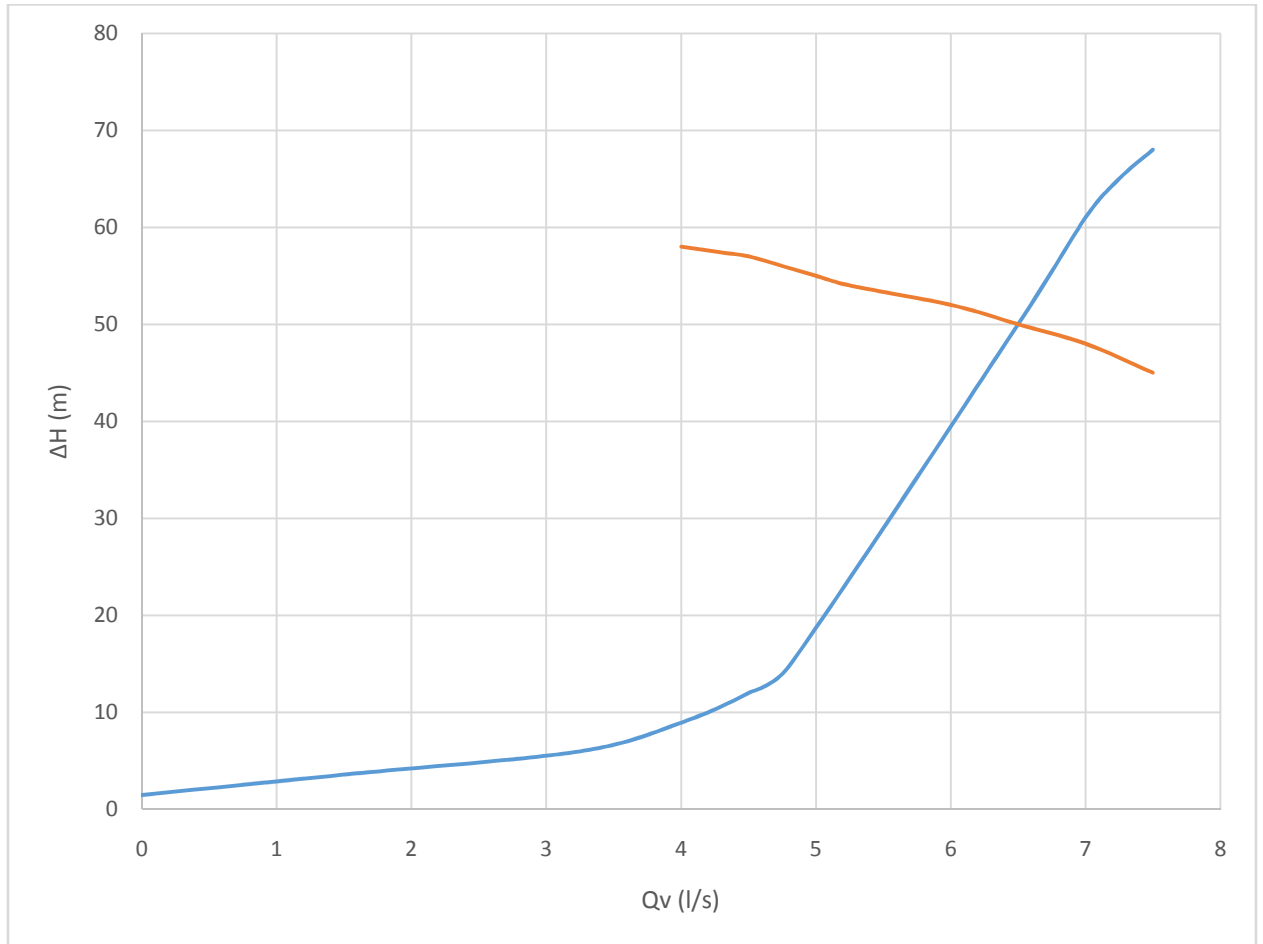


Figure 41 : Point de fonctionnement du circuit hydraulique total

Tableau 9 : Résultante de tout réseau hydraulique et le point de fonctionnement

Q_v (l/s)	0	2	3	4	5	6	6.5
ΔH (m)	1.5	5	7	9.5	19.75	40	50

X. Conclusion :

Dans ce chapitre, pour la détermination du point de fonctionnement de la station de pompage nous avons utilisé le théorème de Bernoulli qui tient compte des pertes de charge totales (linéaires et singulières).

Nous avons, à l'aide du logiciel Excel, tracé, dans un premier temps les courbes des pertes de charge (linéaires et singulières) des quatre circuits composant la station de pompage, de l'aspiration des deux pompes placées en parallèle, jusqu'à la distribution d'eau chaude dans les douches et, dans un deuxième temps tracé les courbes caractéristiques des pertes de charge ΔH en fonction du débit Q_v .

L'intersection de la résultante des courbes caractéristiques des pertes de charge totales avec la résultante des caractéristiques des deux pompes Pentax, placées en parallèle, représente le point de fonctionnement de la station de pompage, correspondant à $H_n = 50$ m et $Q_v = 6.5$ l/s.

Conclusion générale.

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude de station de pompage d'eau de la station thermale de Boughrara - Tlemcen.

Nous avons mené en premier lieu une présentation de Hammam Boughrara, c'est à dire un historique de cette station.

En second lieu, nous avons décrit des rappels sur la mécanique des fluides, ainsi que nous l'avons mentionné quelques notions théoriques de mécanique des fluides.

En troisième lieu, on a fait un calcul de perte de charge et on a résultante l'intersection de la courbe caractéristique de la pompe utilisée et le courbe résultante de perte de charge totale en fonction de débit pour déduire le point de fonctionnement.

On remarque dans cette étude qu'une seule pompe P1 ou P2 du type pentax 50-200B est capable de fournir la hauteur $H_n = 50\text{m}$ correspondant au débit imposé $Q_v = 6.5\text{l/s}$.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : Articles, 2012.
- [2] : voir liste d'inventions françaises, 1689.
- [3] : L'Éclairage électrique-volume44, 1905, page 338.
- [4] : Pierre-Louis Viollet, Presse des ponts, 2005, historique de l'énergie hydraulique : moulins, pompes, roues et turbines de l'Antiquité au XXe siècle [archive], page 179.
- [5] : Jules Blondin, 1908, la Revue électrique, volume 10.
- [6] : Pierre-Louis Viollet, Presse des ponts, 2005, Histoire de l'énergie hydraulique : moulins, pompes, roues et turbines de l'Antiquité au XXe siècle [archive], page 182.
- [7] : SEBBANE Omar, 2013/2014, cours mécanique des fluides.
- [8] : BEN HAMOUDA.R, cours sur les Notions mécanique des fluides. Centre de publications universitaires, Tunis, 2008.
- [9] : LALLEMAND.A, Ecoulement des fluides, Dynamique des fluides réels, Lyons, France, 2005.
- [10] : SELLAM.F, cours sur Hydraulique générale, Université de Bejaia, 2001.

Annexes

Annexe 1



Fiche Technique

- **Localisation**
 - ✓ Située à l'extrême ouest du pays, sur le bord de l'oued Tafna, la proximité de la ville de Maghnia à une cinquantaine de Km de Tlemcen
 - ✓ Inaugurée le 04 juillet 1974
 - ✓ Altitude : 282 Mètres
- **Adresse**
 - ✓ Hammam Bouhrara BP N°50
 - ✓ Téléphone / 043-30-11-77 / 30-14-76
 - ✓ Fax N° / 043-30-11-44
- **Superficie**
 - ✓ 63.332 m2 (dont 9774 m2 bâtie & 53558 m2 non bâtie)
- **Date de mise en exploitation**
 - ✓ En 1974
- **Effectif**
 - ✓ 80 salariés dont 20 contractuels
- **Structure d'accueil & commodités**
 - ✓ Hôtel de 30 chambres soit 60 lits
 - ✓ Un ensemble de 14 bungalows soit 56 lits
 - ✓ Un ensemble de 16 appartements soit 64 lits
 - ✓ Restaurant de 200 couverts
 - ✓ Cafétéria 65 places
 - ✓ Buvette 50 places
 - ✓ Salon de détente
 - ✓ 05 boutiques
 - ✓ 01 cours de tennis
 - ✓ Espaces verts
 - ✓ Parking
- **Installation medico-thermales**
 - ✓ 01 Cabinet médical
 - ✓ Etablissement de soins capacité de 160soins / jour
 - ✓ 01 balnéothérapie de 1200 bains /jour
- **Sources thermales**
 - ✓ L'eau de la Station Thermale de Hammam Bouhrara est une eau sulfatée bicarbonatée sodique, contenant des corps dissous ionisés en partie, très actifs et doués d'un fort pouvoir thérapeutique jaillissant du sol à une température de 45°C
 - ✓ Sources exploités : 03
 - ✓ Emergence naturelle
 - ✓ Débit d'eau : 6.5 l/seconde / 21 M 3 / heure

- ✓
- ✓ *Thermalité des eaux : thermale entre 43 à 45°*
- ✓ *Stockage :*
 - ❖ *Bache01 : 18 m³*
 - ❖ *Bâche 02 : 350 m³*
- ✓ *Distance par rapport aux équipements thermaux 300 mètres linéaires*
- ✓ *L'eau thermale est utilisée à l'état naturel, n'est ni chauffée ni refroidie*
- ✓ *La quantité d'eau utilisée 420 M³ / jour*

• **Indication thérapeutiques & traitement**

- ✓ *Rhumatologie*
- ✓ *Dermatologie*
- ✓ *Urologie (lithiase rénale)*
- ✓ *Vasculaire (phlébite, ulcère de la jambe.etc.)*
- ✓ *Neurologie (AVC, maladie de Parkinson)*

- **soins**

1- **Balnéothérapie**

- ✓ *Bain simple*
- ✓ *Jacuzzi*
- ✓ *Pédiluve / manu live*
- ✓ *Affusion horizontale ou douche horizontale*
- ✓ *Douche au jet*
- ✓ *Piscine*

2- **Physiothérapie**

- ✓ *Electrothérapie*
- ✓ *Infrarouge*
- ✓ *Radars*
- ✓ *Ultra-son*
- ✓ *Présothérapie*

3- **Thermothérapie**

- ✓ *Compresse thermiques*

4- **Mécanothérapie**

- ✓ *Vélo de rééducation*
- ✓ *Tapis, rameur*
- ✓ *Stepper, walker, hourse*

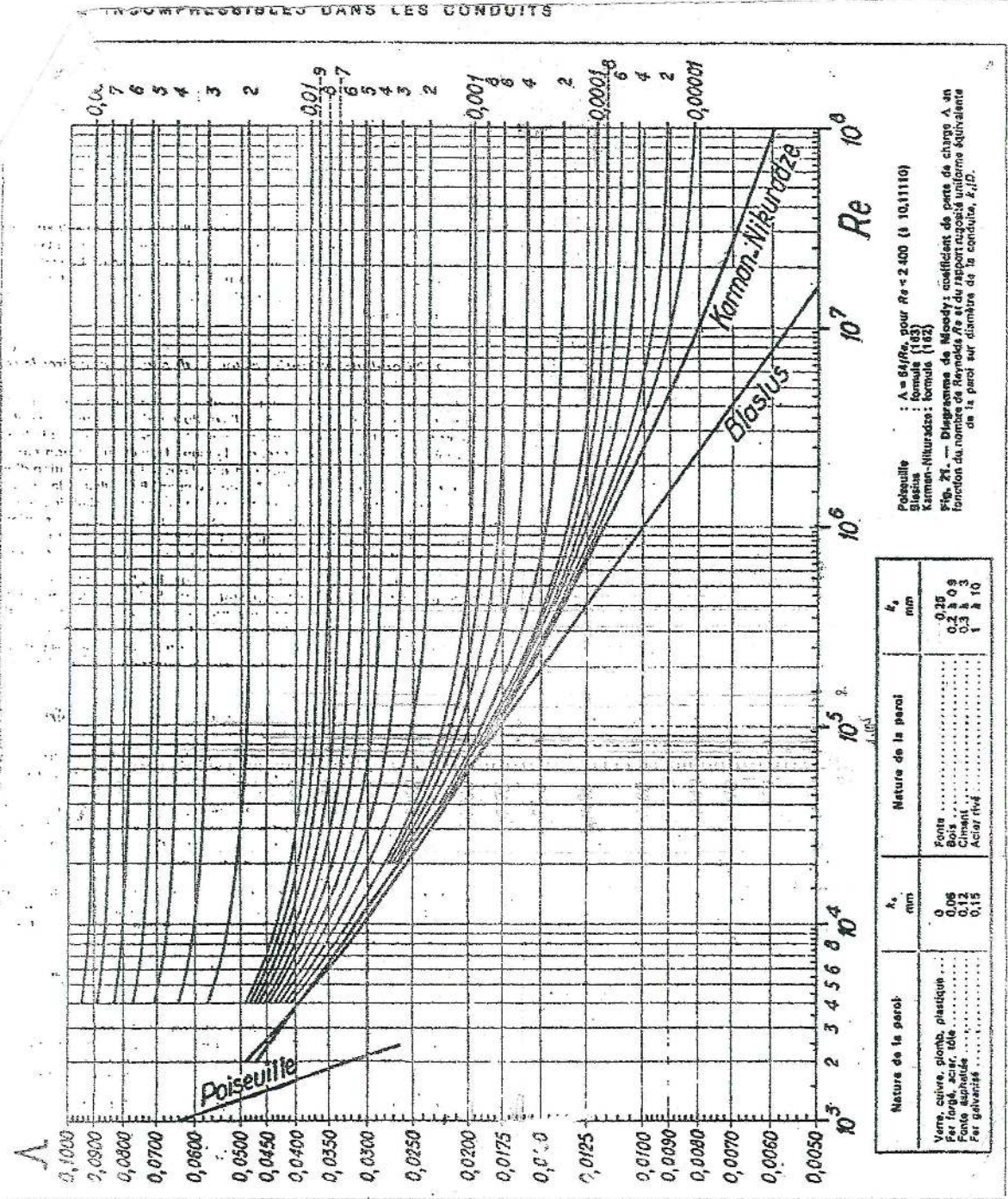
5- **Rééducation fonctionnelle**

- ✓ *Appareils de rééducation membres inférieurs et supérieurs*
- ✓ *Cage de pouliothérapie*
- ✓ *Sangles de suspension*
- ✓ *Tables de rééducation*
- ✓ *Pouliothérapie*

6- **Capacités cabines de soins**

- ✓ *Salle de rééducation*
- ✓ *Salle de gymnastique*
- ✓ *Salle de physiothérapie*
- ✓ *Salle de massage*

Annexe 2 :

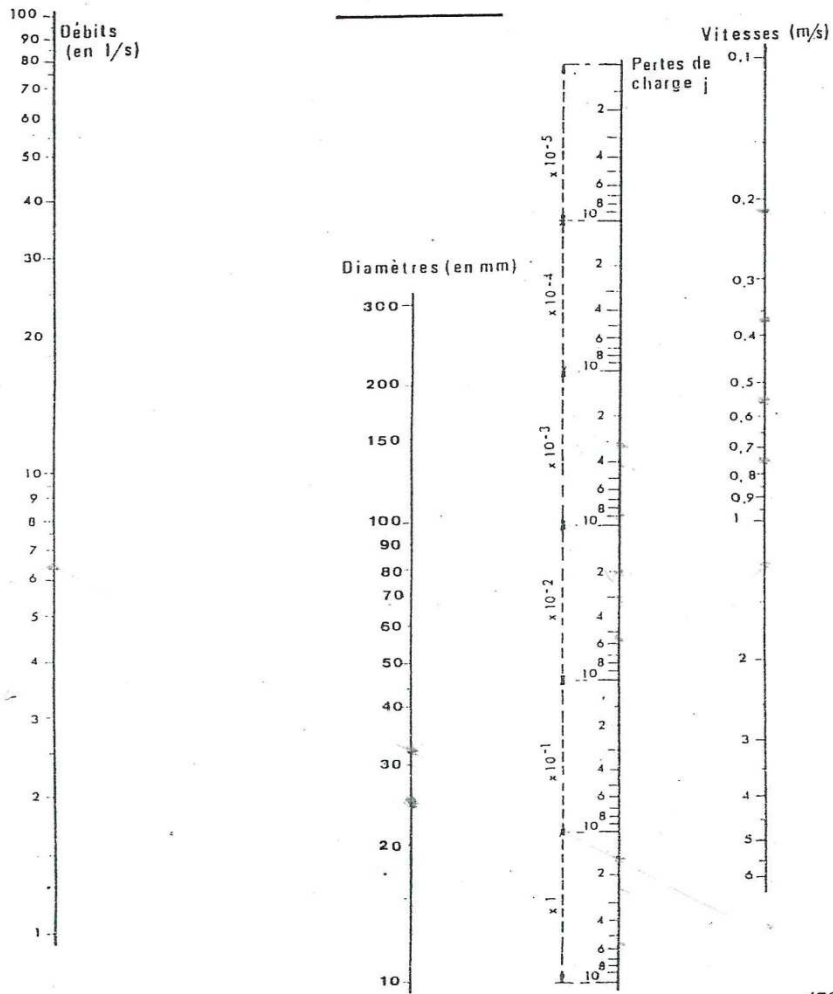


Courbes de Moody

Annexe 3

ANNEXE III ABAQUE

pour le calcul des tuyaux en matière plastique

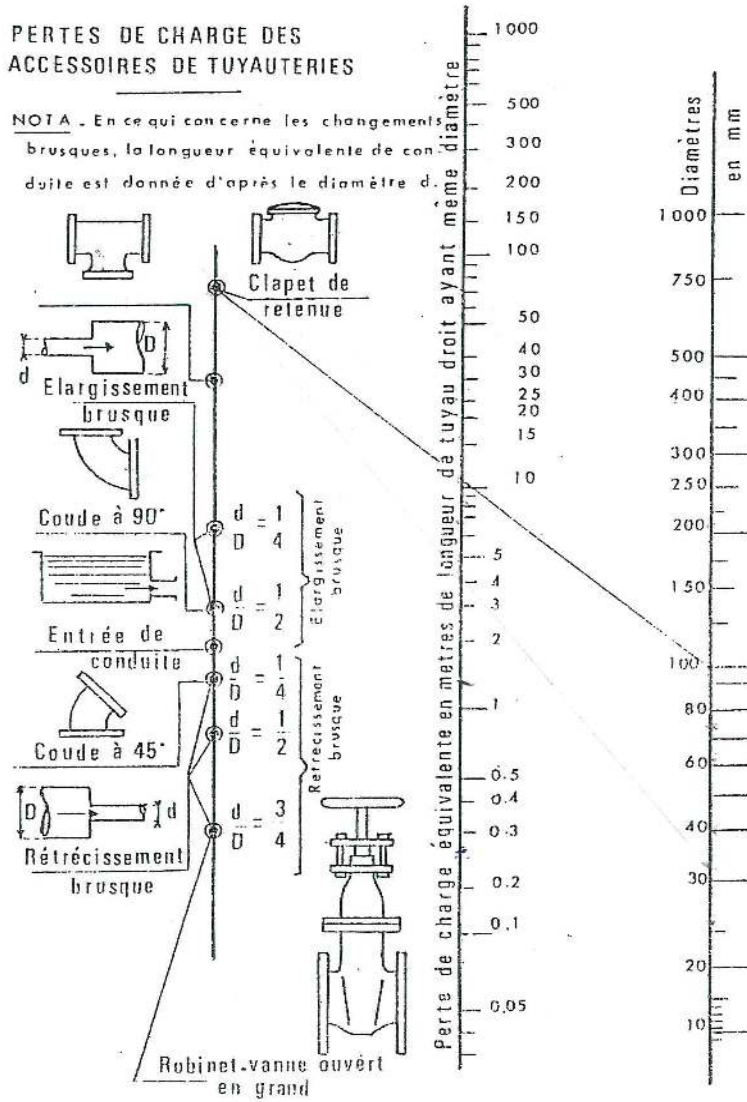


Annexe 4 :

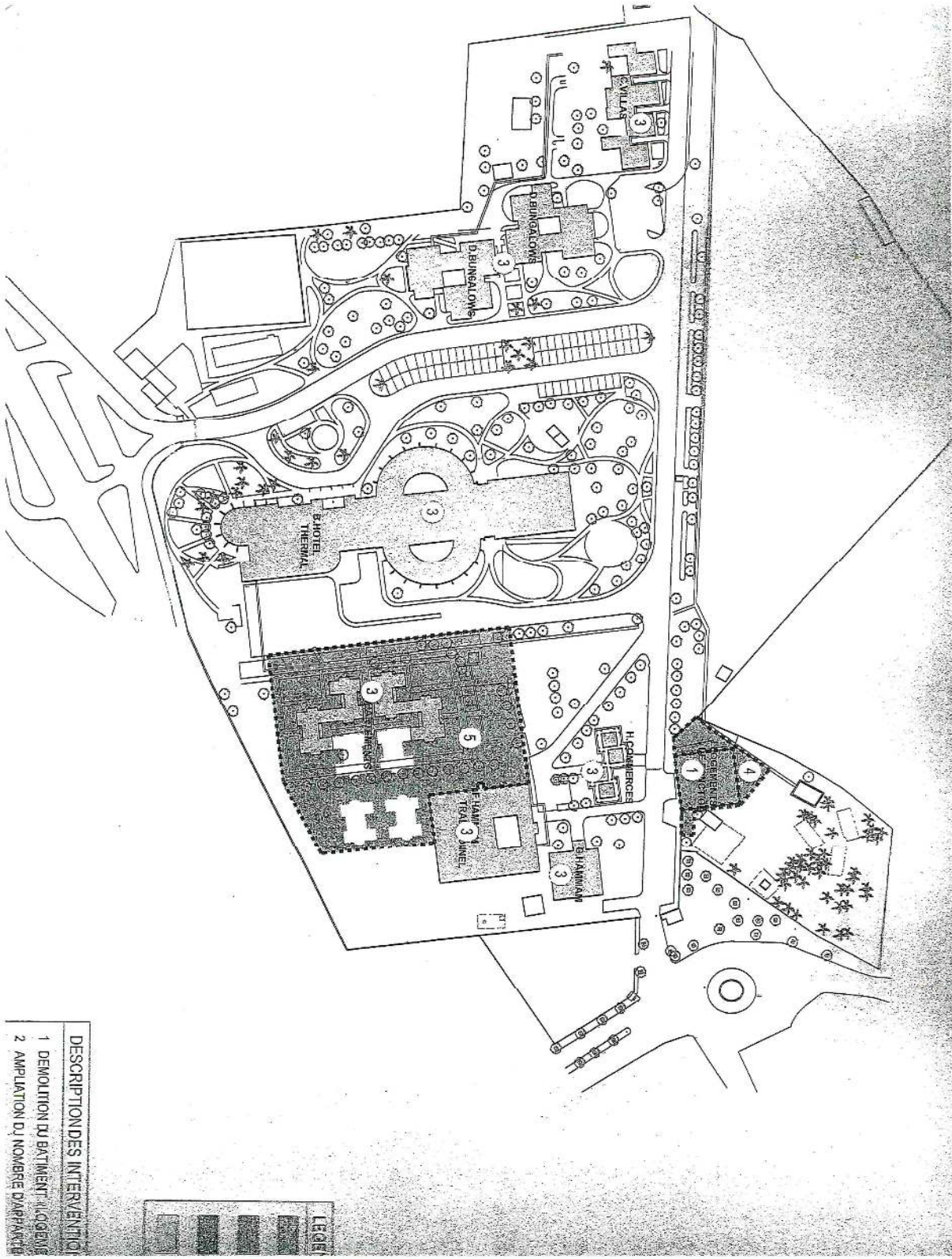
ANNEXE II

PERTES DE CHARGE DES ACCESSOIRES DE TUYAUTERIES

NOTA . En ce qui concerne les changements brusques, la longueur équivalente de conduite est donnée d'après le diamètre d .



Annexe 5



DESCRIPTIONS INTERVENTIONS
 1 DEMOLITION DU BATIMENT
 2 AMPLIATION DU NOMBRE D'APPARTEMENTS



Résumé

La station thermale de Hammam Boughrara est située à l'ouest de la ville de Tlemcen, cette station est facilité le divertissement des visiteurs, et dans ce mémoire nous avons étudié la station de pompage d'eau de la station thermale de Boughrara.

En a parlé dans le premier chapitre sur Historique de la station thermale de Hammam Boughrara, comme nous l'avons mentionné plan pour moderniser la station thermale de Hammam Boughrara et nous avons donné une position géographique et quelques photos pour cette station.

Dans le deuxième chapitre, nous avons rappelé quelques rappels de la mécanique des fluides et nous l'avons mentionné quelques notions théoriques de la mécanique des fluides comme la fluide, viscosité, écoulement, théorème de Bernoulli, théorème d'Euler....

Dans le troisième chapitre, on a fait un calcul de perte de charge et on a résultante l'intersection de la courbe caractéristique de la pompe utilisée et le courbe résultante de perte de charge totale en fonction de débit pour déduire le point de fonctionnement qui correspondant à $H_n = 50$ m et $Q_v = 6.5$ l/s.

Mots clés

Station thermale de Hammam Boughrara, station de pompage d'eau, théorème de Bernoulli, pertes de charge, points de fonctionnement.

Abstract

Hamam Bouhrara Spa is located west of the town of Tlemcen, this resort is facilitated the entertainment of the visitors, and in this memoir we studied the water pumping station of the Bouhrara Spa. This was mentioned in the first chapter on History of Hamam Bouhrara spa, as we mentioned plan to modernize the spa Hamam Bouhrara and we gave a geographical position and some photos for this station. In the second chapter, we have recalled some reminders of fluid mechanics and we have mentioned some theoretical notions of fluid mechanics such as fluid, viscosity, flow, Bernoulli theorem, Euler theorem In the third chapter, a pressure drop calculation was made and the intersection of the characteristic curve of the pump used and the resulting curve of total pressure loss as a function of flow was obtained to deduce the corresponding operating point. at $H_n = 50$ m and $Q_v = 6.5$ l / s.

Key words:

Thermal station of Hamam Bouhrara, water-pumping mechanism, Bernoulli's principle, pressure drop, functioning point

ملخص

يقع حمام بوغرارة غرب مدينة تلمسان، وقد سهل هذا المنتجع الترفيه للزوار، وفي هذه المذكرة درسنا محطة ضخ المياه في حمام بوغرارة.

تحدثنا في الفصل الأول حول تاريخ حمام بوغرارة، حيث ذكرنا خطة لتحديث المنتجع الصحي ببو غرارة وقدمنا موقعًا جغرافيًا وبعض الصور لهذه المحطة.

في الفصل الثاني، استذكرنا ميكانيكية السوائل وقد ذكرنا بعض المفاهيم النظرية لميكانيكا الموائع مثل السوائل، اللزوجة، التدفق، نظرية برنولي، نظرية أويلر

في الفصل الثالث، تم إجراء حساب انخفاض الضغط وتقاطع المنحنى المميز للمضخة المستخدمة والمنحنى الناتج لفقدان الضغط الكلي كوظيفة تدفق تم الحصول عليها لاستنتاج نقطة التشغيل المقابلة. عند $H_n = 50 \text{ m}$ و $Q_v = 6.5 \text{ l/s}$.

الكلمات المفتاحية

سبا الحرارية من حمام بوغرارة / محطة ضخ المياه / قانون برنولي / تحميل الخسائر / نقطة التشغيل.