

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER II EN
HYDRAULIQUE

OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

THÈME

ETUDE DU TRANSFERT HODNA-SETIF SYSTEME OUEST « IGHIL EMDA- MAHOUANE »

Promoteurs :

M^r : BENDAHMANE Ibrahim
M^r : BENAHMED Loucif

Présenté par :

M^r : OUABA Arab
M^r : BOUDAOUUD Amine

Membres de jury :

Président : M^r NASRI Kaci
Examineur : M^r YACOUBI Mohamed

Promotion 2013-2014

RESUME :

Notre projet de fin d'étude présente un grand transfert d'eau entre un barrage et une retenue créée, le barrage se trouve à la région de Bejaia, et la retenue aux hautes plaines Setifiennes. La distance du circuit de transfert est de l'ordre de 24 Km à vol d'oiseau, pour une dénivellation voisine de 620 mètres. Dans la présente étude nous avons procédé au choix du tracé. Par la suite un dimensionnement des conduites et le choix des pompes avec leurs protections et pose des conduites.

Mots clés : *transfert d'eau, pompe, Coup de Bélier, pression.*

ABSTRACT:

Our final project study presents a large transfer of water between a dam and creates successful, the dam is located in the region of Bejaia, and retained the high plains Setif. The distance of the transfer circuit is about 24 Km a bird flying to a nearby vertical drop of 620 meters. In the present study we conducted route selection. Thereafter sizing lines and selection of pumps and their protection pipelay.

KEYWORDS: *water transfer, pump, water hammer, pressure.*

Remerciements

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à ceux qui au long de ce mémoire nous ont apporté leurs soutiens, en particulier :

Nos promoteurs Mr.BENDAHMANE.B et Mr.BENAHMED.L pour leurs soutiens, orientations et le temps qu'ils nous ont accordé pour notre encadrement.

À tous les enseignants et à notre ami Mr.MOUDOUB .Massinissa pour avoir mis à notre disposition toutes documentations nécessaires.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi aux membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nos sincères gratitudes va vers tout ceux qui ont participé de près ou de loin pour réaliser ce travail.



DEDICACE

A qui puis je dédier cet humble travail si ce n'est pas à mes très chers parents de leur soutien, leur aide, et le sacrifice qu'ils ont fait pour moi, et leurs encouragements, sans eux je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui ;

Je dédie ce modeste travail également à :

*Ma chère femme catherine ouaba et toute sa famille
Mes petites sœurs Yamina, Tinhinane, et Mes petits frères
Massinissa et Missiva*

Mon très chère binôme Amine et sa famille.

*Tous mes amis sans exception : Saadi, Rachid, Nourdine
.....et tous les autres.*

A tous ceux que j'aime et qui m'aime.

Arab (wallam)

DEDICACE

A qui puis je dédie cet humble travail si ce n'est pas à mes très chers parents de leur soutien, leur aide, et le sacrifice qu'ils ont fait pour moi, et leurs encouragements, sans eux je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui ;

Je dédie ce modeste travail également à :

Ma sœur Nassima et mon frère Yazid.

Mon très chère binôme Muhand Arab (Wallam) et sa famille.

Tous mes amis sans exception : Sofiane, Walid, Salim et autres...

La promotion 2013-2014 d'Hydraulique .

Sommaire

Introduction générale	17
Chapitre I : PRESENTATION DU SITE	
I.1- Intérêt de projet	19
I.2- Situation géographique	19
I.3- Données climatiques régionales	21
I.3.1- Altitudes	21
I.3.2- Précipitations	21
I.3.3- Températures	22
I.2.4- Evaporation	22
I.3.5- Humidité relative	22
I.4- Situation Topographique	23
CHAPITRE II : TRANSFERT (ADDITION)	
II.1-Introduction	25
II.1.1- Adduction par refoulement	25
II.1.2-Adduction gravitaire	25
II.2-Le choix du tracé	25
II.2.1-condition technique	25
II.2.2-condition économique	26
II.3- Choix du type de la conduite	26
II.4- Dimensionnement des conduites	27
II.4.1- Détermination du diamètre économique	27
II.4.2- Les pertes de charges	28
II.4.3- Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation (HMT)	30
II.4.4- Puissance à fournir à la pompe	30
II.4.5- Energie consommée par la pompe	30
II.4.6-Frais d'exploitation	31
II.4.7-Frais d'amortissement	31
II.4.8-Bilan général	31
II.4.9-Calcul des prix de revient des conduites en acier	31
II.5-Dimensionnement des conduites	32
II.5.1- conduites de refoulement	42
II.5.2- conduites gravitaires (écoulement en charge)	35
II.6-Conclusion	36
CHAPITRE III : POMPES ET STATION DE POMPAGE	
III.1- Introduction	39

III.2- définition d'une pompe	39
III.3- Classification des pompes (les différents types de pompes)	39
III.3.1- les Turbopompes	39
III.3.2- les pompes volumétriques	40
III.4.- choix du type de pompe	40
III.5- choix du nombre de pompe	40
III.6- pompe centrifuge	41
III.6.1- ossature d'une pompe centrifuge	41
III.6.2- Principe de fonctionnement	41
III.6.3- Caractéristiques	41
III.6.4- Utilisation	42
III.6.5- Classification des pompes centrifuges	42
III.7- Choix des pompes	43
III.8- Les courbes caractéristiques d'une pompe	43
III.9- Recherche du point de fonctionnement de la pompe	44
III.10- Etude de la cavitation	45
III.11- choix des pompes pour les différentes stations de pompages	46
III.11.1- Station de pompage SP1	46
III .11.2-Station de reprise SR1	51
III .11.3-Station de reprise SR2	53
III.12-Automatisation des pompes	55
III.12.1- définition	55
III.12.2- Modèle de liaison	55
III.12.3- Les objectifs de l'automatisation	57
III.12.4- Principe de fonctionnement	57
III.13- Conclusion	58

CHAPITRE IV: PROTECTCTION ET POSE DES CONDUITES

IV.1-Introduction	60
IV.2- Moyens protection des conduites contre le coup de bélier	60
IV.2.1- vanne à fermeture lente	60
IV.2.2- Clapet by pass	61
IV.2.3- Volant d'inertie	61
IV.2.4- Soupape de décharge	61
IV.2.5- Les venteuses	61
IV.2.6- Cheminée d'équilibre	61
IV.2.7- Réservoir d'air	67
IV.3- Etude du coup de bélier	68
IV.4- Tableau récapitulatif	69
IV.5- Méthode de calcul d'un réservoir d'air	70

IV.5.1- Principe de fonctionnement	70
IV.5.2- Principe de calcul	70
IV.5.3- Principe de construction de l'épure de BERGERON	70
IV.5.4- Résultats de calcul du réservoir d'air SP1	73
IV.5.5- Résultats de calcul de la cheminée d'équilibre	75
IV.5.6- Résultats de calcul du réservoir d'air SR2	78
IV.5.7- Conduites gravitaires	80
IV.6- Pose des conduites	80
IV.6.1- Introduction	80
IV.6.2- Exécution et aménagement de la tranchée	80
IV.6.3- Pose des conduites	81
IV. 6.3.1- Largeur et profondeur de la tranche	81
IV.6.3.2- Stabilisation de la conduite	82
IV.6.4- Travaux spéciaux	83
IV.6.4.1- Traversée de route	83
IV.6.4.2- Pose en élévation	83
IV.6.4.3- Mise en eau et épreuve	84
IV.7- Conclusion	84
CONCLUSION GENERALE	86
BIBLIOGRAPHIE	88

Liste des symboles

Symbole	Identification	Unité
A	Amortissement annuel	DA
a	Résistance de la conduite	–
B	Valeur du coup de bélier	m
B _L	Bilan général	DA
b	Largeur du canal	m
C	Coefficient de perte de charge	–
Cu	Prix unitaire de la conduite	DA
c	Célérité de l'onde	m/s
d	Diamètre du clapet a battant perce	m
D	Diamètre de la conduite	m
E	Energie consommée par la pompe	KW/H
e	Epaisseur de la conduite	m
e'	Prix d'un kWh selon le tarif fixé par la SONELGAZ	kWh
F _{am}	Frais d'amortissement	DA
F _{exp}	Frais d'exploitation	DA
g	Accélération de la pesanteur	m ² /s
H	Hauteur du réservoir d'air	m
H _a	Pertes de charge à l'aspiration	m
H _g	Hauteur géométrique	m
H _L	Pertes de charge linéaire	m
HMT	Hauteur manométrique totale	m
H _r	Pertes de charge au refoulement	m
H _s	Pertes de charge singulières	m
H _T	Pertes de charge totale	m
H ₀	Pression absolue de la conduite	m
h _a	Hauteur d'aspiration	m
h _v	Tension de vapeur d'eau	mm
I	Pente	m/m
i	Taux d'annuité	%
J	Perte de charge par unité de longueur	m
K	Rugosité des conduites	m
k	Coefficient qui dépend de la nature de la conduite	–
L	Longueur de la conduite	m
M	Fruit.	–
N	Vitesse de rotation	tr/min
NPSH _d	Charge nette d'aspiration disponible	m
NPSH _r	Charge nette d'aspiration requise	m
n	Nombre d'années d'amortissement	ans

Liste des symboles

n	Coefficient de MANNING	–
P	Puissance à fournir a la pompe	KW/H
PMF	Pression maximale de fonctionnement	bars
PMS	Pression maximale de service	barsή
P _m	Périmètre mouillée	m
P ₀	Pression atmosphérique	mm
Q	Débit transitant dans la conduite	m ³ /s
Q _{ps}	Débit a plein section (m ³ /s).	m ³ /s
R	Rayon hydraulique (m).	m
Re	Nombre de REYNOLDS.	–
S	Section de la canalisation	m ²
S _m	Section mouillée	m ²
s	Section du resrvoir d'air	m ²
T	Température de l'eau	°C
T _p	Temps de pompage.	°C
u	Volume du réservoir d'air	m ³
u ₀	Volume d'air initial	m ³
u _{max}	Volume d'air maximal	m ³
u _{min}	Volume d'air minimal	m ³
V	Vitesse d'écoulement	m/s
V _f	Vitesse finale de l'eau dans la conduite	m/s
V _{PS}	Vitesse a plein section	m/s
V _r	Vitesse réelle	m/s
V _l	Vitesse de l'eau dans la tuyère	m/s
W	Poids volumique	N /m ³
α	Angle d'inclinaison	°
Φ	Diamètre de la galerie	m
Φ _t	Diamètre de la tubulaire	m
μ	Viscosité cinématique de l'eau	m ² /s
η	Rendement de la pompe	%
ρ	Masse volumique	kg/m ³
ΔH	Perte de charge	η
Δh _l	Perte de charge a la monte de l'eau	m
∂H	charge disponible	m
λ	Coefficient de perte de charge de DARCY	–

Liste des figures

N° du Figure	Titre	page
Figure (I.1):	Carte de situation de la zone du projet	19
Figure (I.2) :	Communes de la wilaya de Setif	19
Figure (I.3):	Carte de situation des ouvrages projetés	20
Figure (I.4) :	Profil général du système	20
Figure (II.1):	Schéma explicatif du principe de dimensionnement BE2-MAHOUANE	37
Figure (III.1) :	Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge	44
Figure (III.2) :	Circuit dissipatif	45
Figure (III.3):	phénomène de cavitation sur les aubes d'une pompe	45
Figure(III.4):	Analyse grapho-analytique des pompes SP1 avec réglage du point de fonctionnement	49
Figure(III.5):	Analyse grapho-analytique des pompes SR1	52
Figure(III.6):	Analyse grapho-analytique des pompes SR2	54
Figure (III.7):	Commande avec ligne pilote	56
Figure (III.8) :	Commande sans ligne de commande	57
Figure (IV. 1) :	Cheminée d'équilibre	62
Figure (IV.2) :	Cheminée d'équilibre sur refoulement	62
Figure (IV.3):	Réparation des débits cheminée-conduite	63
Figure (IV.4) :	Recherche de lieu de q_2 , H_2	64
Figure (IV.5):	Principe de construction du point q_2 H_2	65
Figure (IV.6):	Schéma de la Cheminée d'équilibre	66
Figure (IV.7) :	Epure de la cheminée	66
Figure (IV.8):	Variation du volume d'air au cours des phases de fonctionnement du réservoir	68
Figure (IV.9) :	Variation de la pression absolue en fonction du temps pour SP1	74
Figure (IV.10):	Epure de BERGERON pour le tronçon SP1-cheminée d'équilibre	74
Figure (IV.11):	Variation de la pression absolue en fonction du temps pour la cheminée d'équilibre	76
Figure (IV.12) :	Epure de BERGERON pour la cheminée d'équilibre	76
Figure (IV.13):	Enveloppe en régime permanent et transitoire pour la cheminée d'équilibre	77
Figure (IV.14) :	Schéma géométrique de la cheminée	77
Figure (IV.15):	Variation de la pression absolue en fonction du temps pour SR2	78
Figure (IV.16):	Epure de BERGERON pour SR2	79
Figure (IV.17) :	Enveloppe des pressions en régime permanent et transitoire pour SR2	79
Figure (IV.18):	Pose de la conduite en tranchée	82
Figure (IV.19) :	Butée sur coude horizontal	83
Figure (IV.20):	Butée sur coude vertical et butée sur branchement	83
Figure (IV.21):	Protection spéciale pour la traversée de route	83

Liste des tableaux

N° du tableau	Titre	page
Tableau (I-1)	: Répartitions en (%) des précipitations durant l'année à Sétif	21
Tableau (I-2)	: Précipitations annuelles sur les régions de Sétif	21
Tableau (I-3)	: Répartition du nombre de jours de pluie par an à Sétif	21
Tableau (I-4)	: Répartition des températures mensuelles moyennes à Sétif	22
Tableau (I-5)	: évaporation journalière moyenne à Sétif en (mm)	22
Tableau (I.6)	: Humidité relative moyenne dans la région de Sétif en (%)	23
Tableau (II.1)	: Calcul du volume du déblai et remblai	31
Tableau (II.2)	: prix des différentes opérations pour chaque diamètre	32
Tableau (II.3)	: Prix global unitaire des conduites par (ml)	32
Tableau(II.4)	: Calcul de la HMT	33
Tableau(II.5)	: Calcul des frais d'exploitation et d'amortissement	33
Tableau (II.6)	: Le bilan	33
Tableau (II.7)	: Calcul de la HMT	34
Tableau(II.8)	: Calcul des frais d'exploitation et d'amortissement	34
Tableau (II.9)	: Le bilan	34
Tableau (II.10)	: Calcul de la HMT	35
Tableau(II.11)	: Calcul des frais d'exploitation et d'amortissement	35
Tableau (II.12)	: Le bilan	35
Tableau (II.13)	: Dimensionnement des conduites BE1-BE2	36
Tableau(II.14)	: Dimensionnement des conduites BE2-MAHOUANE	37
Tableau (III.1.)	Hauteur admissibles selon le type de roue des pompes dynamiques	40
Tableau (III.2)	: Tension de vapeur d'eau pompée en fonction de la température	46
Tableau (III.3)	: Réglage du point de fonctionnement de SP1 pour les deux niveaux d'aspiration	48
Tableau(III.4)	: Recherche du point de fonctionnement de SR1	51
Tableau(III.5)	: Recherche du point de fonctionnement de SR2	53
Tableau (IV.1)	: Valeurs numériques du coup de bélier	69
Tableau (IV.2)	: Le développement des résultats de calcul du réservoir d'air SP1	73
Tableau (IV.3)	: Le développement des résultats de calcul de la cheminée d'équilibre	75
Tableau(IV.4)	: Le développement des résultats de calcul du réservoir d'air SR2	78

Liste des annexes

N°d'Annexe	Titre
Annexe 01	Cartographie de la région étudiée
Annexe 02	Brise de charge
Annexe 04	Profil en long
Annexe 05	Catalogue des Pompes KSB
Annexe 06	Station des commandes
Annexe 07	Groupes électropompes de la station de pompage SP1
Annexe 08	Groupes électropompes des stations de reprise (SR1 et SR2)
Annexe 09	Coefficient des pertes de charge

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction

L'accès à une eau de qualité et de quantité est un enjeu vital, elle est disputée dans toutes les régions du monde, la gestion de cette ressource est importante pour les sociétés humaines, mais elle diffère d'une région à une autre sur leur niveau de richesse, leur climat, et leur besoin en eau. Il nous faut donc trouver un moyen de gérer les ressources en eau en étudiant les répartitions accessibles et maîtriser d'eau.

Cependant en Algérie, le problème de la satisfaction en eau demeure primordial, l'évaluation de la ressource en eau tant quantitative et qualitative devient une urgence pour répondre aux besoins en eau de l'alimentation en eau potable, de l'agriculture et de l'industrie. Dans ce sens, en particulier dans les plaines sétifiennes, cette dernière dispose de la potentialité agricole pastorale fortement appréciable, mais compte tenu de l'insuffisance des ressources en eau locales.

De ce cadre, l'état a entrepris un vaste programme de réalisation des grands projets de transfert, dont il est inscrit le transfert ouest « IGHIL EMDA-MAHOUANE » sur une linéaire de 24 km en vol de oiseau, à partir de la région de Kharrata (Bejaia), qui représente de bonne condition climatique avec des apports importants.

L'objet de notre travail est d'assurer le transfert d'eau à la région de Sétif afin de remédier aux insuffisances d'eau, ainsi que d'éviter le débordement du barrage de Kharrata qui a subi de plein fouet le phénomène d'envasement pendant ces dernières années.

La présente étude s'articule sur quatre volets principaux :

Nous débuterons notre travail par une présentation générale du site ainsi que ces différentes caractéristiques à savoir : la situation topographique, la situation climatique régionale, les précipitations, la température, l'évaporation et l'humidité relative.

Dans le deuxième chapitre on optera sur le dimensionnement des conduites d'adduction, en tenant compte des paramètres technico-économique pour assurer le transfert en bonnes conditions.

Le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement des différentes stations de pompes et de reprises qui devront répondre aux exigences du projet, ainsi que leur automatisation et de vérifier la cavitation de chaque pompe installée.

Enfin le quatrième chapitre, s'étend sur la protection des conduites contre le phénomène oscillatoire, à savoir le coup de bélier et pose des conduites.

CHAPITRE I

Présentation de site

I.1- Intérêt du projet

Le projet a pour objet de transférer un volume d'eau à partir du barrage d'IGHIL EMDA vers la retenue de MAHOUANE, afin de consolider le développement social et économique de cette région à travers l'amélioration des conditions d'alimentations en eau potable et l'extension de l'irrigation à grand échelle.

La distance à vol d'oiseau entre les retenues d'IGHIL EMDA et MAHOUANE est de l'ordre de 24 km, pour une dénivelée voisine de 620 mètres.

Le système Ouest permettra de transférer annuellement un volume de 119 millions de mètres cubes (hm³), dont 30 hm³ (soit 25,2 %) destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP) et 89 hm³ (soit 74,8 %) destinés à l'irrigation.

I.2- Situation géographique

Mahouane est un village dans la commune d'El Ouricia situé à 10 km sud du chef lieu de la wilaya de Setif, délimité par Beni Fouda sur l'est, Abbassa en ouest et Amoucha au nord. La zone géographique concernée par le projet est représentée sur les figures (I-1), (I-2), (I-3), (I-4).



Figure(I.1): Carte de la situation de la zone du projet



Figure(I.2): Communes de la wilaya de Sétif

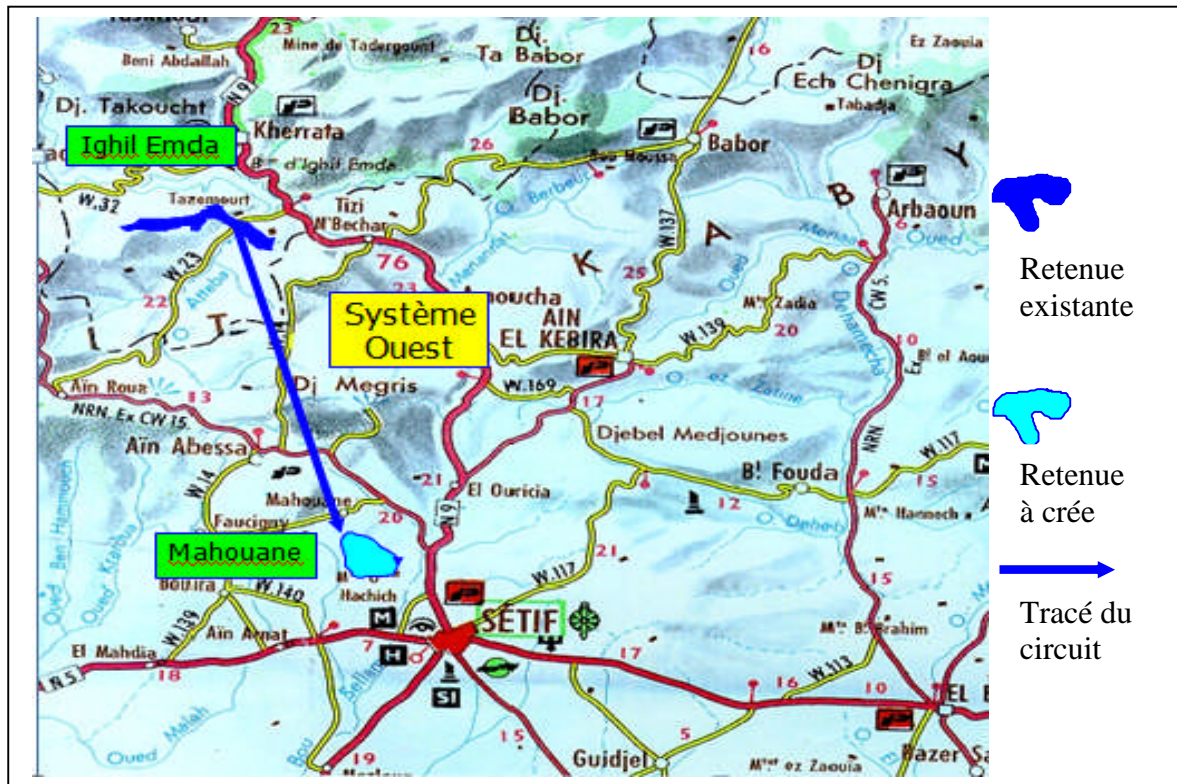


Figure (I-3) : Carte de situation des ouvrages projetés

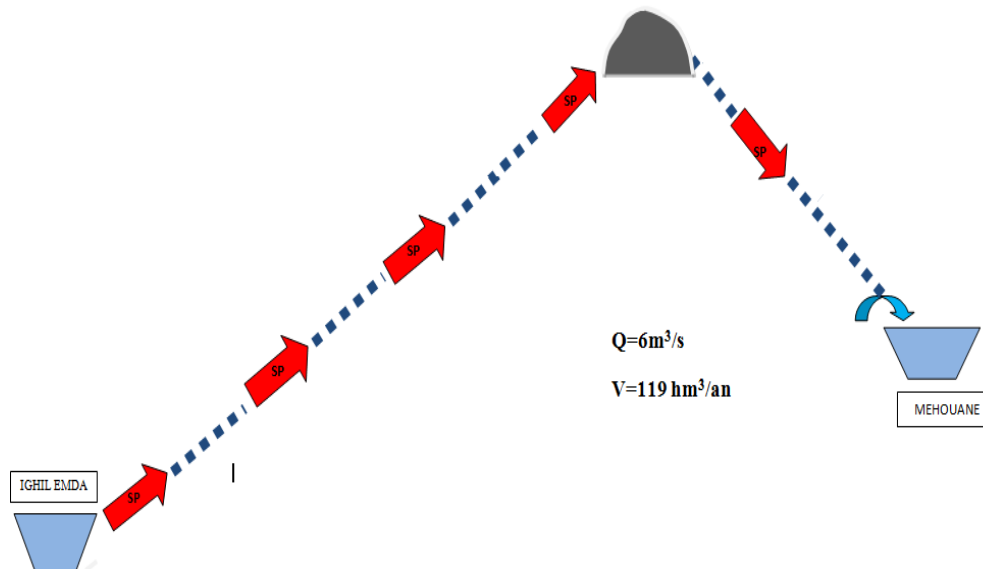


Figure (I-4): Profil général du système

I.3- Données climatiques régionales

Les principales caractéristiques climatiques concernant le projet de transfert Ouest sont décrites ci-après. Ces données résultent des études climatologiques et hydrologiques effectuées au stade de la Faisabilité.

I.3.1- Altitudes

Elles sont globalement comprises entre 500 et 1 250 mètres [2].

I.3.2- Précipitations

Précipitations moyennes annuelles comprises entre 200 et 560 mm par an, c'est-à-dire très faibles. Pour la ville de SETIF la moyenne sur 40 ans est de 448 mm.

Gradient de diminution en allant du nord vers le sud de la région :

- ✓ Région d'AMOUCHA: 557 mm (observations > 40 ans)
- ✓ Région de SETIF : 448 mm (observations > 40 ans) avec un maximum à 1024 mm et un minimum à 235 mm
- ✓ Région de GUELLAL : 346 mm (observations entre 25 et 40 ans) [2].

50% des précipitations ont lieu en automne/hiver, majoritairement sous forme de pluies et seulement 10% en été :

Tableau(I.1): Répartition en % des précipitations durant l'année à SETIF

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
12	10	9	8	11	6	2	3	8	9	11	11

Tableau(I.2): Les précipitations annuelles sur les régions de Sétif

	Précipitations en (mm)												TOTAL
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Sétif 1856-1991	46,9	41	45,8	45	47,9	25,7	8,2	16,6	31,9	36,3	36,9	48,3	430,5

Tableau(I.3): Répartition du nombre de jours de pluie par an à SETIF

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
12	10	10	9	8	6	3	4	4	8	11	12	97

La chaîne des Babors arrête la plupart des précipitations venant de la Méditerranée.

La région de SETIF subit un climat semi-aride même si la région connaît quelques pluies d'été, notamment sous forme d'orages brefs.

I.3.3- Températures

- **Eté**

- ☛ Températures estivales de l'ordre de 30/35°C

- ☛ Variation moyenne de la température quotidienne : 13°C en juillet à SETIF

- Vent chaud et sec du désert : sirocco.

- **Hiver**

- ☛ Températures comprises entre -2°C et +10°C

- ☛ Variation moyenne de la température quotidienne : 7°C en janvier à SETIF

- ☛ Minimal enregistré : -15°C à SETIF

Dernières gelées printanières en avril, premières gelées automnales en novembre : moyenne de 33 jours par an [2].

- **Température moyenne annuelle à SETIF : 15°C.**

Tableau(I.4): Répartition des températures mensuelles moyennes à SETIF (en °C)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Max	9	11	13	17	22	29	33	33	27	21	15	10
Moy	5	6	8	12	16	21	25	24	20	15	9	6
mini	0,3	1	3	5	9	13	17	17	14	9	4	1

I.3.4- Evaporation

L'évaporation totale annuelle à Sétif est de 1400 mm [2].

Tableau(I.5): l'évaporation journalière moyenne à SETIF exprimée en millimètres

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evaporation Moy	0,6	1,2	2,5	3,0	4,2	6,5	6,5	8,5	5,4	2,8	1,9	1,1

I.3.5- Humidité relative

Le tableau (I.6) exprime l'humidité relative dans la région du projet, en pourcentage, en moyenne puis en variation journalière à trois moments de la journée : 7 heures, 13 h et 19 h

correspondant aux valeurs de l'ancienne station ; la dernière ligne correspond aux moyennes (1981-1996) d'après ONM (Office National de la Météorologie) [2].

Tableau(I.6): Humidité relative moyenne dans la région du projet en (%)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
moy	75	71	63	54	55	47	38	38	51	62	72	77
7 h	86	86	78	70	69	64	56	56	72	80	83	88
13 h	66	57	52	40	43	34	26	26	36	47	65	66
19 h	73	69	58	52	52	44	33	34	46	60	69	76
Moy	76	76	72	66	61	50	39	41	55	66	75	79

I.4-Situation topographique

La topographie des zones du projet où sont implantés les différents ouvrages constituant le transfert Ouest est relativement accidentée, avec des altitudes s'étageant de 500 à 1 250 m du nord vers le sud (voir Annexe 01).

Les levés topographiques ont été effectués par le cabinet MATH en octobre et novembre 2000, sur la base de la reconnaissance préliminaire effectuée en juin 2000 (voir Annexe 04) [2].

II-1 Introduction

L'adduction est l'ensemble des installations reliant la prise d'eau, qui peut être une source, un forage ou une retenue, au point d'utilisation ou au réservoir de stockage.

On distingue deux types d'adduction ; cela dépend du relief de la région à alimenter, à savoir :

- ✓ adduction par refoulement ;
- ✓ adduction gravitaire.

II.1.1-Adduction par refoulement

Dans ce cas, le point de captage se situe à un niveau inférieur à celui du réservoir d'accumulation. Ce type d'adduction fait appel à une source d'énergie fournie par une station de pompage pour élever les eaux.

II.1.2-Adduction gravitaire

Le point de captage se situe à une altitude supérieure à celle du réservoir de stockage.

Dans ce cas, la conduite peut être :

- Un aqueduc, caractéristique d'un écoulement à surface libre ;
- Une conduite forcée ou en charge, caractéristique d'un écoulement sous pression [4].

II.2- Choix du tracé

Le choix du tracé d'adduction d'une conduite de refoulement doit tenir compte des conditions d'ordre technique et économique, qui sont, en fait liées entre elles :

II.2.1- Conditions techniques

- ✓ Rechercher un profil en long aussi régulier que possible, établi de préférence avec une rampe toujours dans le même sens, vers le réservoir d'accumulation.
- ✓ Eviter les contres pentes, qui peuvent donner lieu en exploitation, à des cantonnements d'air plus ou moins difficiles à évacuer.
- ✓ De plus, en cas d'arrêt inopiné, et si les dispositions prises pour s'opposer aux effets du phénomène du coup de bélier (détaillé dans un chapitre ultérieur) n'ont pas été suffisantes, il peut apparaître en ces points hauts, en régime transitoire, par suite de la dépression régnant dans la conduite, une cavitation entraînant une rupture de la veine liquide pouvant provoquer l'écrasement de la canalisation.
- ✓ Pour les conduites de longueur importantes (plusieurs kilomètres), il sera bon de prévoir quelques robinets de sectionnement en vue de faciliter les réparations éventuelles ;
- ✓ Eviter les forêts et les zones marécageuses.
- ✓ Eviter autant que possible la traversée des obstacles (route, voies ferrées, oueds.....).

✓ Il y a lieu de concevoir un tracé en plan, avec des coudes largement ouvertes afin d'éviter les butées importantes. A cet effet le parcours empreint ne suivra pas facilement les accotements de la route.

On préfère souvent de le concevoir le long des routes et les pistes pour faciliter la pose des conduites et son exploitation c'est-à-dire :

- ✓ Faciliter l'accès pour l'entretien et la réparation ;
- ✓ Faciliter la détection des fuites et les vannes d'affectueuses [4, 8].

II.2.2- Conditions économiques

Dans le but d'économie du projet, on va choisir le profil en long le plus court, ce qui permet d'avoir un prix minimum de la conduite.

En effet, plus le diamètre de la conduite est petit pour un même débit à relever, plus les pertes de charge seront grandes, plus le moteur d'entraînement devra être puissant, c'est-à-dire plus l'énergie dépensée sera importante.

Il est donc intuitif, qu'il existe un diamètre économique pour la conduite, résultant d'un compromis entre les deux tendances suivantes :

- ✓ Les frais d'amortissements de la conduite qui croissent avec le diamètre de la canalisation.
- ✓ Les frais d'exploitation de la station de pompage qui décroissent quand le diamètre augmente, par suite de la diminution des pertes de charge[4, 8].

II.3- Choix des types de conduites

Le marché du matériel hydraulique à évolué avec l'évolution des récentes technologies spécialisées dans le domaine. De ce fait, on dispose de différents types de conduites.

Selon le matériau constitutif, on distingue :

- ✓ Conduite en acier ;
- ✓ Conduite en fonte ductile ;

Le choix du type des conduites dépend des critères suivants :

- 1) La pression à supporter ;
- 2) Les pertes de charge ;
- 3) Le diamètre économique ;
- 4) La nature du terrain ;
- 5) La longueur des conduites ;
- 6) Disponibilité sur le marché[8].

Dans notre projet, les terrains traversés sont en général des marnes sous leurs produits d'altération ou sous des éboulis gréseux, qui peuvent provoquer des mouvements de sol et des affaissements. Sachant que le débit est très important ($6 \text{ m}^3/\text{s}$), ce qui nécessite de grand diamètres de l'ordre de 1800 à 3000 mm.

L'acier HA Fe E 500 et TS HA 500 répond aux objectifs recherchés, notamment :

- Disponibilité sur le marché.
- Une longue durée de vie obtenue grâce à sa résistance aux chocs et aux pressions importantes.
- Commodité de pose pour leur flexibilité et leur attitude à être soudée et découpée.

II.4-Dimensionnement des conduites

D'un point de vue économique, la conduite de refoulement et la station de pompage sont liées.

En effet, plus le diamètre est petit pour un même débit à relever, plus la perte de charge sera grande, plus le moteur d'entraînement devra être puissant, et par suite plus l'énergie dépensée sera importante. Il est donc intuitif qu'il existe un diamètre économique pour la conduite de refoulement résultant d'un compromis entre les deux tendances suivantes [6] :

- ✓ Les frais d'amortissements de la conduite qui croissent avec le diamètre de la Canalisation ;
- ✓ Les frais d'exploitation de la station de pompage, qui décroissent quand le diamètre augmente, par suite de la diminution des pertes de charge.

II.4.1-Détermination du diamètre économique

Pour le calcul d'une conduite, quatre paramètres interviennent [9] :

- Le débit Q
- la vitesse V
- La perte de charge unitaire j
- Le diamètre D

Seul, le débit est connu et la valeur recherchée est D.

On a:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times V \quad (\text{II.1})$$

Avec,

- Q : Débit transitant dans la conduite (m³/s)
- V : Vitesse d'écoulement (m /s)
- D : Diamètre de la conduite (m)

$v \in [v_{\min}, v_{\max}]$ avec :

$$V_{\min} = 1 \text{ m/s}$$

$$V_{\max} = 3 \text{ m/s}$$

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi V_{\min}}} \quad (\text{II.2})$$

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi V_{\max}}} \quad (\text{II.3})$$

Pour $Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$

$$D_{\max} = 2.764 \text{ m}$$

$$D_{\min} = 1.596 \text{ m}$$

II.4.2-Les pertes de charge

Les parois de la conduite de refoulement exercent une friction sur l'eau. Cette dernière entraîne une perte de charge, c'est-à-dire, qu'elle réduit considérablement le rendement. La perte de charge est liée à la longueur de la conduite, à son diamètre ainsi qu'aux singularités (vannes, coudes, tés, clapet et raccords) utilisées lors de l'installation. Elles se présentent sous deux formes [6] :

- Pertes de charge linéaire
- Pertes de charge singulières

a) Pertes de charge linéaires

Elles se déterminent à partir de la formule de DARCY-WEISBACH suivante :

$$H_L = J \times L = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{II.4})$$

Avec,

- J : Perte de charge par unité de longueur (m/m)
- L : Longueur de la conduite (m)
- λ : Coefficient de perte de charge de DARCY, il dépend de la rugosité relative et de la nature du régime d'écoulement

- D : Diamètre de la conduite (m)
- V : Vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)

En régime transitoire, λ est donné par la formule de COLEBROOK ci –après [3] :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{\lambda}} + \frac{K}{D \times 3.71} \right) \quad (\text{II.5})$$

Avec,

- K : Rugosité absolue (d'après André Dupont : k=0.002 m pour des conduites en acier) [7].
- Re : Nombre de REYNOLDS donnée par la formule suivante [6] :

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\mu} \quad (\text{II.6})$$

Où,

- μ : Viscosité cinématique de l'eau, donnée par la formule de STOKES

Où,

$$\mu = \frac{0,0178}{(1+0.00337 t+0.000221 t^2)} \quad (\text{II.7})$$

- t : Température de l'eau en °C

Pour t = 20 °C, $\mu = 0.01$ stokes = 10^{-6} m²/s (1 stokes = 10^{-4} m²/s)

En régime turbulent rugueux, λ est donné par la formule de NIKURADZE suivante [4] :

$$\lambda = \left[1.14 - 0.86 \times \ln \left(\frac{K}{D} \right) \right]^{-2} \quad (\text{II.8})$$

La fonction de lambda f (λ) est donnée par la formule ci-dessous:

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log_{10} \left(\frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{\lambda}} + \frac{K}{D \times 3.71} \right) \quad (\text{II.9})$$

b) Pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières sont estimées à 20% des pertes de charges linéaires [4,5].

$$H_s = 0.20 \times H_L \quad (\text{II.10})$$

c) Pertes de charge totale

Elle représente la somme des deux pertes de charge linéaire et singulière.

$$H_T = H_L + H_s \quad (\text{II.11})$$

$$H_T = 1.2 \times H_L \quad (\text{II.12})$$

II.4.3- Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation (HMT)

C'est la différence d'énergie entre l'entrée et la sortie de la pompe, elle est égale à la somme de la hauteur géométrique H_g et des pertes de charges à l'aspiration et au refoulement [4].

$$H_{mt} = H_g + H_a + H_r \quad (\text{II.13})$$

Avec,

- H_g : Hauteur géométrique (m)
- H_a : Pertes de charge à l'aspiration (m)
- H_r : Pertes de charge au refoulement (m)

II.4.4- Puissance à fournir à la pompe

C'est la puissance disponible au niveau de l'arbre d'entraînement de la pompe, elle se calcule comme suit [3,6]:

$$P = \frac{9.81 \times Q \times H_{mt}}{\eta} \quad (\text{kW}) \quad (\text{II.14})$$

Avec,

- ✚ Q : Débit (m^3/s)
- ✚ η : Rendement de la pompe (%)

II.4.5-Energie consommée par la pompe

L'énergie consommée par la pompe est donnée par la formule suivante

$$E = P \times T_p \times 36 \quad (\text{KWh}) \quad (\text{II.15})$$

Avec:

- ✚ P : Puissance de pompage (kWh)
- ✚ T_p : Nombre d'heures de pompage par jour ($T=24\text{h}$)

II.4.6-Frais d'exploitation

$$F_{exp} = E \times e \quad (\text{DA}) \quad (\text{II.16})$$

Avec,

✚ e' : Prix d'un kWh ($e= 4.179$ DA)

II.4.7-Frais d'amortissement

Ils sont obtenus en multipliant le prix de revient de la conduite par l'amortissement annuel.

$$F_{am} = C_u \times L \times A \quad (\text{en DA}) \quad (\text{II.17})$$

Avec,

✚ C_u : Prix unitaire de la conduite en (DA/m)

✚ L : Longueur de la conduite (m)

✚ A : Amortissement annuel

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i \quad (\text{II.18})$$

✚ i : Taux d'annuité (dans notre cas 8%)

✚ n : Nombre d'années d'amortissement (dans notre cas, il est de 30 ans)

II.4.8-Bilan général

Le bilan général est la somme des frais d'exploitation et des frais d'amortissement.

$$B_L = F_{am} + F_{exp} \quad (\text{DA}) \quad (\text{II.19})$$

II.4.9-Calcul des prix de revient des conduites en acier

Tableau (II.1) : Calcul du volume du déblai et remblai

Diamètre(m)	Largeur(m)	Profondeur(m)	Vdéblai(m ³)	Vconduite (m ³)	Vremblai(m ³)
1.8	3.8	2.8	10.64	2.5434	8.0966
1.9	3.9	2.9	11.31	2.83385	8.47615
2	4	3	12	3.14	8.86
2.5	4.5	3.5	15.75	4.90625	10.84375
3	5	4	20	7.065	12.935

Tableau (II.2) : prix des différentes opérations pour chaque diamètre

Opérations	Prix unitaire(DA)	D(m)	V (m3)	Prix Total(DA)
Déblai	890,5	1,8	10,64	9474.92
		1,9	11,31	10071.555
		2	12	10686
		2,5	15,75	14025.375
		3	20	17810
Remblai	260	1,8	8,0966	2105.116
		1,9	8,47615	2203.799
		2	8,86	2303.6
		2,5	10,8438	2819.375
		3	12,935	3363.1
Transport du V restant	390	1,8	2,5434	991.926
		1,9	2,83385	1105.201
		2	3,14	1224.6
		2,5	4,90625	1913.437
		3	7,065	2755.35

Tableau (II.3) : Prix global unitaire des conduites par (ml)

Diamètre(m)	1,8	1,9	2	2,5	3
Prix total des opérations en (DA)	12571.74	13380.555	14214.2	18758.187	23928.45
Prix d'achat et pose des conduites	112612.5	127362.3	139027.2	254800	353087.8
Prix global unitaire	125184.462	140742.8555	153241.4	273558.189	377016.25

II.5-Dimensionnement des conduites

II.5.1- conduites de refoulement

✚ Tronçon1 :« SP1-SR1 »

La longueur de l'adduction : L=5089 m

La hauteur géométrique : hg=250.3m

La rugosité de la conduite : K=0.002 m

Le débit du projet : Q=6 m³/s

Tableau(II.4) : calcul de la HMT

D(m)	V(m/s)	Re	J(m/m)	L(m)	$\Delta H(m)$	Hmt(m)	λ	f
1.8	2.359047	4246284.5	0.0033309	5089	20.340935	225.640935	0.0211376	-0.155049
1.9	2.117261	4022795.8	0.0023711	5089	14.479783	219.779783	0.0197175	0.0431507
2	1.910828	3821656.1	0.0019668	5089	20.661293	270.961283	0.0363605	-1.881131
2.5	1.2229299	3057324.8	0.0006012	5089	6.3238831	256.623883	0.033963	-1.886294
3	0.8492569	2547770.7	0.0002205	5089	2.6111717	252.911172	0.034895	-2.11 ^E +00

Le taux d'annuité : $i = 8\%$

L'amortissement annuel : $A=0.08882743$ Da

Le nombre d'années : $n = 30$ ans

Prix kWh : $e' = 4.179$ Da


Tableau(II.5) : Calcul des frais d'exploitation et d'amortissement

D(m)	P(Kwh)	E(Kwh)	Fexp (DA)	Prix ml (DA)	L(m)	F amont(DA)
1.8	23794.824	208442659	871081873	125184.46	5089	59679352.13
1.9	23201.399	203244259	849357758	140742.86	5089	67096525.4
2	22783.973	199587603	834076594	153241.4	5089	73054972.85
2.5	21578.403	189026806	789943022	273558.19	5089	130413752.2
3	21266.217	186292057	778514505	377016.25	5089	179734559.5

Tableau (II.6) : Le bilan

D(m)	1.8	1.9	2	2.5	3
Frais exp (Da)	871081873	23201.399	22783.973	21578.403	21266.217
Frais amts(Da)	59679352.1	67096525.4	73054972.9	130413752	179735450
Bilan(Da)	9307761225	916454284	907131567	130413753	179735450

Le diamètre économique est de **2.5m** avec une vitesse de **1.23 m/s**

 **Tronçon2 : « SR1-SR2 »**

La longueur de l'adduction : L4949=m

La hauteur géométrique : hg=235m

Tableau (II.7) : calcul de la HMT

D(m)	V(m/s)	Re	J(m/m)	L(m)	$\Delta H(m)$	Hmt(m)	λ	f
1.8	2.359047	4246284.5	0.0053519	4949	31.783839	266.783839	0.033963	-1.609445
1.9	2.117261	4022795.8	0.0041962	4949	24.920612	259.920612	0.034895	-1.728455
2	1.910828	3821656.1	0.0033833	4949	20.092884	255.092884	0.0363605	-1.881131
2.5	1.2229299	3057324.8	0.0010355	4949	6.149911	241.149911	0.033963	-1.886294
3	0.8492569	2547770.7	0.0004276	4949	2.5393375	237.539338	0.034895	- 2.11027

Tableau(II.8) : Calcul des frais d'exploitation et d'amortissement

D(m)	P(Kwh)	E(Kwh)	Fexp (DA)	Prix ml (DA)	L(m)	F amont(DA)
1.8	21423.472	187669613	784271311	125184.46	4949	55031961.76
1.9	20944.191	183471111	766725772	140742.86	4949	61871539.95
2	20596.46	180424991	753996037	153241.4	4949	67365987.2
2.5	20277.263	177628820	742310837	273558.19	4949	120258086
3	19973.665	174969304	731196722	377016.25	4949	165738970.5

Tableau (II.9) : Le bilan

D(m)	1.8	1.9	2	2.5	3
Frais exp (Da)	784271311	766725772	753996037	735162048	727796898
Frais amts(Da)	55031961.8	61871540	67365987.2	55031961.6	61871540
Bilan(Da)	839303273	828597312	821362024	790194010	789668437

Le diamètre économique est de **3 m** avec une vitesse de **0.85 m/s**.

Tronçon 3 :« SR2-BE1 »

La longueur de l’adduction : L=2264m

La hauteur géométrique : hg= 236.7m

Tableau (II.10) : Calcul de la HMT

D(m)	V (m/s)	Re	J(m/m)	L(m)	ΔH(m)	Hmt(m)	λ	f
1.8	2.359047	4246284.5	0.0053549	2264	14.540031	251.240031	0.033963	-1.609445
1.9	2.117261	4022795.8	0.0041962	2264	11.400336	248.100336	0.034895	-1.728455
2	1.910828	3821656.1	0.0033833	2264	9.1918143	245.891814	0.0363605	-1.88113074
2.5	1.2229299	3057324.8	0.0010355	2264	2.8133762	239.513376	0.033963	-1.886294
3	0.8492569	2547770.7	0.0004276	2264	1.161661	237.861661	0.034895	-2.11027

Tableau(II.11) : Calcul des frais d’exploitation et d’amortissement

D(m)	P(Kwh)	E(Kwh)	Fexp (DA)	Prix ml (DA)	L(m)	F amont(DA)
1.8	21125.697	185061110	773370377	125184.46	2264	25175259.94
1.9	20861.694	182748439	763705728	140742.86	2264	28304135.47
2	20675.989	181121662	756907427	153241.4	2264	67365987.2
2.5	20139.653	176423363	737273234	273558.19	2264	55014004.18
3	20000.768	175206725	732188903	377016.25	2264	75819969.53

Tableau (II.12) : Le bilan

D(m)	1.8	1.9	2	2.5	3
Frais exp (Da)	756468731	748442241	742618817	734002905	730633598
Frais amts(Da)	25175259.9	28304135.5	30817659.1	55014004.2	75819969.5
Bilan(Da)	781643991	776746376	773436477	789016909	806453567

Le diamètre économique est de **2m** avec une vitesse de **1.91m/s**.

II.5.2- Conduites gravitaires (écoulement en charge)

Pour tous les tronçons, la cote de départ et la cote d’arrivée sont imposées. La différence entre ces deux cotes donnera la charge disponible ΔH.

Avec un débit Q connu, on recherchera le diamètre D de la conduite qui écoulera se débit avec une perte de charge (ΔH) aussi proche de la charge disponible.

Il sera vérifié, en suite, que la vitesse de l'eau dans la conduite reste acceptable.

Tronçon 5: « BE1-BE2»

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu = 0.000001 \text{ m}^2/\text{s} \\ k = 0.002 \text{ m} \\ L = 9360 \text{ m} \\ Q = 6 \text{ m}^3/\text{s} \\ \partial H = 19.7 \text{ m} \end{array} \right.$$

Les résultants de calcul sont donnés dans le tableau ci-après

Tableau(II.13): Dimensionnement des conduites BE1-BE2

D(m)	V(m/s)	Re	λ	F	$\Delta H(\text{m})$
2	1.91082803	3821656.05	0.0179984	0.33306269	18.8107993

Tronçon 5: « BE2-Mehouane »

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu = 0.000001 \text{ m}^2/\text{s} \\ k = 0.002 \text{ m} \\ L = 484 \text{ m} \\ Q = 6 \text{ m}^3/\text{s} \\ \partial H = 56.3 \text{ m} \end{array} \right.$$

A partir du bassin BE2, l'écoulement vers MEHOUANE se fait gravitairement.

Dans ce tronçon, la pente I est de l'ordre de 10 %, ce qui impose des vitesses d'écoulement très importantes.

L'électricité de France [EDF] a dimensionné ce tronçon avec une canalisation de diamètre 1.8 m, la charge dissipe est de l'ordre de 3m (6 %) de la charge disponible ce qui contredit le principe du dimensionnement des écoulements gravitaires.

Pour cela nous avons propose une solution d'un dispositif qui est un flotteur à disque obturateur pour dissiper toute la charge restante (voire Annexe 02).

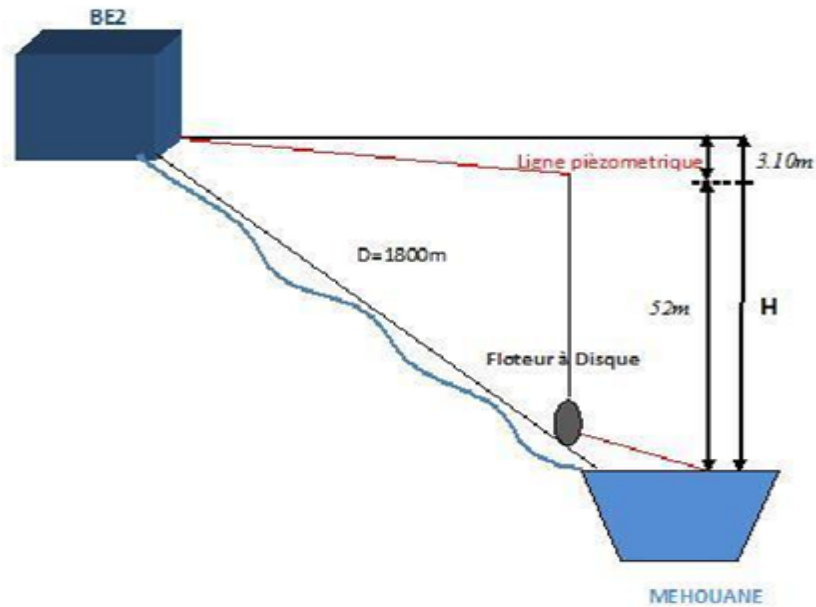


Figure (II.1): Schéma explicatif du principe de dimensionnement BE2-MAHOUANE

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau ci-après:

Tableau (II.14): Dimensionnement des conduites BE2-MAHOUANE

D(m)	V(m/s)	Re	λ	f	$\Delta H(m)$
1.8	2.35904695	4246284.5	0.033963	-1.60944531	3.10838109

II.6-Conclusion

A travers ce chapitre consacré à l'adduction, nous présumons avoir touché aux grands axes de l'étude technique économique, en calculant les différents paramètres, à savoir, la vitesse d'écoulement, les pertes de charge, l'énergie consommée, ainsi que les frais d'exploitations, et en optant également pour le matériau qui nous paraît être le plus adapté au projet, qui est l'acier.

Par conséquent, après cette étude technico-économique pour l'adduction, il est nécessaire de choisir les pompes qui doivent répondre aux conditions d'exploitations désirées, qui sera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III

POMPES ET STATIONS DE POMPAGES

III.1-Introduction

Dans la conduite de refoulement, les eaux sont relevées par des stations de pompages, nous étudierons, alors, les conditions d'établissement des stations de reprises de la chaîne d'adduction qui permettront d'acheminer jusqu'à la retenue, pour cette raison l'essentiel de ce chapitre y sera consacré.

III.2- Définition d'une pompe

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Les pompes modernes ont été développées à partir du XVIII^e siècle. Cependant, l'ancienne pompe à godets fut inventée en CHINE au I^{er} siècle après J-C.

Au point de vue physique la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique qui fait augmenter la pression du liquide [8].

III.3- Classification des pompes (les différents types de pompes)

Sachant que selon BONIN (1977) les pompes se classent en deux catégories

- Les turbopompes,
- Les pompes volumétriques.

✓ Dans les turbopompes une roue, munie d'aubes ou d'ailettes, animée d'un mouvement de rotation, fournit au fluide de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en pression, par réduction de vitesse dans un organe appelé récupérateur.

✓ Dans les pompes volumétriques, l'énergie est fournie par les variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement (grand encombrement) [7].

III.3.1- Les turbopompes

Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

Ce sont les plus employées. On distingue :

- Les pompes centrifuges (à basse et haute pression), sont utilisées pour des hauteurs d'élévation importantes (plusieurs dizaines de mètres).
- Les pompes hélices, élèvent des débits importants (plusieurs centaines de litres) à des hauteurs faibles (quelques mètres).
- Les pompes hélico-centrifuges.

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe (roues radiales, semi-radiales, axiales) [8].

Tableau III.1: Hauteurs admissibles selon le type de roue des pompes dynamiques

Type de roue	Hauteur par roue
Centrifuge	25 à 120m
Hélico-centrifuge	8 à 35m
Hélice	2 à 10m

III.3.2- Les pompes volumétriques

L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. Elles sont surtout destinées au pompage des fluides visqueux, qu'elles élèvent à de faibles débits à des pressions élevées.

On distingue :

- Les pompes rotatives,
- Les pompes à rotor excentré, à rotor oscillant, à palettes, à engrenages,
- Les pompes à piston (alternatives) [8].

Autre pompes:

- les élévateurs à hélice ou vis d'Archimède.
- le pompage par émulsion ou air lift.

III.4- Choix du type de pompes

Les pompes doivent satisfaire les conditions suivantes :

- ✓ Assurer un débit Q et la hauteur H_{mt} ;
- ✓ Meilleur rendement ;
- ✓ Vérifier la condition de non cavitation ;
- ✓ Un poids faible, une anti-corrosion, non encombrement ;
- ✓ Assurer une capacité d'aspiration forte ;
- ✓ Vitesse de rotation la plus élevée ;
- ✓ Puissance absorbée minimale ;
- ✓ Etre fabriquée en série ;
- ✓ Exploitation simple ;
- ✓ Répondre à la construction économique du bâtiment [8].

III.5- Choix du nombre de pompes

Les critères de choix du nombre de pompes sont :

- ✓ Nombre de pompes n minimal ;
- ✓ Meilleur rendement ;
- ✓ Charge nette d'aspiration requise (NPSH)_r minimale ;
- ✓ Nombre d'étage minimal ;
- ✓ Puissance absorbée minimale [8].

III.6- Pompes centrifuges

Dans ce qui suit on parlera des pompes centrifuges, les plus employées dans le domaine de l'hydraulique, qui présentent les avantages suivants :

- ✓ Accouplées aux moteurs électriques ;
- ✓ C'est des groupes légers, peu encombrants (environ 8 fois moindre que ceux des pompes volumétriques), et d'un grand rendement, et surtout peu coûteux relativement aux autres types de pompes [8].

III-6-1 Ossature d'une pompe centrifuge

Nous retrouvons généralement dans une pompe centrifuge trois organes distincts que le fluide traverse successivement depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la machine, soit, le distributeur, la roue et le diffuseur qui se retrouvent réduit ou même inexistants.

- **Le distributeur**

Son rôle est de guider le fluide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de la roue, tout en lui assurant une vitesse de grandeur et direction convenable.

- **La roue**

Elle constitue l'organe essentiel de la pompe, en comportant les aubages dont la concavité de la courbure est dirigée vers le sens opposé de la rotation.

- **Diffuseur et volute**

Son rôle est la collecte de fluide à la sortie de la roue pour l'acheminer vers la section (croissante) de la sortie de la machine [8].

III.6-2-Principe de fonctionnement

Une pompe centrifuge est constituée par :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe
- Un distributeur dans l'axe de la roue
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée 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 où la section est croissante.

L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie [8].

III.6-3-Caractéristiques

Les hauteurs manométriques totales fournies ne peuvent dépasser quelques dizaines de mètres. Pour dépasser ces valeurs on utilise des pompes centrifuges multicellulaires où plusieurs roues sont montées en série sur le même arbre. Le refoulement d'une des pompes communique avec l'aspiration de la pompe suivante. Il est également possible de coupler en série plusieurs de ces pompes.

Le rendement est de l'ordre de 60 à 70 %: il est inférieur à celui des pompes volumétriques [8].

III.6.4- Utilisation

Ce sont les pompes les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas tel que:

- Utilisation de liquides visqueux: la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tels que le vin, le lait et la bière).
- Utilisation comme pompe doseuse: là nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques. Par contre contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides [8].

III.6.5-Classification des pompes centrifuges

Les pompes centrifuges sont classées en plusieurs catégories selon certains critères :

- **Selon le nombre de cellules**

Vu que les pompes pouvaient comporter une ou plusieurs cellules ayant pour objectif d'augmenter la hauteur d'élévation, nous aurons en principe :

- **Des pompes monocellulaires**

Pour les pressions moyennes de 15m à 80m. Les pompes de grande hauteur d'élévation, auront une vitesse spécifique d'autant plus faible que le débit sera petit et la largeur de la turbine sera par ailleurs relativement faible. Les pompes de faible hauteur d'élévation auront une vitesse spécifique d'autant plus grande que le débit sera grand et présentant un diamètre D_2 de sortie voisin à D_1 et très proche de D_0 leur largeur sera relativement grande [8].

- **Des pompes multicellulaires**

En fait appel aux pompes multicellulaire quand la hauteur d'élévation relèvement sera très grande et que pour des raisons de fabrication, les dimensions des pompes monocellulaires auxquelles on aboutirait seraient très importantes.

Pour ce type de pompe, la hauteur d'élévation augmente d'une même quantité chaque fois qu'une roue est montée à la suite d'une autre, il suffit de disposer en série le nombre voulu de roue pour atteindre la hauteur « H » désirée, nous appelons que le débit à relever est égale à celui qui passe dans une roue, c'est-à-dire que si r est le nombre de roues en série, chacune fonctionnera avec un débit « Q » et une hauteur d'élévation « H/r » et le rendement de la pompe multicellulaire sera beaucoup plus petit que celui de chaque roue isolée [8].

- **Selon la position de l'axe de rotation**

Les pompes monocellulaire et multicellulaires peuvent être soit :

✚ **A axe horizontal:** correspondant au type le plus répandu

✚ **A axe verticale :** ce type de pompe est destiné à équiper les puits et forages, où elle fonctionne noyé ou dénoyé quand il est équipé d'un collecteur d'aspiration.

- **Selon le nombre d'entrée**

Il existe deux catégories :

✚ Les pompes à une seule entrée ;

✚ Les pompes à double entrées [8].

III.7- Choix des pompes

Le choix du type de pompe à installer se fait de façon à :

- ✓ Assurer le débit de refoulement et la hauteur manométrique totale.
- ✓ Assurer un rendement maximum.
- ✓ Une vitesse de rotation importante.
- ✓ Réduire l'encombrement de façon à répondre à la construction économique.

III.8- Les courbes caractéristiques d'une pompe

Les courbes principales qui caractérisent une pompe centrifuge et qui expriment ses performances, sont, pour une vitesse de rotation donnée, au nombre de trois (Figure (III.1)) [5] :

- ✓ La courbe débit-hauteur (Q-H) : exprime les variations des différentes hauteurs d'élévation en fonction du débit « $H=f(Q)$ ».
- ✓ La courbe débit-puissance (Q-P) : exprime les variations des différentes puissances absorbées en fonction du débit « $P=f(Q)$ ».
- ✓ La courbe débit-rendement (Q- η) : exprime les variations du rendement en fonction du débit « $\eta =f(Q)$ ».
- ✓ Le point d'intersection de la courbe « $H=f(Q)$ » avec l'axe des ordonnées est le point à débit nul, on l'appelle point de barbotage

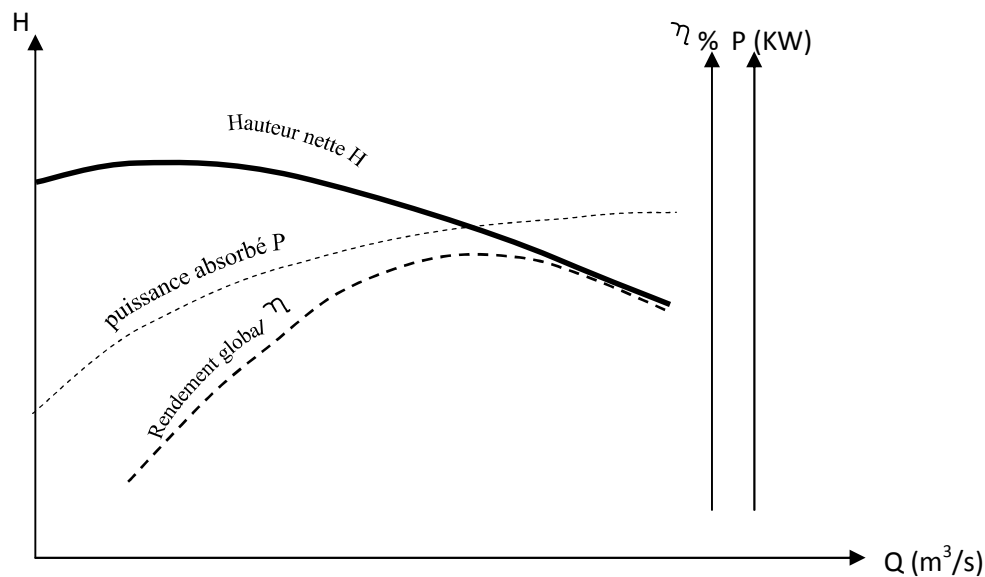


Figure (III.1) : Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge.

III.9- Recherche du point de fonctionnement de la pompe

Le point de fonctionnement d'une pompe est défini comme étant le point d'intersection de la courbe caractéristique de la pompe « $H = f(Q)$ » et celle de la conduite de refoulement « $H_C = f(Q)$ », tel que :

$$H_C = H_g + a \cdot Q^2 \quad (\text{III.1})$$

Avec,

- a : Résistance de la conduite
- H_C : Caractéristique de la conduite

Remarque :

Lorsque le point de fonctionnement désiré coïncide avec le point de fonctionnement de la pompe, dans ce cas la pompe fonctionne dans des conditions optimales d'utilisation (rendement maximal de la pompe). Sinon, on sera dans l'obligation de porter des modifications sur les caractéristiques de la pompe ou de la conduite de refoulement. A cet effet, on procédera à un réglage de ce point avec le variateur de vitesse.

✓ *Vitesse variable :*

Il est en général possible d'ajuster le débit d'une pompe en agissant sur sa vitesse de rotation. Cette solution est bien souvent la plus intéressante d'un point de vue énergétique.

Cependant, l'intérêt peut être plus ou moins grand selon la nature du circuit résistant et la forme des courbes caractéristiques de la pompe.

Considérons une pompe fonctionnant sur un circuit dissipatif, où l'énergie est utilisée pour vaincre des pertes de charge ; par exemple, dans une conduite de transport sans changement de niveau. Dans ce cas, le circuit résistant est une parabole de forme $H = K.Q^2$ (Figure (III.2))

Lorsque l'on réduit la vitesse de la pompe, on parcourt la caractéristique du circuit résistant sans modifier l'adaptation de la pompe, puisque Q varie comme N et que le coefficient δ de râteau n'est pas modifié. En particulier, si le point de départ M_1 correspond au point de rendement optimum, ce rendement sera conservé pour toutes les vitesses comprises entre 0 et N , à l'influence près du nombre de Reynolds.

La variation du débit par variation de vitesse est donc, d'un point de vue énergétique, mais aussi par d'autres aspects (bruit ou sollicitations mécaniques, etc.), la meilleure solution [6].

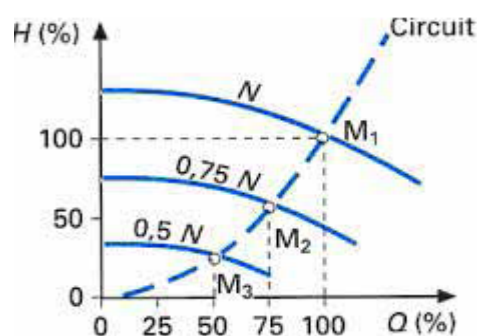


Figure (III.2) : Circuit dissipatif

III.10- Etude de la cavitation

Par définition, la cavitation est la formation des cavités au sein d'un liquide, et cela quand la pression absolue à l'entrée de la pompe est inférieure à la tension de vapeur. Pour que la pompe fonctionne normalement (sans perturbation), il faut que la pression absolue à son entrée soit supérieure à la tension de vapeur de l'eau à la température correspondante.

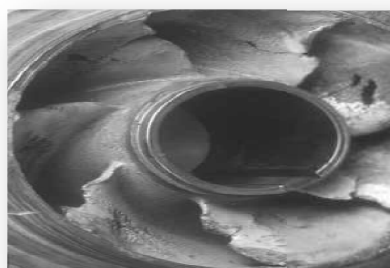


Figure (III.3) : Phénomène de cavitation sur les aubes d'une pompe centrifuge

La cavitation provoque des bruits de cailloux brassés ou des crépitements ; elle s’accompagne de vibration et d’érosion des aubages. Pour éviter tout risque de cavitation, la condition suivante doit être vérifiée :

$$NPSH_d > NPSH_r \tag{III.2}$$

Avec,

- $NPSH_d$: Charge nette d’aspiration disponible (donnée par l’utilisateur).
- $NPSH_r$: Charge nette d’aspiration requise (donnée par le constructeur).

$NPSH_r$ est donnée par la formule suivante :

$$NPSH_d = \frac{P_0}{w} - (H_a + h_a + h_v) \quad (\text{aspiration en dépression}) \tag{III.3}$$

$$NPSH_d = \frac{P_0}{w} + (H_a - h_a - h_v) \quad (\text{aspiration en charge}) \tag{III.4}$$

Avec,

- P_0 : Pression atmosphérique en (m.c.e)
- h_a : Hauteur totale d’aspiration (m)
- h_v : Tension de vapeur d’eau à la température considérée (voir tableau (III.2))
- H_a : Pertes de charges à l’aspiration
- w : Poids volumique, $w = \rho * g$ (N/m³)

Tableau (III.2) : Tension de vapeur d’eau pompée en fonction de la température

T (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	70	80	100
h_v (m)	0.06	0.083	0.125	0.24	0.43	0.75	1.26	2.03	4.10	4.80	10.30

III.11- Choix des pompes pour les différentes stations de pompage

Pour le dimensionnement des différentes pompes, on a utilisé le catalogue des pompes KSB RDLO (Voir Annexe 05).

Les courbes caractéristiques correspond a des pompes adaptes au projet (hauteur/débit, hauteur/couple), on été utilisées pour ce très long circuit de refoulement.

III.11.1- Station SP1

1. Fonctionnement général

- La prise d’eau dans le plan d’eau de IGHIL EMDA sera réalisée par une station équipée de groupes pompes, assurant le débit demandé lorsque le plan d'eau est à sa cote minimale d'exploitation 520 NGA.

- La hauteur manométrique varie de 8 m à 20 m selon le niveau du plan d'eau. Le type de groupe préconisé, submersible monocanal, est bien adapté à cette variation de charge.

Les courbes des groupes permettront le fonctionnement de la station pour des hauteurs de refoulement comprises entre 520 NGA et 534 NGA.

Les cotes caractéristiques du marnage du barrage d'IGHIL EMDA sont les suivantes :

✚ Côte mini de pompage = 520NGA

✚ Côte retenue normale = 532NGA

✚ PHE du barrage = 534NGA

2. Courbe caractéristique de la conduite

Le tronçon est constitué d'une conduite de longueur $L=5089$ m. La courbe caractéristique de la conduite est représentée par la fonction suivante :

$$H_C = H_g + aQ^2 \quad (\text{III.5})$$

Pour les deux niveaux d'aspiration nous aurons :

$$H_g = 250.3$$

D'où,

$$H_c = 0.146Q^2 + 250.3$$

$$H_g = 238.3\text{m}$$

D'où,

$$H_c = 0.146Q^2 + 238.3$$

3. Point de fonctionnement

L'analyse grapho-analytique des courbes des conduits et des pompes on permet de déterminer les points de fonctionnement avec les caractéristiques suivantes :

✓ $Q' = 6.53\text{m}^3/\text{s}$, $H = 258.33$ m

✓ $Q'' = 7.14\text{m}^3/\text{s}$, $H' = 247.22$ m

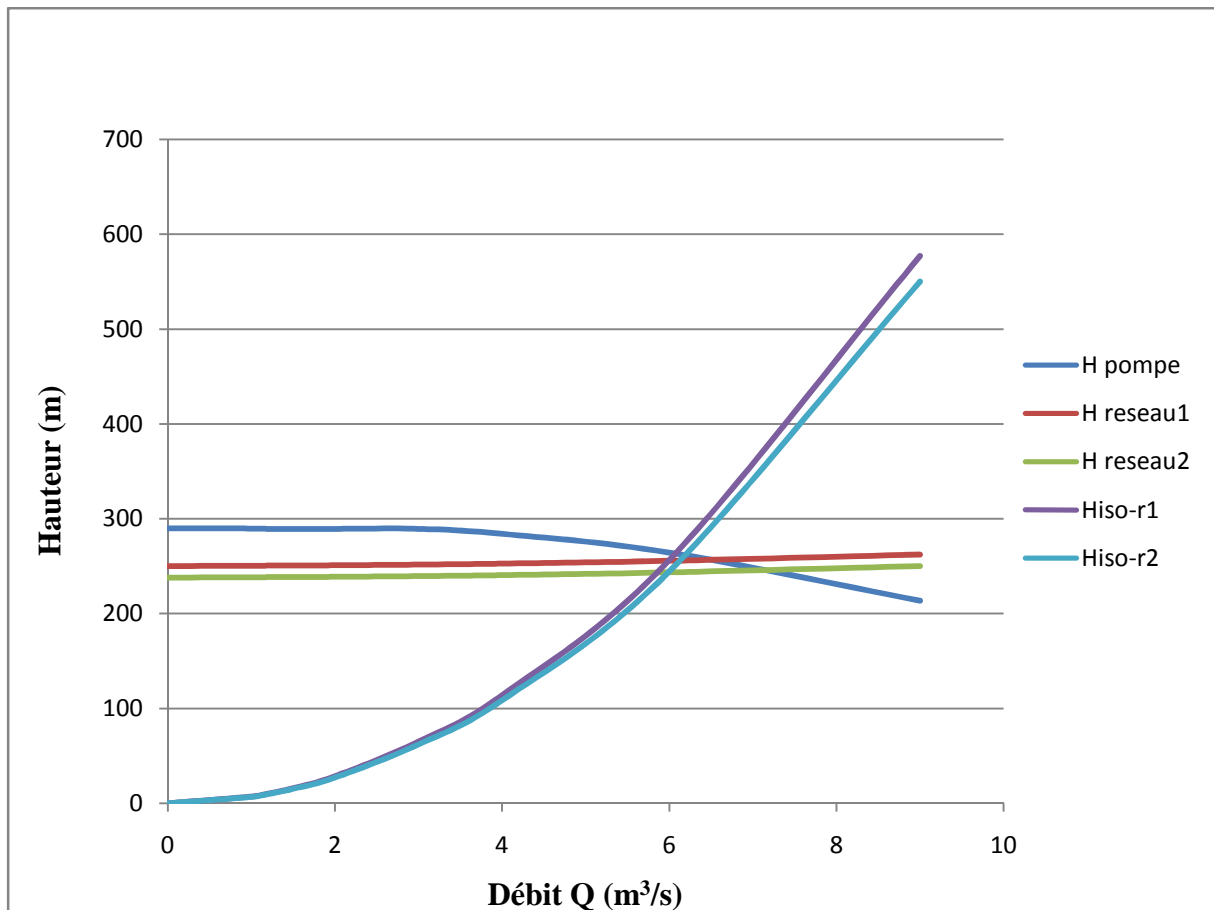
4. Réglage de point de fonctionnement

Appliquons les Lois de similitude pour deux points de fonctionnement en régime semblable :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Q}{Q_1} = \frac{N}{N_1} \\ \\ \frac{H}{H_1} = \left(\frac{N}{N_1}\right)^2 \end{array} \right. \longrightarrow H = kQ^2 \text{ (courbe iso- rendement)} \quad \text{(III.7)}$$

Tableau (III.3) : Réglage du point de fonctionnement de SPI pour les deux niveaux d'aspiration

Q (m3/s)	0	1	1,2	1,5	2	3	4	6	9
Hpompe	290	289,76	289,41	289,41	289,41	289,41	284,12	264,35	213,53
Hreseau1	250	250,45	250,51	250,63	250,89	251,61	252,64	255,56	262,13
Hreseau2	238	238,45	238,51	238,63	238,88	239,61	240,65	243,56	250,13
Hiso-r1	0	7,13	10,26	16,04	28,51	65,15	114,05	256,62	577,4
Hiso-r2	0	6,79	9,78	15,29	27,18	61,16	108,72	244,62	550,39



Figure(III.4): Analyse grapho-analytique des pompes SP1 avec réglage du point de fonctionnement.

Donc, tous les points homologues appartiennent à la courbe iso-rendement de telle façon qu'elle coupe la caractéristique de la pompe aux points C' (Q, H) et C'' (Q, H).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Q_1}{Q} = \frac{N_1}{N} \\ \frac{H_1}{H} = \left(\frac{N_1}{N}\right)^2 \end{array} \right. \quad \longrightarrow \quad N_1 = \left(\frac{Q_1}{Q}\right) \times N \quad \text{(III.8)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Q_1}{Q} = \frac{N_1}{N} \\ \frac{H_1}{H} = \left(\frac{N_1}{N}\right)^2 \end{array} \right. \quad \longrightarrow \quad N_1 = \sqrt{\frac{H_1}{H}} \times N \quad \text{(III.9)}$$

Pour C' (Q, H)=C' (6.075, 266.67), on aura N1= 980 tr/min

Pour C'' (Q, H)=C'' (6.24, 258.33), on aura N2= 954tr/min

D'où,

- N1=980 tr/min pour le niveau minimal de la retenue
- N2=954 tr/min pour le niveau maximal de la retenue

La variation de la vitesse de rotation dans la plage de fonctionnement de la pompe est une fonction de la hauteur d'eau dans le barrage telle que : $N=f(H)$.

5. Courbes caractéristiques des pompes

La station SP1 comprend quatre pompes en marche et une de secours du type vertical à plan de joint **RDLO 600-1271A** ayant les caractéristiques suivantes :

- * Débit unitaire : $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ à Hmt = 256.62 m,
- * Vitesse maximale : 993 tr/min
- * Rendement minimum 84.85% au point de fonctionnement défini ci-dessus et supérieur à 80 % sur toute la plage de fonctionnement du groupe.

6. Calcul de la puissance de la pompe

$$P = \frac{g \times \text{HMT} \times Q}{\eta} \text{ (KW)} \quad (\text{III.10})$$

$$g=9.81 \text{ m/s}$$

$$Q=6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{HMT}_1= 256.62\text{m}$$

$$\text{HMT}_2= 244.62 \text{ m}$$

$$\eta=84.85 \%$$

✓ Pour l'ensemble des groupes :

$$P_1= 17801.6 \text{ (KW)}$$

$$P_2= 16969.2 \text{ (KW)}$$

7. Calcul de la puissance du moteur

$$P_m=1.1 \cdot P_a \text{ (KW)}$$

$$P_{m1}= 19581.76 \text{ (KW)}$$

$$P_{m2}= 18666.12 \text{ (KW)}$$

8. Vérification de la cavitation

$$\frac{P_0}{W} = 10 \text{ m}$$

$$h_a=2\text{m}$$

$$H_a = 0.01 \text{ m}$$

$$h_v = 0.24 \text{ m.c. e}$$

$$NPSH_{\text{requis}} = 5.93 \text{ m (d'après l'annexe 05)}$$

$$\frac{P_0}{W} + (H_a - h_a - h_v) = 10 + (2 - 0.01 - 0.24) = 11.75 \text{ m}$$

$$11.75 \text{ m} > 5.93 \text{ m}$$

La condition de non cavitation est vérifiée.

III.11.2- Station de reprise SR1

Les stations sont équipées de groupe électropompe qui sont autorisés à fonctionner en simultané afin d'assurer un débit maximum de $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

1. Courbe caractéristique de la conduite

Le tronçon est constitué d'une conduit de longueur $L=4949 \text{ m}$, la courbe caractéristique de la conduite est représenté par la fonction suivante :

$$H_c = H_g + aQ^2 \tag{ III.11}$$

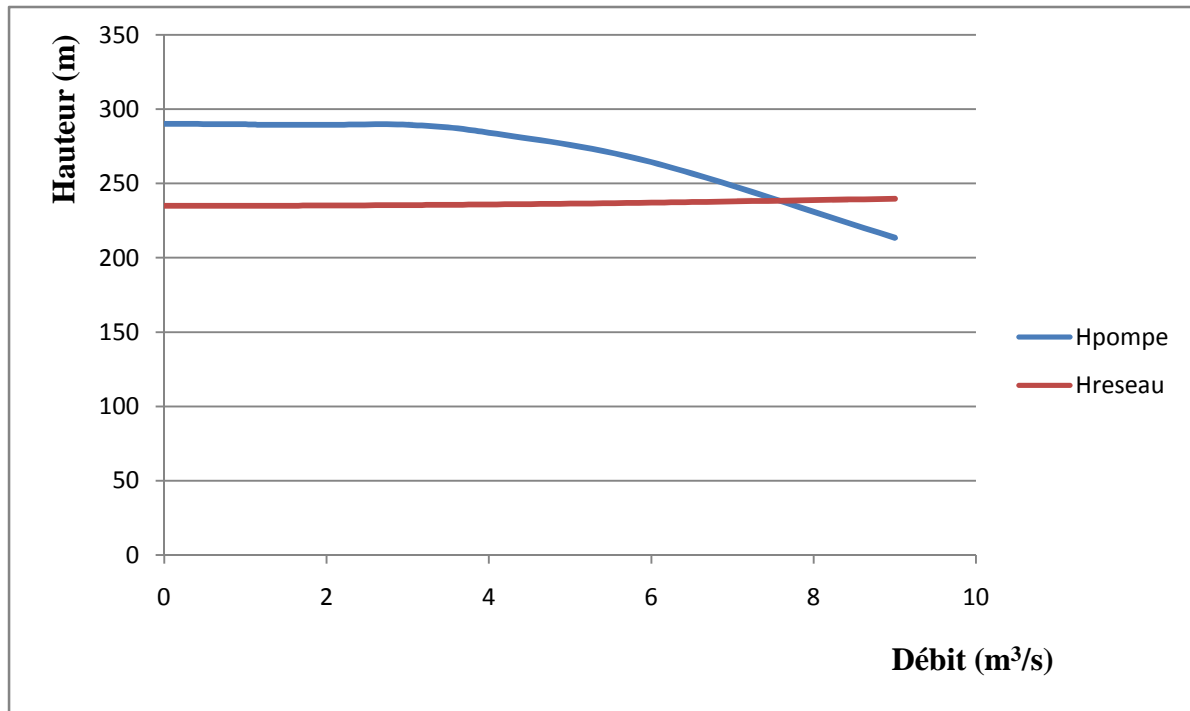
Pour : $H_g = 235 \text{ m}$

$$H_c = 235 + 0.058 Q^2$$

2. Point de fonctionnement

Tableau (III.4) : Recherche du point de fonctionnement de SR1

Q (m3/s)	0	1	1,2	1,5	2	3	4	6	9
Hpompe	290,1	289,76	289,41	289,41	289,41	289,41	284,12	264,35	213,53
Hreseau	235	235,06	235,08	235,13	235,23	235,52	235,93	237,09	239,7



Figure(III.5): Analyse grapho-analytique des pompes SR1

3. Courbe caractéristique des pompes

La station SR1 comprend quatre pompes en marche et une de secours du même type horizontal à plan de joint **RDLO 600-1171A** ayant les caractéristiques suivantes :

- * Débit unitaire : 1.5 m³/s à une Hmt=237.54m
- * Vitesse maximale : 993 tr/min
- * Rendement : 84.85% sur toute la plage de fonctionnement des groupes

4. Calcul de la puissance de la pompe

$$P = \frac{g \times HMT \times Q}{\eta} \text{ (KW)} \tag{III.12}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$HMT = 237.54 \text{ m}$$

$$Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta = 84.85\%$$

✓ Pour l'ensemble des groupes :

$$P = 16546.27 \text{ (KW)}$$

5. Calcul de la puissance du moteur

$$P_m = 1.1 * P_a \text{ (KW)}$$

$$P_m = 18200.89 \text{ (KW)}$$

6. Vérification de la cavitation

$$\frac{P_0}{\rho g} = 10 \text{ m}$$

$$h_a = 1 \text{ m}$$

$$H_a = 0.0006 \text{ m}$$

$$h_v = 0.24 \text{ m.c. e}$$

$$NPSH_{\text{requis}} = 5.93 \text{ m (d'après l'annexe 05)}$$

$$\frac{P_0}{\rho g} + (H_a - J_a - h_v) = 10 + (1 - 0.0006 - 0.24) = 10.75 \text{ m}$$

$$10.75 \text{ m} > 5.93 \text{ m}$$

La condition de non cavitation est vérifiée

III.11.3- Station de reprise SR2**1. Courbe caractéristique de la conduite**

Le tronçon est constitué d'une conduit de longueur $L=2264 \text{ m}$, la courbe caractéristique de la conduite est représenté par la fonction suivante :

$$H_c = H_g + aQ^2 \quad (\text{III.11})$$

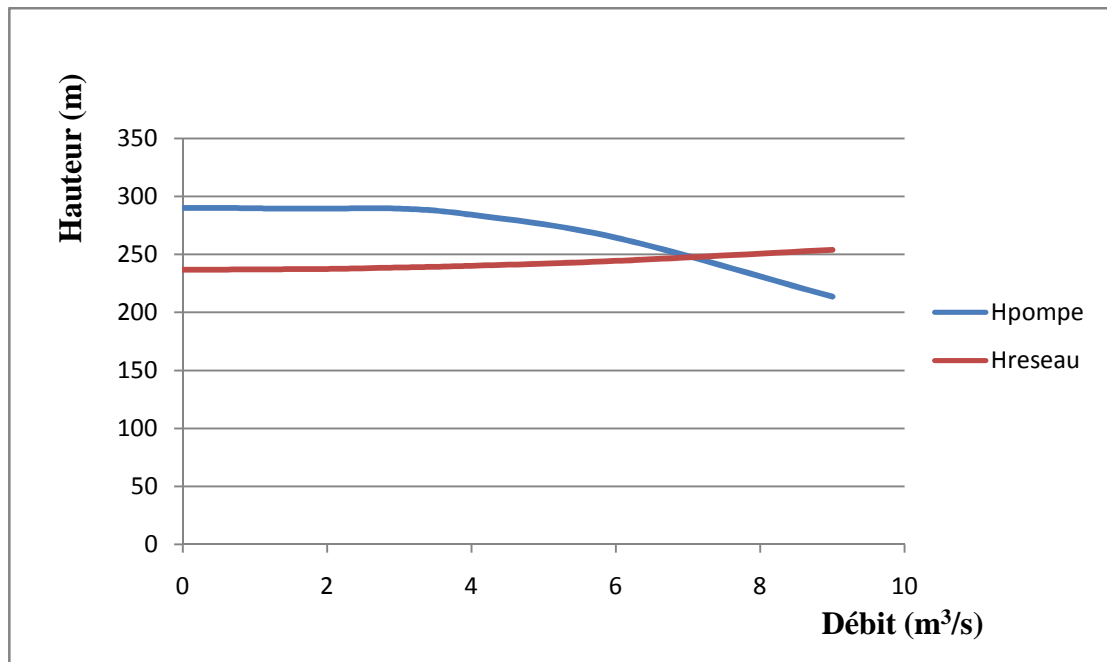
Pour : $H_g = 236.7 \text{ m}$

$$H_c = 236.7 + 0.21Q^2$$

2. Point de fonctionnement

Tableau (III.5) : Recherche du point de fonctionnement de SR2

Q (m ³ /s)	0	1	1,2	1,5	2	3	4	6	9
Hpompe	290,1	289,76	289,41	289,41	289,41	289,41	284,12	264,35	213,53
Hreseau	236,7	236,91	237	237,17	237,57	238,59	240,06	244,27	253,71



Figure(III.6): Analyse grapho-analytique des pompes SR2

3. Courbe caractéristique des pompes

La station SR2 comprend quatre pompes en marche et une de secours du type horizontal à plan de joint **RDLO 600-1271A** ayant les caractéristiques suivantes :

- * Débit unitaire : 1,5 m³/s à Hmt = 245.89 m,
- * Vitesse maximale : 993 tr/min
- * Rendement minimum 84.85% au point de fonctionnement défini ci- dessus et supérieur à 80 % sur toute la plage de fonctionnement du groupe.

4. Calcul de la puissance de la pompe

$$P = \frac{g \times HMT \times Q}{\eta} \text{ (KW)} \quad \text{(III.12)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$HMT = 245.89 \text{ m}$$

$$Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta = 84.85\%$$

✓ Pour l'ensemble des groupes :

$$P = 17057.26 \text{ (KW)}$$

5. Calcul de la puissance du moteur

$$P_m = 1.1 \times P_a \text{ (KW)}$$

$$P_m = 18762.98 \text{ (KW)}$$

6. Vérification de la cavitation

$$\frac{P_0}{W} = 10 \text{ m}$$

$$h_a = 1 \text{ m}$$

$$H_a = 0.0002 \text{ m}$$

$$h_v = 0.24 \text{ m.c. e}$$

$$NPSH_{\text{requis}} = 5.93 \text{ m (d'après l'annexe 05)}$$

$$\frac{P_0}{W} + (h_a - J_a - h_v) = 10 + 1 - 0.0002 - 0.24 = 10.76 \text{ m}$$

$$10.76 \text{ m} > 5.93 \text{ m}$$

La condition de non cavitation est vérifiée

III.12-Automatisation des pompes

III .12.1-Définition [5]

L'automatisme consiste, d'une manière générale, à partir d'informations centralisées dans un bâtiment où se tient en permanence, l'agent de surveillance, à traduire le signal reçu de façon que, grâce à un appareillage approprié, le plus souvent transistorisé la manœuvre à effectuer par le servo-mécanisme dont dépend le signal, puisse être ordonnée suivant une programmation établie à l'avance. Dans ce processus qui constitue, en quelque sorte, l'automatisme intégral, le personnel n'intervient que pour contrôler que la manœuvre a été correctement effectuée compte tenu de l'affichage de la cause qui la provoquée.

Le fonctionnement rationnel et économique d'une pompe dépend de deux niveaux d'eau, soit :

- ✓ A l'aspiration, le niveau dans la bêche d'aspiration.
- ✓ Au refoulement, le niveau dans le réservoir d'accumulation.

Il importe de réaliser :

- L'arrêt du pompage lorsque le réservoir est plein, ou lorsque le plan d'aspiration s'abaisse et atteint un certain niveau fixé.
- La reprise du pompage lorsque les conditions d'aspiration redeviennent normales, ou lorsque le plan d'eau dans le réservoir atteint le niveau minimal.

III .12.2-Modèle de liaison

1) Liaison aspiration-moteur

On installe dans la chambre d'aspiration un flotteur en liaison avec un interrupteur, lui même raccordé au contacteur de protection du moteur. Ce dispositif doit être réglé afin d'interdire toute marche à vide. Une marche à vide de la pompe peut également être interdite en utilisant un relais à minimum de puissance, basé sur le fait que la puissance absorbée par le moteur diminue quand la pompe se désamorçe [5].

2) Liaison réservoir-moteur

Cette liaison peut être effectuée avec ou sans ligne électrique appelée encore ligne pilote. Son but est d'interrompre le pompage dès que le réservoir est plein, est sa mise en marche lorsque le niveau dans le réservoir atteint le seuil minimal [5].

a) Commande par ligne pilote

Elle est adoptée généralement pour les installations dont l'adduction est peut importante (courte distance) ; elle est constituée d'un interrupteur à flotteur disposé à la partie supérieure du réservoir, relié à un câble enterré ou sur poteau au contacteur du moteur qui enclenche ce dernier pour un niveau d'eau minimal et le déclenché pour un niveau maximal.(Figure (III.7))

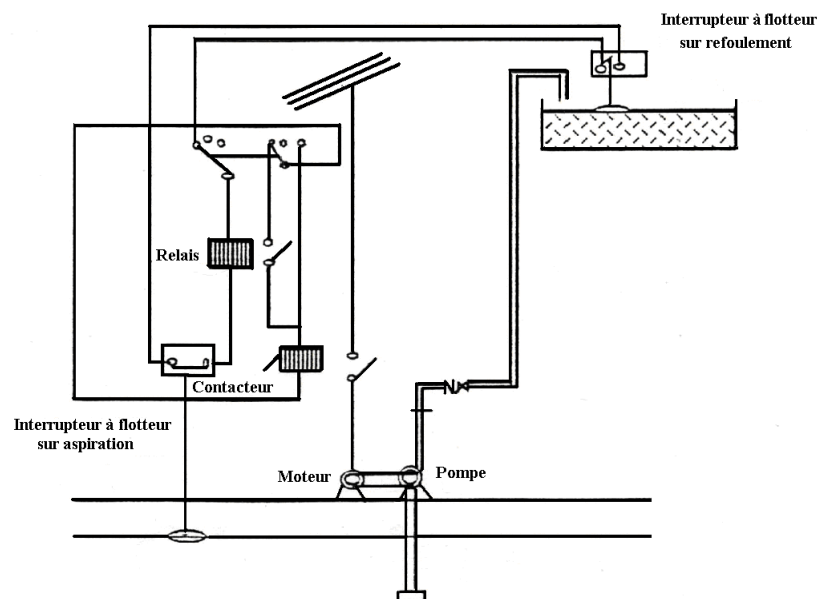


Figure (III.7): Commande avec ligne pilote

b) Commande sans ligne pilote

Ce type de commande est utilisé dans le cas où la distance entre le lieu de pompage et le réservoir est très importante. On peut annuler le débit dans la conduite de refoulement lorsque le niveau d'eau du réservoir atteint une certaine cote maximale en obturant l'arrivée dans le réservoir par un dispositif quelconque (robinet à flotter, servo-clapet etc....).

L'écoulement étant arrêté, la pompe continuerait de fonctionner si aucun dispositif ne permet d'arrêter également le moteur. Il suffit de placer à la sortie de la pompe un détecteur relié au contacteur du moteur qui déclenche ce dernier.

Cet organe détecteur peut être soit :

- Un relais débit-métrique
- Un manostat
- Un relais de contrôle de cosa
- Un relais watt-métrique

La mise en route de la pompe peut être réalisée à l'aide d'une horloge qui émet des impulsions selon le réglage qui a été effectué et assuré, ainsi le démarrage du moteur (Figure III.8).

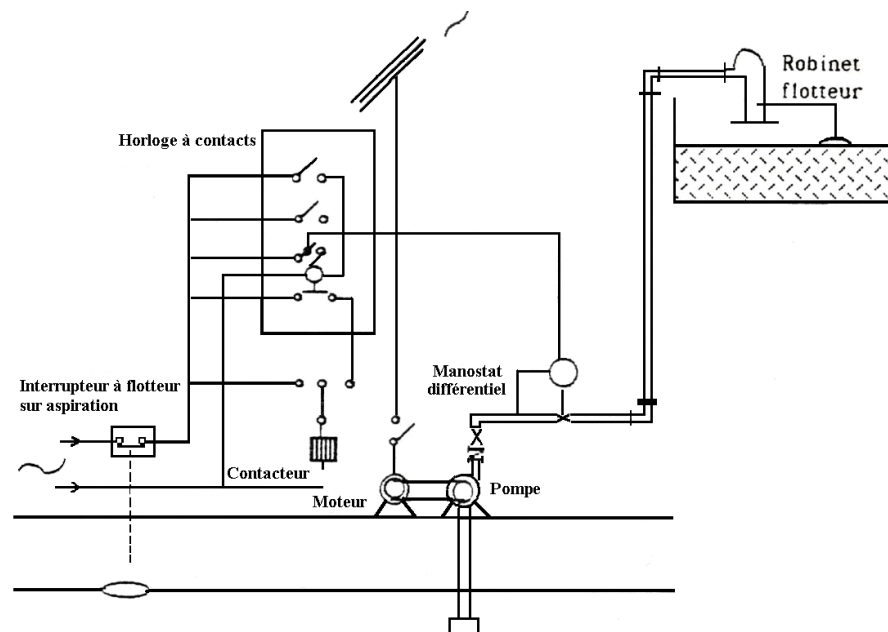


Figure (III.8) : Commande sans ligne de commande

III.12.3- Les objectifs de l'automatisation

Pour le gestionnaire, deux objectifs peuvent être fixés, en l'occurrence

- 1- Réduire ou simplifier les tâches d'exécution du personnel d'exploitation d'où, le plus souvent un gain de productivité.
- 2- Diminuer les coûts de production en matière d'électricité et augmenter la sécurité de fonctionnement.

III .12.4-Principe de fonctionnement

Le pilotage du système est assuré depuis un bâtiment de commande situé à proximité de SP1. (Voir Annexe 06)

Le démarrage et l'arrêt des groupes d'exhaure est commandé par le niveau d'eau dans la bache de pompage de SP1.

Le démarrage et l'arrêt des groupes de SR1 est commandé par le niveau d'eau du bassin tampon de SR1.

Le démarrage et l'arrêt des groupes de SR2 est commandé par le niveau d'eau du bassin tampon de SR2.

En cas de niveau d'eau dans un bassin tampon supérieur au niveau de démarrage du dernier groupe de la station, un groupe est arrêté à la station N -1. Le groupe pourra

redémarrer lorsque le niveau d'eau sera redescendu à une valeur convenable [2].

Afin d'augmenter le temps entre deux démarrages d'un même groupe et avoir une utilisation uniforme de tous les groupes d'une même station, il est prévu une permutation circulaire des ordres de démarrage et d'arrêt. Avec une tranche utile minimale d'un (01) mètre pour chaque pompe entre ordres de démarrage et d'arrêt, le délai minimum entre deux démarrages d'un même groupe est de 1h15mn pour l'exhaure et de 3h15mn pour une reprise [2].

III-13-Conclusion

Au cours de ce chapitre, à l'aide du catalogue KSB, nous avons pu déterminer les caractéristiques des pompes qui conviennent à notre projet, avec moins d'énergie consommée par le choix de la variante la plus économique.

L'automatisation des installations d'un service d'eau est évidemment forte souhaitable. Elle ne peut, cependant, assurer une sécurité totale, car des défaillances du matériel sont toujours possibles, ce qui exige, parfois, de doubler la signalisation ou la commande par un dispositif différent, tout au moins pour les transmissions essentielles, afin d'accroître la garantie du bon fonctionnement.

CHAPITRE IV

PROTECTION ET POSE DES CONDUITES

IV.1- Introduction

Le coup de bélier est un phénomène oscillatoire, caractérisé par un changement du régime d'écoulement dans la conduite, d'où l'apparition d'une série d'ondes de pression qui se propagent le long de la conduite en s'amortissant progressivement en raison des pertes d'énergie dues aux frottements.

Ce phénomène est engendré principalement par [5]:

- ✓ Arrêt brutal, par disjonction inopinée, d'un ou de plusieurs groupes électropompes alimentant une conduite de refoulement.
- ✓ Le démarrage brutal d'un groupe d'électropompes.
- ✓ La fermeture instantanée ou trop rapide d'une vanne de sectionnement ou d'un robinet d'obturation placé au bout d'une conduite d'adduction.

Le coup de bélier, dont la brutalité est susceptible d'entraîner des ruptures de conduites, peut atteindre, des valeurs très élevées, pouvant être égales à plusieurs fois la pression de service sur le réseau.

IV.2 -Moyens de protection des conduites contre le coup de bélier

Il est impératif de prendre des précautions, afin d'éviter ou de réduire ce phénomène ; parmi les procédés et les dispositifs les plus utilisés, on distingue :

- ✓ Vanne à fermeture lente.
- ✓ Clapet by pass.
- ✓ Volant d'inertie.
- ✓ Soupape de décharge.
- ✓ Les venteuses.
- ✓ Cheminées d'équilibre.
- ✓ Réservoirs d'air

IV.2.1-Vanne à fermeture lente

Cette solution ne permet de protéger que les adductions gravitaires, car elle ne remédie en aucun cas à l'arrêt intempestif d'une pompe.

Dans l'estimation du temps de fermeture de la vanne, il faut prendre garde que la formule de MICHAUD : $(B = \frac{2 \times L \times V_0}{g \times t})$ suppose que le débit varie linéairement en fonction du temps.

Si la fermeture de la vanne ne réalise pas cette loi linéaire de débit, on observera à certains instants de la manœuvre une surpression supérieure à celle donnée par la formule.

Dans la pratique, l'impossibilité de réaliser une fermeture linéaire en fonction du temps conduit à adopter un temps total de fermeture sensible supérieur à celui que donne la formule de MICHAUD [1].

IV.2.2- Clapet by pass

Il est placé entre l'aspiration et le refoulement de la pompe. Lorsqu'un arrêt brusque intervient, la dépression dans la conduite provoque l'ouverture du clapet, la pression sera alors égale à la pression à l'aspiration.

IV.2.3-Volant d'inertie

Le volant d'inertie est une roue de masse assez importante, fixée à l'arbre du groupe moteur de la pompe (utilisé contre la dépression), il permet, lors d'une coupure d'alimentation, d'allonger le temps de fermeture en dissipant l'énergie cinétique de rotation accumulée.

Malgré l'apparence de simplicité du procédé, l'utilisation de volant d'inertie reste très limitée. En effet, dès que la longueur dépasse les quelques centaines de mètres, on arrive rapidement à des poids du volant énormes et le système n'est plus économique.

IV.2.4-Soupape de décharge

Intervient pour limiter les surpressions, en déviant un certain débit à l'extérieur de la conduite à protéger, dès que la pression atteint une certaine valeur de réglage prise généralement 1.04 à 1.10 de la pression maximale admissible. Toute fois, une soupape exige une surveillance et entretien suivis, en effet, si elle venait à ne pas fonctionner, la conduite ne serait plus protégée, et pourrait alors se rompre, de plus ce dispositif est inefficace pour protéger les conduites contre les pressions négative puisqu'elle ne peut pas introduire l'eau qui serait alors nécessaire.

IV.2.5-Les ventouses

Ils ont pour rôle principale l'évacuation de l'air contenue dans la conduite et permettre aussi l'admission de l'air dans ces conduites lorsque l'on procède à leur vidange ou généralement lorsqu'il y'a apparition de la cavitation en un point haut.

IV.2.6-Cheminée d'équilibre

C'est un réservoir débouchant à l'air libre permettant de protéger la conduite contre les surpressions et les dépressions. Ces conditions sont remplies si l'on a la possibilité d'absorber ou au contraire de fournir une certaine quantité d'eau, en fonction de la variation instantanée de pression dans la conduite à protéger il faut pour cela disposé d'un réservoir susceptible de se remplir ou de se vider d'eau suivant que la pression dans la conduite augmente ou diminue.

Les cheminées d'équilibres sont souvent utilisées au niveau des points hauts, elles sont très rarement utilisées à la station (Figure (IV.1)). Elles présentent certains avantages, à savoir un fonctionnement qui ne nécessite aucun entretien [1].

La protection idéale pour les points du parcours difficilement accessible.

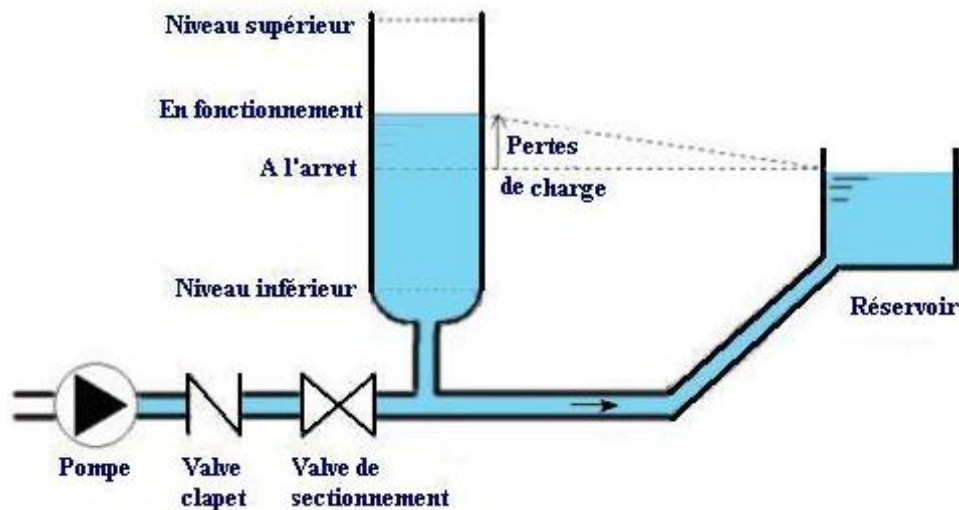


Figure (IV.1) : Cheminée d'équilibre

a- Dispositions constructives

Pendant la construction d'une cheminée on doit respecter les conditions suivantes :

- L'amortissement des oscillations doit être aussi important et aussi rapide que possible ;
- Leur volume doit être aussi petit que possible pour préserver la cote économique ;
- Spécifier les pertes de charges dues aux branchements et aux calages altimétriques ;
- Section assez importante pour ne pas entraîner la vidange total au moment d'une sous pression et aussi hauteur suffisante pour éviter le débordement au passage d'une surpression [13].

b- Principe du calcul graphique représentatif du phénomène dans la cheminée [5]

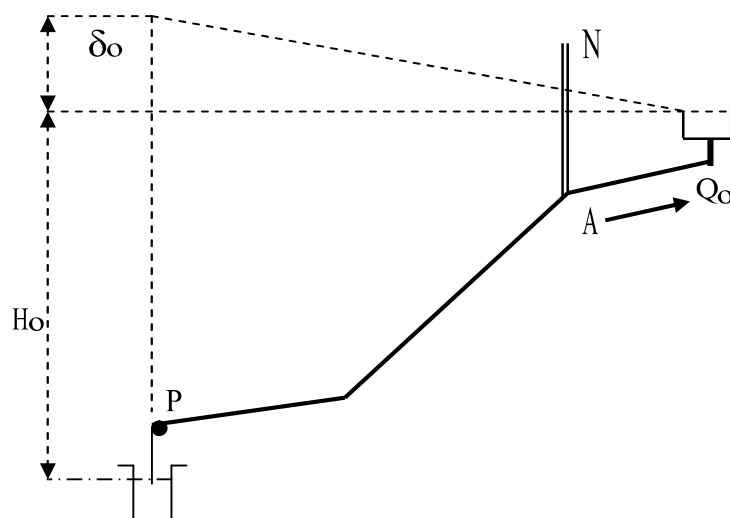


Figure (IV.2) : Cheminée d'équilibre sur refoulement

En régime normal, l'eau dans cette cheminée s'élèvera à un niveau tel qu'il correspondra à la pression piézométrique à ce point de la conduite pour le débit Q_0 .

Survient la disjonction :

Le tronçon PA est protégé par l'anti-bélier en P qui fournira l'eau à ce tronçon.

Le tronçon AR, qui subit une dépression de la première phase du phénomène recevra l'eau que lui débitera la cheminée.

Si, à un instant donné, Q' est le débit de PA, Q'' ce lui de AR et q celui de la cheminée.

On aura : $q + Q' = Q''$

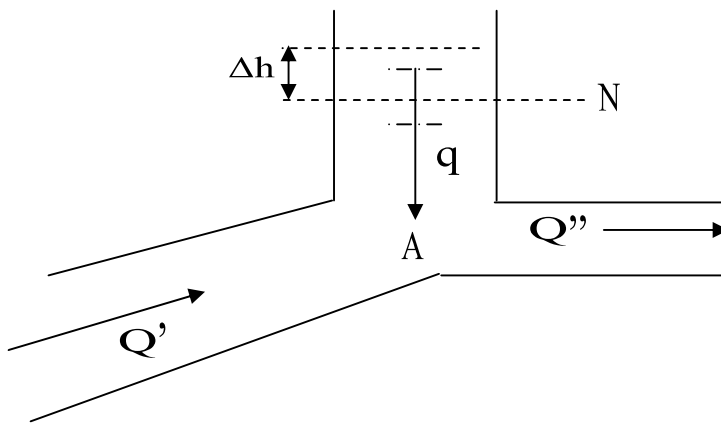


Figure (IV.3): Répartition des débits cheminée-conduite

Le niveau N dans la cheminée variera donc dans le temps mais pour des valeurs (Δt) faibles, les variations (ΔH) de la hauteur d'eau seront faible si Σ est la section de la cheminée, on peut écrire : $-\Sigma \cdot \Delta H = q \cdot \Delta t$ (1)

Si la cheminée reçoit de l'eau non avons le signe (+)

- La pression en A est donnée par la hauteur d'eau dans la cheminée.
- Le phénomène se produisant dans la cheminée est interprète un diagramme qH tel que :

– $q_i H_i$ représente le point figuratif du régime à un instant $(t + (i-1) \cdot \Delta t)$ défini par la relation (1)

– Le débit moyen pendant Δt vaut $(q_1 + q_2)/2$

Ou : $-\Sigma \cdot (H_2 - H_1) = (q_1 + q_2)/2 \cdot \Delta t$

$$(H_2 - H_1) = (q_1 + q_2) \cdot \Delta t / 2 \cdot \Sigma$$

Cette dernière est l'équation d'une droite de pente $\alpha = -\Delta t / 2 \cdot \Sigma$. Et passant par le point $(-q_1, H_1)$

– Le lieu de (q_2, H_2) peut aussi construire en traçant, de (q_1, H_1) une droite de pente $+\alpha$ jusqu' en N, rencontre avec l'axe des ordonnées en construisant, de N, droite réfléchié Nx .

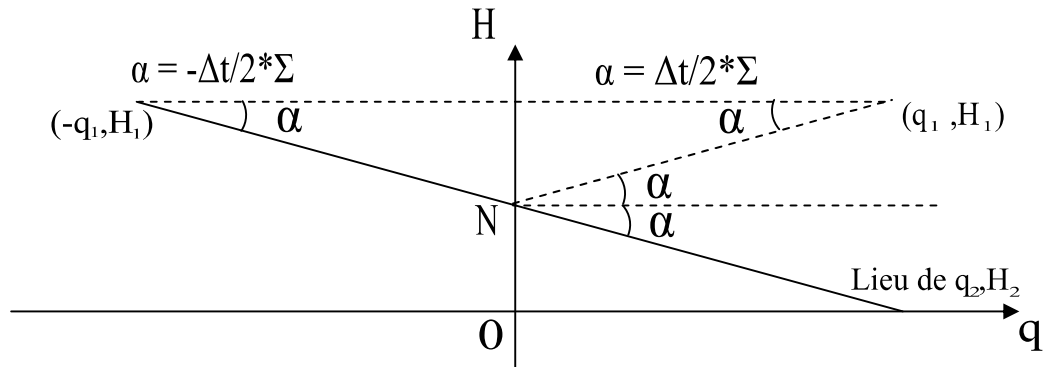


Figure (IV.4): Recherche du lieu de q_2, H_2

La construction de N_x montre que pour un observateur allant de A vers N, avec un régime initial (q_1, H_1) , le point figuratif du régime se déplace sur la droite par la pente $+\Delta t/2*\Sigma$, Passant par (q_1, H_1) .

Arrivant à N, constate un débit nul, puis il revient à la base, il voit le point figuratif du régime sur une droite de pente $-\Delta t/2*\Sigma$.

Pour situer le point de coordonnées (q_2, H_2) il faut trouver un second lieu dont l'intersection avec le premier donnera le point cherché.

Il nous sera donné par la considération des observateurs parcourant la cheminée de façon que tous ces observateurs voient le régime avec ces conditions :

- $q + Q' = Q''$
- Pressions identiques à la base de la cheminée à l'instant considéré.

Mise en place de la deuxième condition

Il suffit de mener par (q_2H_2) l'horizontale qui coupe les deux droites $M' N'$ et $M'' N'$ aux points C et D ; Ainsi les pressions seront identiques ; C et D seront les points de départ des nouvelles droites $-a'/g*s$ et $+a''/g*s$.

c- Cheminée au départ de la station

Supposons, le schéma donné par la (Figure (IV.6)) où les pertes de charge seront négligées. Considérons les régimes à rythmes entiers et prenons $\theta = 2L/a$.

Supposons un observateur parcourant la conduite allée et retour dans le temps θ pendant qu'un autre observateur parcourt la cheminée dans le même temps. A leur point de rencontre, en A, ils observeront le même régime à cet instant. Lors de la disjonction brutale, la cheminée doit débiter immédiatement Q_0 et les épures se présentent de la manière suivant (Figure (IV.7)) :

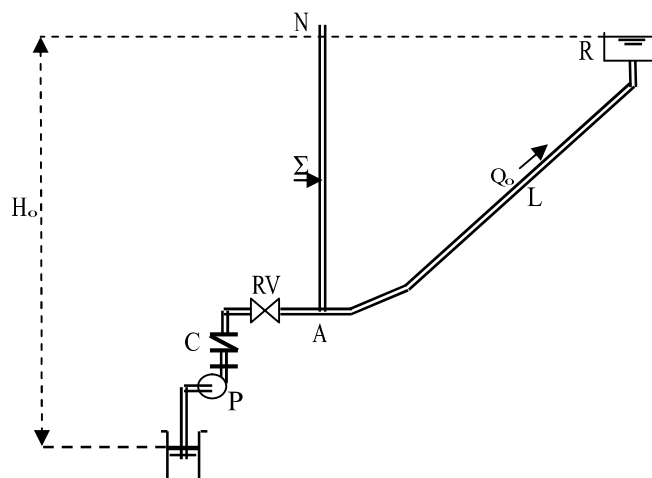


Figure (IV.6) : Schéma de la cheminée d'équilibre

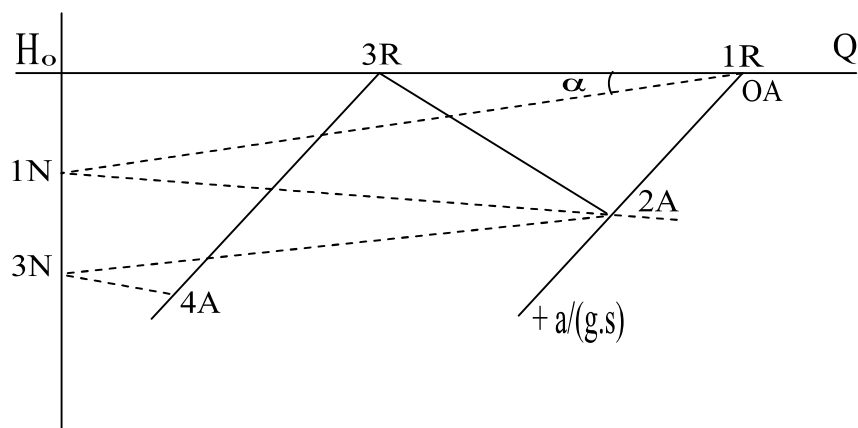


Figure (IV.7) : Epure de la cheminée

- Epure de la conduite

Au temps 1, au réservoir, le régime est encor défini par (Q_0, H_0) et, pour l'observateur parti de R, le point figuratif se trouve sur la caractéristique issue de (Q_0, H_0) et de pente $+a/g*s$.

- Epure cheminée

Le régime au temps Zéro est (Q_0, H_0) et l'observateur partant de A pour monter dans la cheminée verra le régime se déplacer suivant OA-1N, droite de la pente $+\alpha$ (il remonte le courant) telle que $\alpha = \Delta t/2\Sigma$

Mais puisque $\Delta t = \theta = 2L/a$, $\alpha = +L/a\Sigma$.

Arrivé au plan d'eau supérieur de la cheminée, l'observateur constate un débit nul (pt 1N) puis il redescend (droite $-\alpha$) et se rencontre avec l'observateur de la conduite au point d'intersection 2A avec la droite $+a/g*s$.

La construction des points suivants s'effectue facilement en traçant les droites réfléchies [5].

d- Dimension de la cheminée

Les deux dimensions à savoir diamètre et hauteur sont déterminées de la façon suivante :

- Diamètre : La construction graphique montre qu'il y a intérêt à ce que les points tels que 2A, 2A'' ou 2A' soient proche que possible de l'horizontale H_0 . D'où un angle β qui doit être aussi faible que possible, cela diminuera l'amplitude maximale des oscillations et réduira la dépression.

Avoir $tg = \beta = \frac{L}{a\Sigma}$ faible, revient à prendre Σ aussi grande que possible.

- Hauteur : les points extrêmes atteints par 1N, 2N,au-dessous de H_0 donnent les valeurs maximale et minimale atteints par l'eau au cours du phénomène.

NB : La hauteur maximale doit être supérieur à celle de la génératrice supérieure de la conduite afin d'éviter l'entrée d'air, il faut prendre une garde de 1 à 1,5m sinon il faut modifier la section de la cheminée [5].

IV.2.7-Réservoir d'air

Il protège à la fois contre les surpressions et les dépressions, il s'agit d'un réservoir placé à la base de la conduite de refoulement et contient également de l'eau en quantité bien déterminée. En cas de dépression au niveau de la tuyauterie, l'air se trouvant dans le réservoir au dessus du niveau de l'eau exerce sa pression sur cette dernière qui se trouve alors évacuée vers le tuyau. Par contre, en cas de surpression dans la conduite de refoulement le réservoir va jouer cette fois ci le rôle inverse : l'eau se trouvant en excès dans la conduite, aura tendance à vouloir occuper un volume plus important et la conduite reliant le réservoir à la canalisation de refoulement lui servira de chemin évacuateur. En sortant, l'eau passe par un dispositif d'étranglement qui amortira rapidement les oscillations, pour arriver au réservoir avec moins d'énergie et pendant ce temps, l'air sera comprimé pour céder à l'eau (Figure (IV.8)) [11].

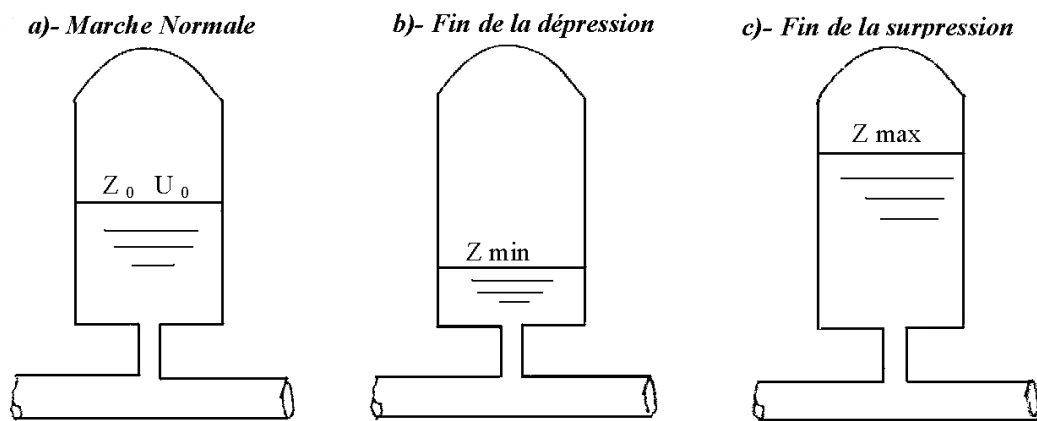


Figure (IV.8) : Variation du volume d'air au cours des phases de fonctionnement du réservoir

IV.3-Etude du coup de bélier

L'étude de ce phénomène consiste à calculer les surpressions et les dépressions et vérifier ainsi, que les valeurs trouvées ne dépassent pas la valeur de la pression de service pour laquelle elle a été destinée.

Dans le cas des conduites de refoulement, le coup de bélier résulte de l'arrêt brusque ou démarrage du groupe électropompe.

Dans les conduites à écoulement gravitaire, le coup de bélier résulte de la fermeture ou de l'ouverture d'une vanne [12].

La célérité de l'onde est obtenue par la formule d'ALLIEVI :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} \quad (IV.1)$$

Avec :

- ✚ a : célérité de l'onde (m/s) ;
- ✚ D : diamètre de la conduite (m) ;
- ✚ e : épaisseur de la conduite (m) ;
- ✚ K : coefficient du matériau, pour notre cas (K (Acier)= 0,5) ;

Valeur maximale du coup de bélier

La valeur maximale du coup de bélier est donnée par la formule suivante :

$$b = \frac{a * V_0}{g} \quad (IV.2)$$

- ✚ V : vitesse d'écoulement de l'eau, en régime normale (m/s),

✚ g : accélération de la pesanteur (m/s^2),

✓ **La surpression**

$$H_s = H_0 + B \quad (IV.3)$$

✓ **La dépression**

$$H_d = H_0 - B \quad (IV.4)$$

Tel que :

$$H_0 = H_g + 10 \quad (IV.5)$$

IV.4-Tableau récapitulatif

Les valeurs numériques du coup de bélier de notre projet sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau (IV.1) : valeurs numériques du coup de bélier

tronçons	Type d'adduction	D (m)	E (m)	V (m/s)	H ₀ (m)	a (m/s)	B (m)	H _s (m)	H _d (m)
SP1-SR1	refoulement	2.5	0.0143	1.22	260.3	849.82	105,68	365,98	154,62
SR1-SR2	refoulement	3	0.0143	0.85	245	799,86	69,30	314,3	175,70
SR2-BE1	refoulement	2	0.0143	1.91	246.7	910.48	177,27	423.96	69,44
BE1-BE2	Gravitaire	2	0.0143	1.91	29.7	910.38	177,27	206,97	-147,57
BE2-MAHOUANE	Gravitaire	1.8	0.0143	2.35	66.3	938.66	224,86	357,46	-158,56

Remarque

On remarque qu'on a deux problèmes de dépression au niveau du tronçon SP1-SR1, SR2-BE1 et au niveau des deux conduites gravitaires ce qui implique une protection anti-bélier a signalé.

Solution

Dans le cas des tronçons SP1-SR2 et SR2-BE1, on opte l'installation des réservoirs d'air et d'une cheminée d'équilibre permettant de protéger les conduites et réduire les effets du coup de bélier.

Dans le cas d'une conduite gravitaire, la meilleure façon de protéger ces conduites contre le phénomène oscillatoire à savoir le coup du bélier est la disposition d'une vanne à fermeture lente.

IV.5-Méthode de calcul d'un réservoir d'air

Le calcul d'un réservoir d'air est basé sur la méthode graphique de Bergeron, qui a pour but, la détermination de la surpression et de la dépression maximale de la conduite.

IV.5.1-Principe de fonctionnement

C'est un réservoir cylindrique fermé contenant de l'air comprimé dans sa partie supérieure et dans la partie inférieure un certain volume d'eau, couramment appelé réservoir d'air ou réservoir hydropneumatique. Ce sont des réservoirs dans lesquels le volume d'eau est équilibré par la pression de fonctionnement en régime permanent [5].

IV.5.2-Principe de calcul

C'est par l'épure de Bergeron que seront déterminées les valeurs de la dépression et de la surpression maximales dans la conduite après s'être fixées, au préalable, les caractéristiques du réservoir d'air (volume U_0 d'air en régime normal) et de son dispositif d'étranglement.

Le premier essai conduira peut être à des valeurs inadmissibles pour la dépression ou pour la surpression, ou pour les deux à la fois. Les calculs seront alors recommencés à partir de nouvelles caractéristiques du réservoir, ou de l'étranglement, ou des deux.

Cette méthode nécessitera donc quelques tâtonnements ; mais en fait, ils resteront très limités et la précision sera bonne.

Le principe est le suivant, une fois fixées a priori les dimensions du réservoir d'air et celles de l'étranglement :



- Il sera fait application du diagramme de Bergeron où l'on aura toute fois gradué les abscisses selon les vitesses de l'eau dans la conduite au lieu de prendre les débits comme il est pratiqué ordinairement. Comme la conduite est supposée présenter un diamètre uniforme, ce n'est là qu'un changement d'appellation [5].

IV.5.3-Principe de construction de l'épure de BERGERON

Dans notre cas le dispositif utilisé pour l'étranglement est la tuyère, et le volume d'air est fixé U_0 . Sur le diagramme $H = f(V)$, le point 1R est donné par l'intersection de la vitesse de V_{f0} en régime normal et de l'horizontale passant par la valeur de Z_0

$$Z_0 = H_0 + 10 \quad (IV.6)$$

Où ;

 H_g : hauteur géométrique ;
 Z_0 : pression absolue.

De ce point 1R, on trace la droite (a/gs) et (-a/gs) en tenant compte des échelles horizontales et verticales.

Le point 2P sera déterminé en fixant une vitesse V_{fl} de telle sorte, qu'après les calculs on trouve une pression Z.

L'intersection de Z et V_{fl} doit couper la droite (a/gs) en un point, sinon on refait le calcul pour une autre vitesse et ainsi de suite.

Principe de calcul du réservoir d'air

1- Les temps se suivent selon les valeurs de $T = \frac{2 \times L}{a}$

2- L'augmentation ou la diminution (ΔU) de ce volume est due, à l'eau que le réservoir écoule vers la conduite, au cours du régime transitoire.

$$\Delta U = S \times V_m \times T \tag{IV.7}$$

Où

- ✚ S : Section de la conduite ;
- ✚ T: Temps mis par une onde, pour faire un aller retour dans la conduite ;
- ✚ V_m : Moyenne arithmétique de la vitesse finale de l'intervalle précédent et la nouvelle vitesse choisie.

3- le volume d'air U du réservoir sera égal à la fin du premier intervalle T, au volume d'air choisi arbitrairement U_0 au départ, augmenté ou diminué de la quantité trouvée à la colonne précédente ΔU .

4- La pression dans le réservoir d'air est donnée par la loi de poisson :

$$(Z_0 + \delta_0) \times U_0^{1.4} = Z \times U^{1.4} \tag{IV.8}$$

Où :

- ✚ δ_0 : Perte de charge dans la conduite en régime de fonctionnement normal ;
- ✚ Z_0 : Pression absolue ;
- ✚ U_0 : Volume d'air initial ;
- ✚ V : Volume nouveau de l'air ;
- ✚ Z : Pression dans le réservoir d'air.

5- La vitesse dans la tubulure

Cas de la montée de l'eau

A la montée de l'eau, On à un coefficient de débit de 0.92

$$V_1 / V_f = D^2 / d^2 = K \tag{IV.9}$$

Ou :

- ✚ V_1 = Vitesse dans la tuyère ;
- ✚ V_f = Vitesse finale choisie ;
- ✚ D : Diamètre de la conduite ;
- ✚ d' : Diamètre de la veine contractée.

Avec :

$$d' = 0.92 d \quad (\text{IV.10})$$

d : sera choisi de manière à avoir le rapport :

$$V_l/V_f = K \text{ (compris entre 15 et 20)} \quad (\text{IV.11})$$

Cas de la descente de l'eau

La tuyère agit comme un ajutage borda avec un coefficient de 0.5 à la descente de l'eau.

$$V_2/V_f = 2 \times (D/d)^2 \quad (\text{IV.12})$$

Où :

✚ V_2 : Vitesse de l'eau dans la tuyère ;

✚ V_f : Vitesse de l'eau dans la conduite.

6- calcul des pertes de charge

Cas de la montée de l'eau

$$\Delta h_1 = C \times (V^2/2g) \quad (\text{IV.13})$$

$$C = f(m)$$

Avec :

$$m = (0.92.d)^2/D^2 \quad (\text{IV.14})$$

Cas de la descente de l'eau

$$\Delta h_2 = C' \times (V^2/2g) \quad (\text{IV.15})$$

Avec :

$$C' = f(m)$$

$$m = 1/2 \times (d/D)^2 \quad (\text{IV.16})$$

✚ Perte de charge : δ donnée par la formule de COOLEBROOCK

- Pour le PEHD :

$$\delta = 1.1 \frac{\lambda \times L \times V_f^2}{D \times 2 \times g} \quad (\text{IV.17})$$

- Pour l'acier :

$$\delta = 1.15 \frac{\lambda \times L \times V_f^2}{D \times 2 \times g} \quad (\text{IV.18})$$

La pression dans la conduite sans pertes de charge:

- Cas de la montée : $Z - \Delta h_1 - \delta$ (IV.19)

- Cas de la descente : $Z' + \Delta h_2 + \delta$ (IV.20)

IV.5.4-Résultats de calcul du réservoir d'air SP1

Les résultats du calcul du réservoir d'air pour le tronçon SP1-Cheminée d'équilibre en utilisant la méthode de BERGERON, sont donnés dans le tableau (IV.2) ci-dessous. L'épure de BERGERON est illustrée par la figure (IV.10).

Tableau (IV.2) : Le développement des résultats de calcul du réservoir d'air SP1

Diametre	2,5 m	Vitesse	1,22292994 m/s	Volume U ₀	40 m ³
Débit	6 m ³ /s	Section	4,90625 m ²	K PDC entr	0 Vf ²
H géomet	250,3 m	Célérité a	849,816442 m/s	K PDC sort	0 Vf ²
Long. Cond.	2200,08 m	B	105,939446 m	Exposant	1,2
coef. K	0,5	Hmax	356,239446 m		
Epaisseur e	0,0143 m	Hmin	144,360554 m		
C Haz Will	120	periode θ	5,17777697 s	pres. air Z	21862,6894 /U ^Λ
		Ho	260,3 m		
		PDC δ	1,05547016 m	Surpression	131,334723 m
		a/g	86,627568 s	Dépression	91,9441434 m
Umax	57,7071283 m ³				
Umin	28,555208 m ³				

temps	ΔU	U	Z	Δh1 ; Δh2	Z-Δh ; Z+Δh	δ	Z -+ Δh -+ δ	Vf graph	Vm	Vf choisie	f
0	0	40	261,35547	0	261,35547	1,05547016	260,3	1,22292994	0	0	
5,17777697	17,6241814	57,6241814	168,646705	0	168,646705	0,02573132	168,620974	0,16461757	0,69377068	0,16461142	6,153E-06
10,3555539	-13,3481234	44,276058	231,366697	0	231,366697	1,0436269	232,410324	-1,21564399	-0,52544492	-1,21550126	-0,00014273
15,5333309	-15,7172378	28,5588202	391,575281	0	391,575281	0,00061427	391,575895	-0,02218766	-0,61870441	-0,02190755	-0,00028011
20,7111079	14,9832955	43,5421158	236,054427	0	236,054427	1,02152527	235,032902	1,20154284	0,58981299	1,20153353	9,3096E-06
25,8888848	13,6138892	57,1560049	170,305764	0	170,305764	0,01655266	170,322316	-0,12880481	0,53590671	-0,1297201	0,00091529
31,0666618	-16,6970639	40,458941	257,801934	0	257,801934	0,99538049	258,797314	-1,18482395	-0,65727497	-1,18482984	5,8954E-06
36,2444388	-11,6581401	28,8008009	387,630647	0	387,630647	0,06301605	387,56763	0,26696499	-0,45891923	0,26699139	-2,6399E-05
41,4222158	18,4816391	47,28244	213,827583	0	213,827583	1,00040752	212,827176	1,18808984	0,72752425	1,18805711	3,2738E-05
46,5999927	9,98576519	57,2682052	169,905445	0	169,905445	0,13439163	170,039836	-0,40185422	0,39308669	-0,40188373	2,9508E-05
51,7777697	-19,8941164	37,3740888	283,542946	0	283,542946	0,96377928	284,506726	-1,16435327	-0,783126	-1,16436826	1,4994E-05
56,9555467	-8,22068893	29,1533999	382,011584	0	382,011584	0,21439219	381,797191	0,51760457	-0,32360498	0,5171583	0,00044627
62,1333236	21,504301	50,6577009	196,847097	0	196,847097	0,98147356	195,865623	1,17631883	0,84651044	1,17586258	0,00045625
67,3111006	7,01238132	57,6700822	168,485643	0	168,485643	0,30337444	168,789017	-0,62386284	0,27604031	-0,62378195	-8,0885E-05
72,4888776	-22,5291198	35,1409624	305,300279	0	305,300279	0,94175144	306,242031	-1,14989575	-0,88685212	-1,1499223	2,6547E-05

L'explication graphique est figurée sur la courbe de la (Figure (IV.9)), qui montre d'une façon claire la dissipation progressive du front d'onde tout en protégeant la conduite.

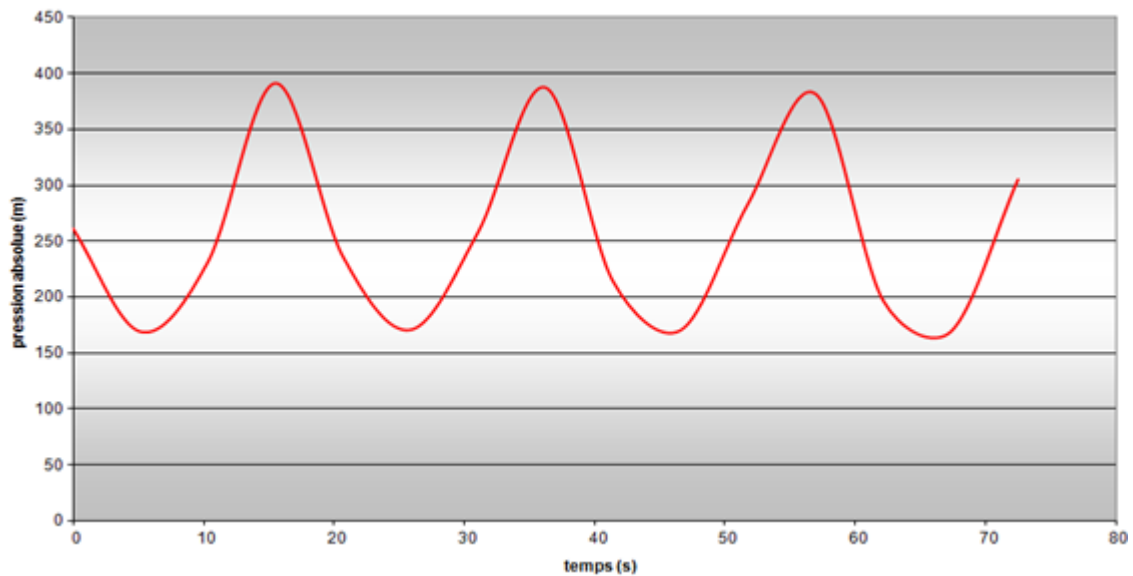


Figure (IV.9) : Variation de la pression absolue en fonction du temps pour SPI

Sur le diagramme $H = f(V)$, on mène une horizontale $H_0 = 260,3$ m correspondant au régime normal et sur laquelle on fixe la vitesse initiale (Figure (IV.10)).

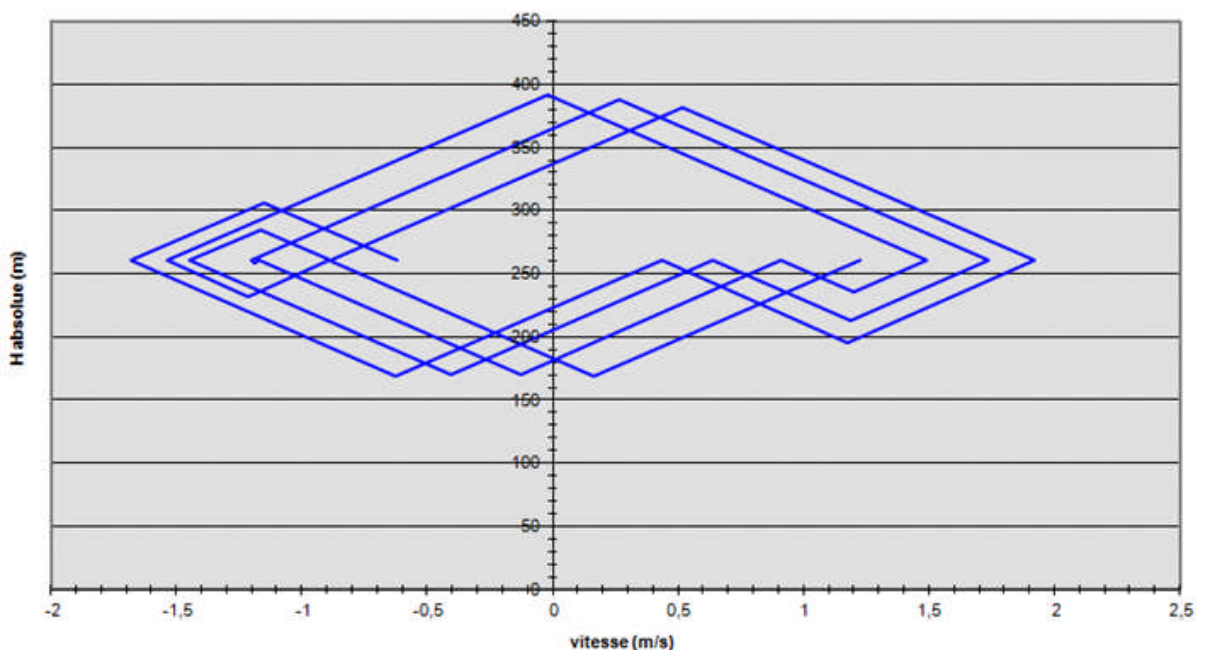


Figure (IV.10) : Epure de BERGERON pour SPI

- **Interprétation des résultats**

D'après le tableau (IV.2) et l'épure caractéristique du tronçon Figure (IV.10), on déduit que :

- ✓ Pendant la phase de dépression, on a enregistré une dépression maximale de **391,58 m**.
Le volume d'air à la fin de cette dépression est de **57,71m³**.
- ✓ Le volume d'air à la fin de cette surpression est de **28,56 m³**.
- ✓ Le volume de réservoir est de **60 m³**.

IV.5.5-Résultats de calcul de la cheminée d'équilibre

Tableau (IV.3) : Le développement des résultats de calcul de la cheminée d'équilibre

Données de l'Adduction		Résultats préliminaires		Données de la cheminée	
Diametre	2,5 m	Vitesse	1,22292994 m/s	Section che	56,72 m ²
Débit	6 m ³ /s	Section	4,90625 m ²	K PDC entr	0 Vf ²
H piezo	766,95 m	Célérité a	849,816442 m/s	K PDC sort	0 Vf ²
Long. Cond.	2888,92 m	B	105,939446 m	la cheminée est considérée de section constante avec dispositif d'entrainement à la base	
coef. K	0,5	Hmax	872,889446 m	Résultats des pressions	
Epaisseur e	0,0143 m	Hmin	661,010554 m	Surpression	1,44599782 m
C Haz Will	100	periode θ	6,79892706 s	Dépression	4,91337561 m
Variations du niveau d'eau (cheminée)		Ho	766,95 m		
Hmax	768,892615 m	PDC δ	1,94261469 m		
Hmin	762,036624 m	a/g	86,627568 s		

temps	ΔU	Δh	H	Δh1 ; Δh2	Z-Δh ; Z+Δh	δ	Z.+ Δh.+ δ	Vf graph	Vm	Vf choisie	f
0	0	0	768,892615	0	768,892615	1,94261469	766,95	1,22292994	0	0	
88,3860518	11,2264915	0,19792827	762,234684	0	762,234684	0,12764955	762,107035	0,28114896	0,33655341	0,28117342	-2,4464E-05
95,1849788	7,50390754	0,13229738	762,102387	0	762,102387	0,04958145	762,052805	0,16871177	0,22495592	0,16873841	-2,6635E-05
101,983906	3,7384381	0,0659104	762,036476	0	762,036476	0,00630381	762,030173	0,05538732	0,11207278	0,05540715	-1,983E-05
108,782833	-0,04454537	-0,00078536	762,037262	0	762,037262	0,00687809	762,04414	-0,05803717	-0,0013354	-0,05807795	4,0784E-05
115,58176	-3,80453269	-0,06707568	762,104337	0	762,104337	0,05028684	762,154624	-0,17002503	-0,1140542	-0,17003044	5,4073E-06
122,380687	-7,47937134	-0,1318648	762,236202	0	762,236202	0,12533607	762,361538	-0,27834894	-0,22422036	-0,27841028	6,1334E-05
129,179614	-10,9973482	-0,19388837	762,430091	0	762,430091	0,22402831	762,654119	-0,38090686	-0,32968404	-0,3809578	5,094E-05
135,978541	-14,2912117	-0,25196071	762,682051	0	762,682051	0,33828195	763,020333	-0,47585986	-0,42842913	-0,47590047	4,0605E-05
142,777468	-17,305592	-0,30510564	762,987157	0	762,987157	0,45982045	763,446977	-0,56166037	-0,51879574	-0,56169102	3,065E-05
149,576395	-19,994066	-0,35250469	763,339662	0	763,339662	0,58063471	763,920296	-0,637072	-0,59939217	-0,63709332	2,1316E-05
156,375322	-22,3206791	-0,39352396	763,733186	0	763,733186	0,69343242	764,426618	-0,70117498	-0,66914055	-0,70118778	1,2794E-05
163,174249	-24,2598972	-0,42771328	764,160899	0	764,160899	0,79201047	764,952909	-0,75335782	-0,72727541	-0,75336303	5,2068E-06
169,973176	-25,7978745	-0,45482854	764,615727	0	764,615727	0,87172358	765,487451	-0,79329476	-0,77338166	-0,79340029	0,00010553
176,772104	-26,9263282	-0,4747237	765,090451	0	765,090451	0,92876057	766,019212	-0,82092265	-0,80721101	-0,82102174	9,9081E-05
183,571031	-27,6451676	-0,48739717	765,577848	0	765,577848	0,96144764	766,539296	-0,8364084	-0,82876074	-0,83649975	9,1352E-05
190,369958	-27,9648733	-0,49303373	766,070882	0	766,070882	0,9693183	767,0402	-0,84010819	-0,83834504	-0,84019033	8,2144E-05
197,168885	-27,8999249	-0,49188866	766,562771	0	766,562771	0,95317496	767,515946	-0,83253385	-0,83639799	-0,83260564	7,1789E-05
203,967812	-27,4694371	-0,48429896	767,04707	0	767,04707	0,91489302	767,961963	-0,814319	-0,82349261	-0,81437957	6,0568E-05
210,766739	-26,6960737	-0,47066421	767,517734	0	767,517734	0,85720379	768,374938	-0,78618823	-0,80030833	-0,78623709	4,8861E-05
217,565666	-25,6050879	-0,45142962	767,969163	0	767,969163	0,78347327	768,752637	-0,74893018	-0,76760221	-0,74896732	3,7147E-05
224,364593	-24,2234908	-0,42707142	768,396235	0	768,396235	0,69749081	769,093726	-0,70337467	-0,72618399	-0,70340066	2,5991E-05

L'explication graphique est figurée sur la courbe de la (Figure (IV.11)), qui montre d'une façon claire la dissipation progressive du front d'onde tout en protégeant la conduite.

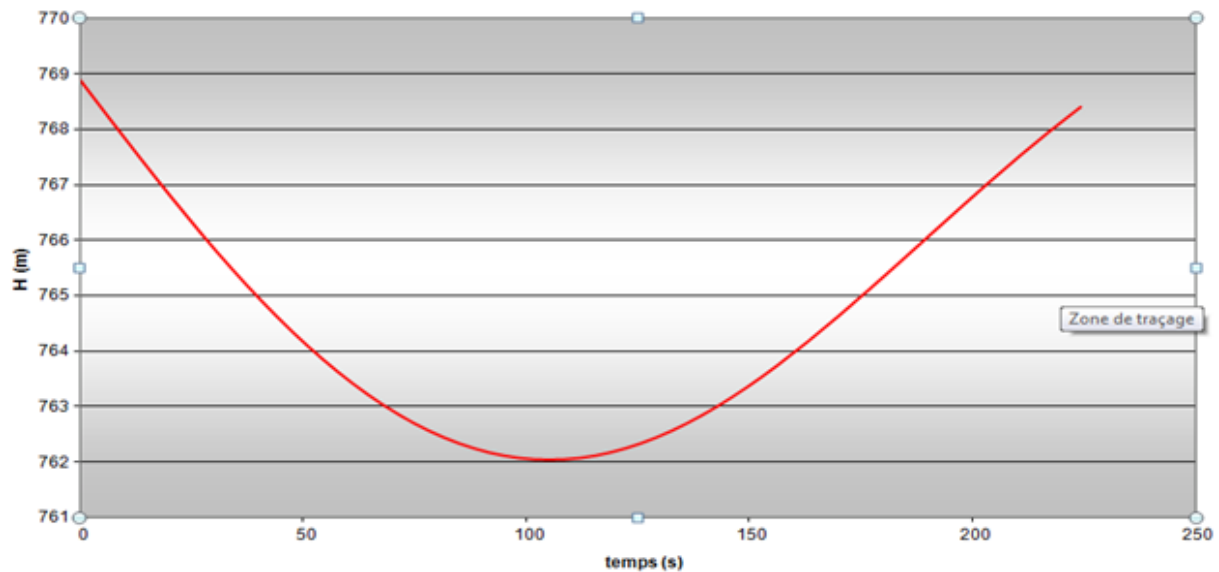


Figure (IV.11) : Variation de la pression absolue en fonction du temps pour la cheminée d'équilibre

Sur le diagramme $H = f(V)$, on mène une horizontale $H_0 = 766,95\text{m}$ correspondant au régime normal et sur laquelle on fixe la vitesse initiale (Figure (IV.12)).

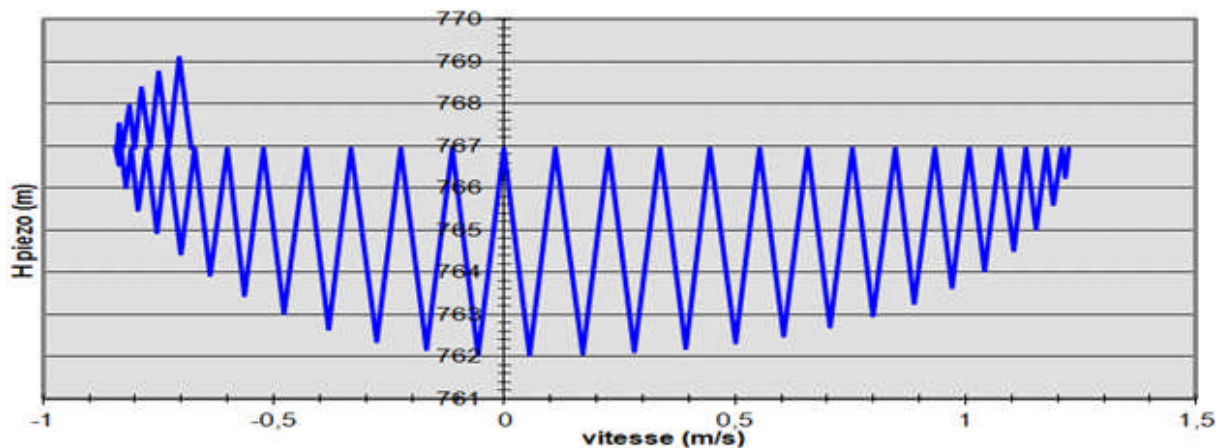


Figure (IV.12) : Epure de BERGERON pour la cheminée d'équilibre

- **Interprétation des résultats :**

D'après le tableau (IV.3) et l'épure caractéristique du tronçon (Figure (IV.12)), on déduit que :

- ✓ Pendant la phase de dépression, on a enregistré une dépression maximale de **769,09 m**. Le volume d'air à la fin de cette dépression est de **768,89 m³**.
- ✓ Le volume d'air à la fin de cette surpression est de **762,04 m³**.

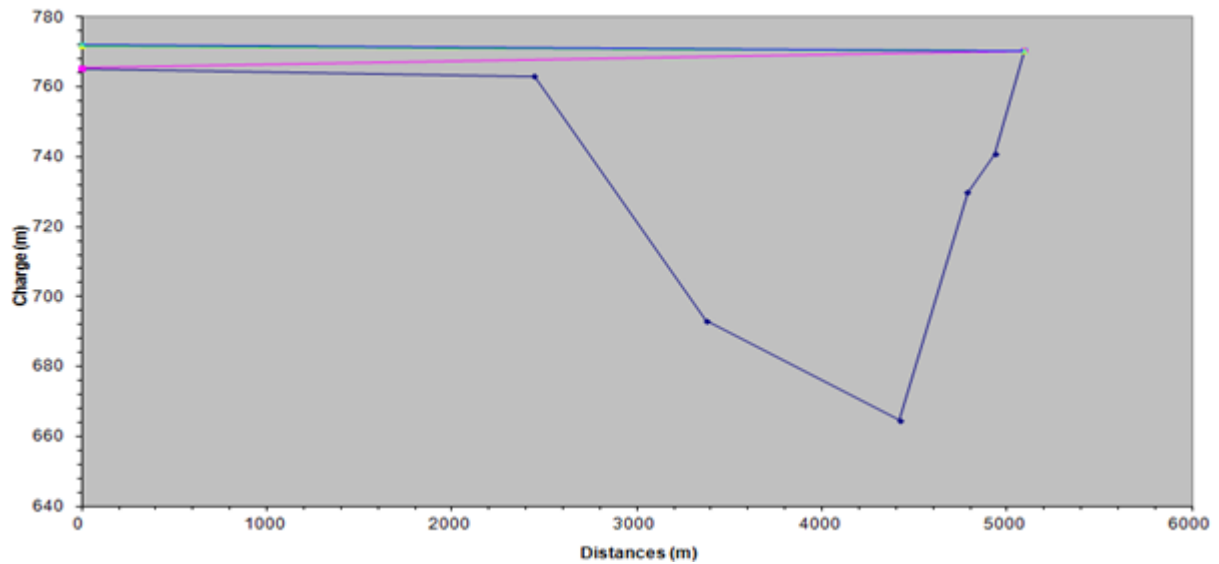


Figure (IV.13) : Enveloppe des pressions en régime permanent et transitoire pour la cheminée d'équilibre

• Dimensionnement de la cheminée

Les résultats sont comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} H1 = 3\text{m} \\ D1 = 11\text{m} \\ S1 = 94,99\text{ m}^2 \\ V1 = 284,97\text{ m}^3 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H2 = 5\text{m} \\ D2 = 6,56\text{m} \\ S2 = 33,76\text{ m}^2 \\ V2 = 168,79\text{ m}^3 \end{array} \right.$$

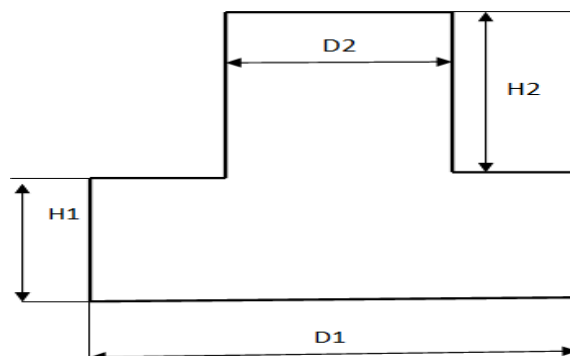


Figure (IV.14) : schéma géométrique de la cheminée

IV.5.6-Résultats de calcul du réservoir d'air SR2

Tableau (IV.4) : Le développement des résultats de calcul du réservoir d'air SR2

Données de l'Adduction		Résultats		Données du Réservoir d'air	
Diametre	3 m	Vitesse	0,8492569 m/s	Volume U ₀	40 m ³
Débit	6 m ³ /s	Section	7,065 m ²	K PDC entr	0 Vf ²
H géomet	236,7 m	Célérité a	799,857738 m/s	K PDC sort	0 Vf ²
Long. Cond.	2264 m	B	69,2441083 m	Exposant	1,2
coef. K	0,5	Hmax	305,944108 m	Pression de l'air	
Epaisseur e	0,0143 m	Hmin	167,455892 m	pres. air Z	20674,1312 /U ^Λ
C Haz Will	120	periode θ	5,66100669 s	Résultats des pressions	
Résultats des variations du volume d'air		Ho	246,7 m	Surpression	113,403531 m
Umax	54,9085561 m ³	PDC δ	0,44696266 m	Dépression	77,7106876 m
Umin	29,2302978 m ³	a/g	81,5349376 s		

temps	ΔU	U	Z	Δh1 ; Δh2	Z-Δh ; Z+Δh	δ	Z -+ Δh -+ δ	Vf graph	Vm	Vf choisie	f
0	0	40	247,046963		247,046963	0,44696266	246,6	0,8492569	0	0	
5,66100669	14,915932	54,915932	168,893711		168,893711	0,00904333	168,902754	-0,10367504	0,3729448	-0,10336729	-0,00030774
11,3220134	-17,6406894	37,2752427	268,872839		268,872839	0,3807046	269,253544	-0,77876848	-0,44107223	-0,77877718	8,693E-06
16,9830201	-5,68491566	31,590327	327,934088		327,934088	0,16416487	327,769923	0,49459321	-0,14214062	0,49449595	9,727E-05
22,6440267	21,8980079	53,4883349	174,31735		174,31735	0,23526204	174,082088	0,60070736	0,54751847	0,60054099	0,00016637
28,3050334	-5,46890581	48,0194291	198,404317		198,404317	0,47139914	198,875716	-0,87402482	-0,1367397	-0,87402039	-4,4309E-06
33,9660401	-18,8041072	29,2153219	360,179257		360,179257	0,00397339	360,18323	-0,06628585	-0,47016131	-0,06630223	1,6375E-05
39,6270468	16,3823118	45,5976337	211,115802		211,115802	0,48295005	210,632852	0,88565064	0,40960887	0,88551997	0,00013067
45,2880535	8,4108524	54,0084861	172,304692		172,304692	0,14644813	172,45114	-0,46488707	0,21029753	-0,4649249	3,7833E-05
50,9490602	-20,974922	33,0335641	310,817161		310,817161	0,22336819	311,040529	-0,58395665	-0,52443845	-0,58395199	-4,6654E-06
56,6100669	2,26988222	35,3034463	286,992789		286,992789	0,31037655	286,682413	0,69798388	0,05675413	0,69746025	0,00052363
62,2710735	19,1133371	54,4167833	170,754465		170,754465	0,04932028	170,705145	0,2587557	0,47789302	0,25832578	0,00042991
67,9320802	-12,0654837	42,3512997	230,680783		230,680783	0,45914218	231,139926	-0,86168338	-0,30167471	-0,8616752	-8,1776E-06
73,5930869	-12,5388174	29,8124823	351,539186		351,539186	0,04127915	351,497907	0,23524311	-0,31350953	0,23465614	0,00058696
79,2540936	20,5277932	50,3402754	187,479076		187,479076	0,39263521	187,08644	0,79186765	0,51325883	0,79186151	6,1301E-06

L'explication graphique est figurée sur la courbe de la (Figure (IV.15)), qui montre d'une façon claire la dissipation progressive du front d'onde tout en protégeant la conduite.

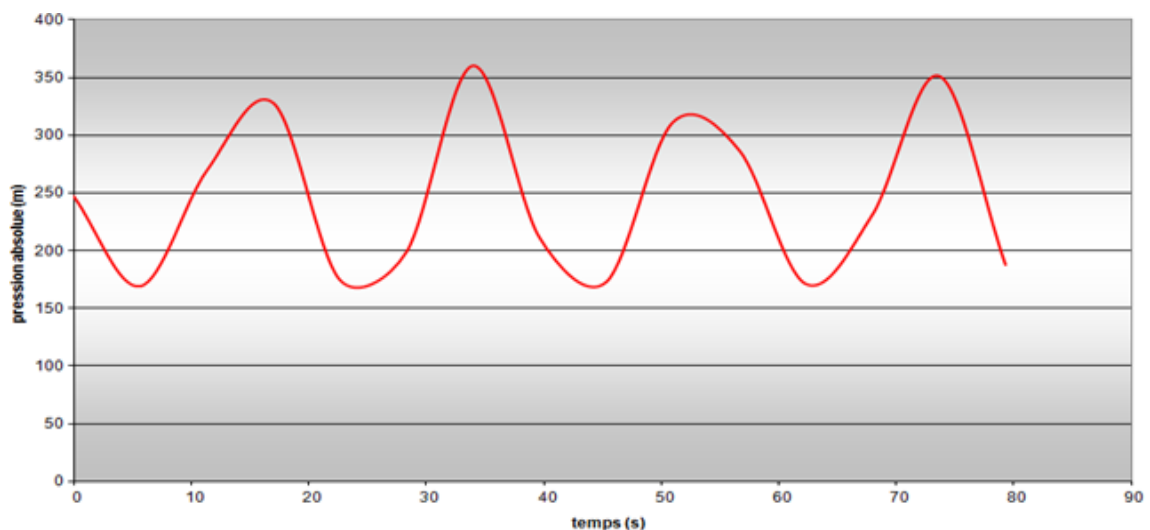


Figure (IV.15) : Variation de la pression absolue en fonction du temps pour SR2

Sur le diagramme $H = f(V)$, on mène une horizontale $H_0 = 246,7\text{m}$ correspondant au régime normal et sur laquelle on fixe la vitesse initiale (Figure (IV.16)).

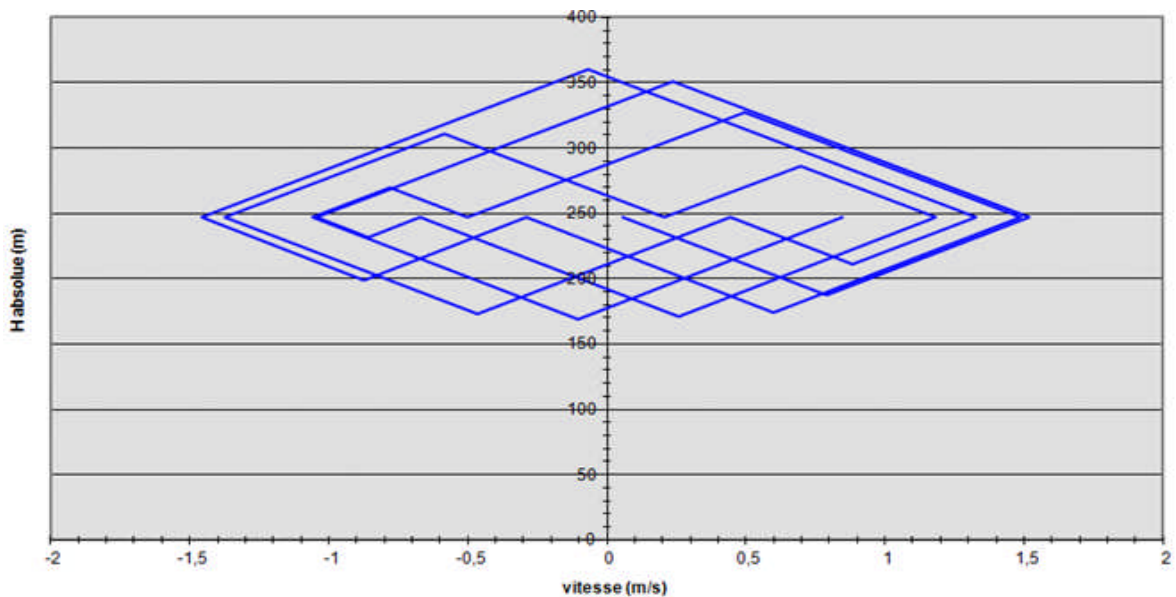


Figure (IV.16) : Épure de BERGERON pour SR2

• Interprétation des résultats

D'après le tableau (IV.4) et l'épure de BERGERON du tronçon (Figure (IV.16)), on déduit que :

- ✓ Pendant la phase de dépression, on a enregistré une dépression maximale de **360,18 m**. Le volume d'air à la fin de cette dépression est de **54,91 m³**.
- ✓ Le volume d'air à la fin de cette surpression est de **29,23 m³**.
- ✓ Le volume du réservoir d'air est de **60 m³**.

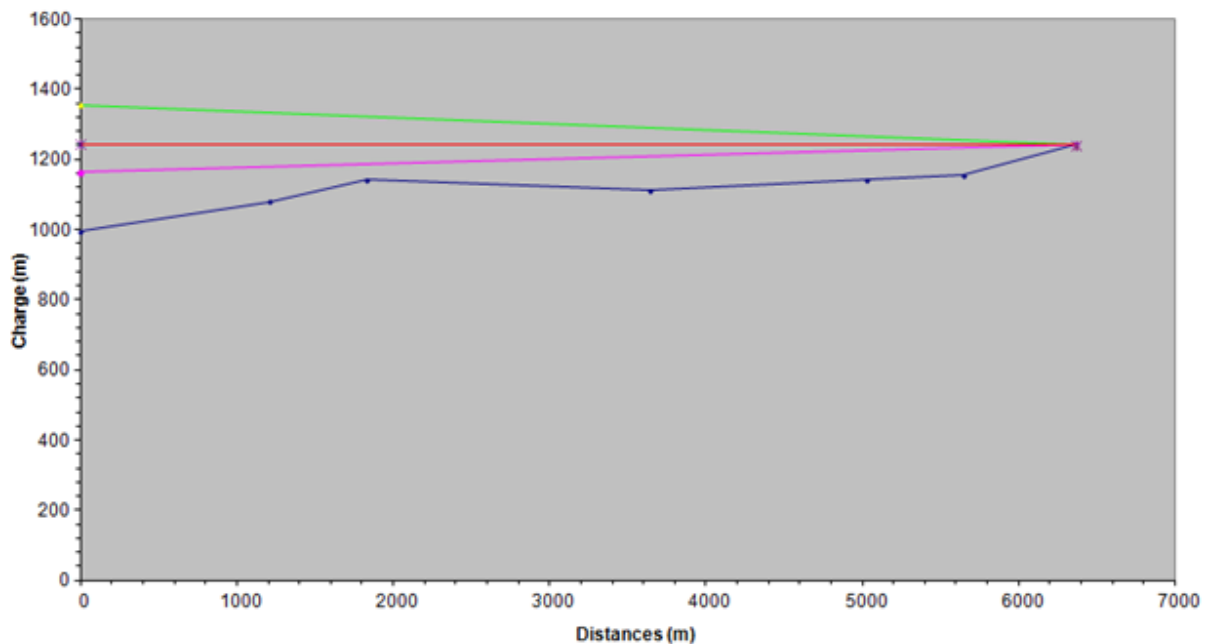


Figure (IV.17) : Enveloppe des pressions en régime permanent et transitoire pour SR2

IV.5.7-Conduites gravitaires

Pour les conduites gravitaires nous utiliserons les vannes à fermetures lentes.

Dans le cas de fermeture lente :

$$T > 2 \cdot L/a \quad (IV.21)$$

La valeur du coup de bélier est caractérisée par un temps de fermeture supérieure à un retour d'ondes.

Elle est donnée par la formule de MICHAUD :

$$B = 2 \cdot L \cdot V_0 / g \cdot t \quad (IV.22)$$

Tronçon BE1-BE2:

$$T > \frac{2 \times 9360}{910,38} = 20,56 \text{ s}$$

On prend : **T=180 s**

$$\Rightarrow B = 20,24\text{m}$$

Le coup de bélier est atténué.

Tronçon BE2-MAHOUANE

$$T > \frac{2 \times 484}{938,66} = 1,03\text{s.}$$

On prend **T= 15s**

$$\Rightarrow B = 15,46\text{m.}$$

Le coup de bélier est atténué.

IV.6-Pose des conduites**IV.6.1- Introduction**

Le rôle de la conduite est de pouvoir transporter un débit souhaité en résistant aux pressions et aux surpressions éventuelles, aux flexions longitudinales, aux efforts d'ovalisations (dus à son propre poids, au poids de l'eau, à celui des terres et aux surcharges roulantes) et l'agressivité du sol. La pose des conduites est d'une importance majeure ; pour cela, on doit tenir compte de certains impératifs lors de l'aménagement de la fouille et de la pose de la conduite.

IV.6.2-Exécution et aménagement de la tranchée

Lors de l'exécution du tranché, on doit tenir compte des normes suivantes :

La section transversale de la tranchée dépend essentiellement de la largeur et de la profondeur.

La largeur est évidemment fonction du diamètre de la conduite ; elle varie aussi selon la nature du sol.

Pour permettre aux ouvriers de travailler aisément ; on doit prévoir un espacement de 30 cm de part et d'autre de la conduite et établir des niches au droit des joints.

La profondeur doit être suffisante pour assurer la protection de la conduite contre le risque d'écrasement sous l'effet des charges et surcharges, et aussi contre la variation de la température pour éviter le gel en temps froids. Pour cela, on prévoit une profondeur de 1 m jusqu'à la génératrice supérieure de la conduite.

Le fond de la fouille doit être purgé des pierres qui pourraient s'y trouver, et convenablement dressé ; après quoi, il sera recouvert d'un lit de pose de 10 à 15 cm.

Le remblayage de la conduite est exécuté de façon à ne causer aucun dommage aux tubes. Pour obtenir un bon remblai, on utilise une terre dépourvue de pierre très fortement damée par petites couches jusqu'à 30 cm au dessus de la génératrice supérieure de la conduite. Cette façon d'opérer évite tout tassement ultérieur du terrain autour de la conduite. A partir de la hauteur fixée précédemment, le remblaiement se poursuit manuellement.

En terrain agressif, on cherche une homogénéisation du sol par utilisation d'un remblai inerte, bien drainé au contact du métal pour atténuer le phénomène de corrosion (Figure (VII.3)) [10].

IV.6.3-Pose des conduites

Avant chaque réalisation d'un projet d'alimentation en eau potable, il est nécessaire de définir l'ensemble de ces composantes afin d'assurer la protection, la stabilité et la durabilité de la conduite ; également, il faut tenir compte des sujétions suivantes :

- ✓ Maintien de la circulation des piétons et des véhicules au cours des travaux ;
- ✓ Eviter toute gêne réciproque ultérieure avec les conduites des autres réseaux lors de travaux de réparation, d'entretien ou de branchement d'immeuble.
- ✓ Dans ce chapitre nous allons exposer les différents types de pose selon le lieu et les obstacles qui peuvent se présenter et aussi les méthodes de protection des conduites [8].

IV.6.3.1- Largeur et profondeur de la tranchée

La largeur de la tranchée doit permettre une pose correcte et le compactage du remblai (Figure (IV.18)).

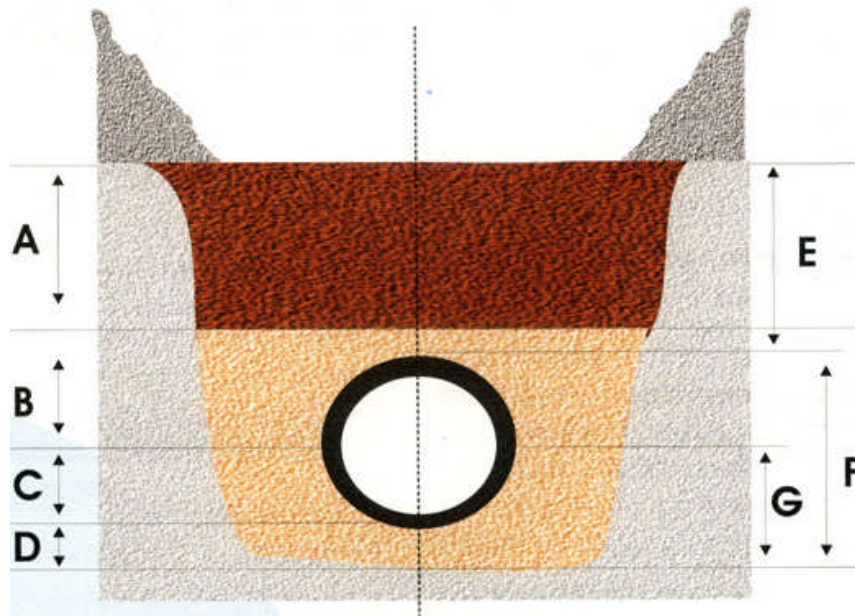


Figure (IV.18) : Pose de la conduite en tranchée

A : Remblai supérieur

B : Remblai de protection

C : Assise

D : Lit de pose

E : Hauteur de couverture

F : Enrobage

G : Appui

IV.6.3.2-Stabilisation des conduites

Pour résister aux poussées dues à la pression de l'eau dans les coudes, les cônes, les tés et les extrémités, il y a lieu d'aménager des butées en massif de béton.

On distingue :

- ✓ Butée sur coude horizontal (Figure (IV.19)).
- ✓ Butée sur coude vertical (Figure (IV.20)).
- ✓ Butée sur branchement (Figure (IV.20)).
- ✓ Butée sur un cône [5].

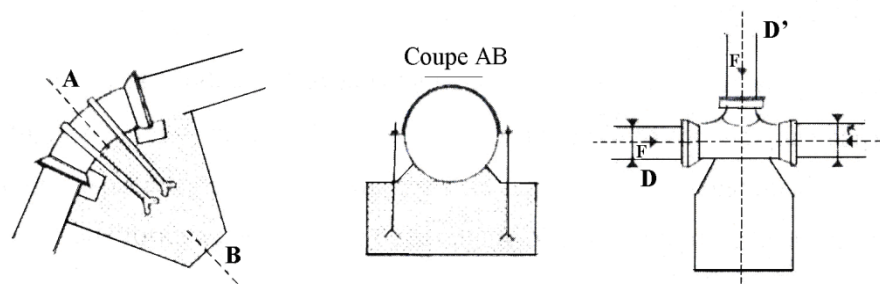


Figure (IV.19) : Butée sur coude horizontal

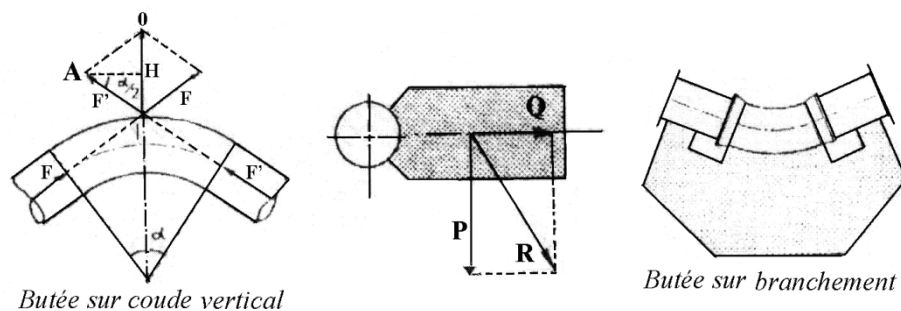


Figure (IV.20) : Butée sur coude vertical et Butée sur branchement

IV.6.4-Travaux spéciaux

IV.6.4.1-Traversée de route

En raison des charges supportées, qui peuvent causer des ruptures et par conséquent des infiltrations nuisibles à la conduite comme à la route, la pose des conduites s'effectuera dans une gaine (buse de diamètre supérieure dans laquelle la conduite est introduite). Pour protéger la canalisation des chocs et vibrations, et évacuer les fuites éventuelles hors de la chaussée (Figure (IV-21)).

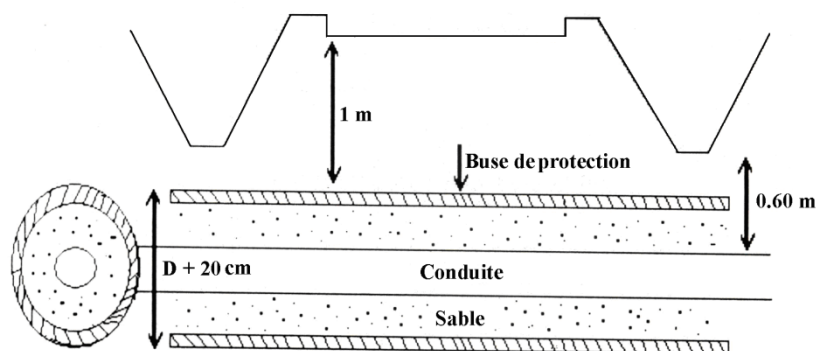


Figure (IV.21) : Protection spéciale pour la traversée de route

IV.6.4.2-Pose en élévation

Lors de la traversée des terrains très accidentés ou de dépression, la conduites reposera sur des tasseaux en béton dans lesquels des têtes de pieux seront noyées jusqu'au bon sol. Les tasseaux peuvent être au nombre de deux par tuyau ou de un [12].

IV.6.4.3-Mise en eau et épreuve

La mise en eau doit être progressive à partir d'un point bas en vérifiant que l'air s'évacue par les ventouses. Pour les tuyaux à revêtement intérieur poreux, une mise en pression préalable supérieure à 15 minutes est nécessaire pour imbiber le matériau. On applique ensuite la pression d'épreuve pendant 30 minutes, la diminution de pression constatée à l'issue de cette période ne doit pas être inférieure à 20 KPa.

La pression d'épreuve appliquée actuellement est égale à la pression de service augmentée de 50%, définie comme la «Pression Maximale de Fonctionnement de la Zone de pression comprenant le coup de bélier et tenant compte de développement futurs».

La pression d'épreuve est maintenue pendant 30 minutes en pompant par moment pour l'ajuster, puis ramenée à 3 MPa à l'aide d'une vanne de purge.

L'essai est satisfaisant si la pression dans la conduite remonte sans intervention de l'opérateur.

IV.7-Conclusion

A travers ce chapitre, nous nous sommes intéressés à deux parties, qui sont la protection et la pose des conduites.

La protection des conduites contre le phénomène du coup de bélier est d'une importance considérable. Afin de protéger le transfert étudié, on a opté pour des réservoirs d'air, vu leur large utilisation, peu encombrant, ils trouvent facilement leur place à l'usure d'élévation où ils sont surveillés régulièrement.

Par ailleurs, La pose des conduites est une opération qui doit se faire d'une manière à assurer l'étanchéité des joints ainsi que l'équilibre des tuyaux. Une mauvaise pose des conduites va se répercuter sur le rendement du réseau et sur les frais d'entretien qui vont augmenter. Une pose convenable permet une stabilité très importante et une durée d'exploitation allongée.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

La présente étude a englobé tous les points qui touchent de près ou de loin les aspects hydrauliques, hydrologiques, environnementales, ou économiques soient-ils, néanmoins une primordialité à été consacrée à l'aspect technico-économique tout en respectant la fonctionnalité d'un projet de transfert.

En ce qui concerne le transfert d'eau du barrage de IGHIL EMDA jusqu'à la retenue de MEHOUANE, il s'est avéré nécessaire de réaliser une station de pompage et deux (02) stations de reprises.

La nature du relief permet le découpage du circuit en cinq (05) tronçons principaux qui sont subdivisés en tronçons secondaires (trois (03) tronçons par refoulement, et deux (02) gravitaire (écoulement en charge)).

Les conduites sont en acier **HA Fe E 500 et TS HA 500** avec une épaisseur de 14.3 mm répondant aux objectifs recherchés, à savoir la pression maximale de service (PMS) qu'est de l'ordre de 40 bars, ainsi que la nature des terrains traversés.

Pour le dimensionnement des conduites d'adduction par refoulement, nous avons choisi les diamètres les plus économiques avec des vitesses adéquates. De ce fait, nous avons obtenu pour tous les tronçons les diamètres suivants (2.5, 3, 2 m) avec des vitesses de (1.23, 085, 1.91 m/s) respectivement.

Pour l'adduction gravitaire, nous avons choisi des diamètres en tenant compte des pertes de charges qui donnent des diamètres de l'ordre 2 m et 1.8 m avec des vitesses réelles de 1.91, et de 2.35 m/s, Pour le dernier tronçon, afin de dissiper toute la charge disponible, nous avons opté pour un dispositif qui est une brise de charge avec un flotteur à disque obturateur.

Concernant le choix des pompes, on a utilisé le catalogue des pompes KSB RDLO.

Pour la première station de pompage, les pompes sont de type vertical à plan de joint, alors que pour le reste des stations les pompes sont horizontales à plan de joint.

Le phénomène transitoire est préoccupant, si on ne prend pas de précautions contre le coup de bélier, il produit des pressions négatives, des vacuums et des pressions excessives sur les conduites de refoulement en acier dans la totalité des stations envoyant de l'eau à la retenue créée à la région de MAHOUANE.

Le calcul hydraulique de la cheminé d'équilibre et du réservoir d'air avec la méthode graphique de Bergeron pour les tronçons de refoulement empêchent les pressions négatives et diminuent les pressions maximales en cas du coup de bélier.

Cette étude nous a permis de mettre en pratique toutes les connaissances que nous avons acquises dans tous les domaines de l'hydraulique durant notre cycle de formation, et nous espérons que ce modeste travail servira pour les étudiants comme référence.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES:

[1] **BONNIN, J.** , 1977, « Hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance », édition Eyrolles, 1^{re} édition.

[2] Cahier de charge de l'ANBT.

[3] **CARLIER, M.** , 1980, « Hydraulique générale et appliquée », Edition EYROLLES, 1980.

[4] **DUPONT, A.** ,1979-1981, « Hydraulique Urbaine, Hydrologie –Captage et traitement », Tome 1, édition Eyrolles, Paris.

[5] **DUPONT, A.** , 1979, « Hydraulique urbaine'', Tome II : Ouvrage de transport, élévation et distribution des eaux », Edition EYROLLES.

[6] **DUPONT, A.** , 1970, « Hydraulique urbaine'', Tome III : exercices et projets », Edition EYROLLES.

[7] **JACKES, B.** , 2005, « Hydraulique urbaine I, captage-réseaux d'adduction - réservoirs - réseaux de distribution - équipements - pompes - petites centrales hydrauliques », (école d'ingénieur du Canton de Vau).

MEMOIRES :

[8].**AGCHARIOU, O.** , **TAKKA, S.** , 2010-2011, « Alimentation en eau potable des cinq villages de la commune d'IGHRAM à partir d'un forage », (Mémoire d'ingénieur d'Etat en agronomie, UMMTO).

[9].**BENAHMED, L.** , **CHIBOUT, L.** , 2008-2009, « Etude du transfert SETIF-HODNA système Est TABLOUT-DRAA DISS », (Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique, Université de Bejaia).

[10].**BOUDA, A. , TAMDRARI, I. ,** 2006-2007, « Etude d'adduction en eau potable de chemini », (Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique, Université de Bejaia).

[11].**KHERZI, S. , TANI, N. ,** 2006-2007 « Etude de refoulement d'eau potable de village d'Ait MELLOUL », (Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique, Université de Bejaia).

[12].**MOUBHA, M. , MEKBEL, A. ,** 1997-1998, « Renforcement de l'alimentation en eau potable de la rive fauche de la commune de SEMAOUNE », (Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique, Université de Bejaia).

[13].**OUARET, Y. ,** 2005-2006, « Renforcement de l'alimentation en eau potable de Constantine à partir du barrage de BENI HAROUN », (Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique, Université de Bejaia).

ANNEXES

RESUME :

Notre projet de fin d'étude présente un grand transfert d'eau entre un barrage et une retenue créée, le barrage se trouve à la région de Bejaia, et la retenue aux hautes plaines Setifiennes. La distance du circuit de transfert est de l'ordre de 24 Km à vol d'oiseau, pour une dénivellation voisine de 620 mètres. Dans la présente étude nous avons procédé au choix du tracé. Par la suite un dimensionnement des conduites et le choix des pompes avec leurs protections et pose des conduites.

Mots clés : *transfert d'eau, pompe, Coup de Bélier, pression.*

ABSTRACT:

Our final project study presents a large transfer of water between a dam and creates successful, the dam is located in the region of Bejaia, and retained the high plains Setif. The distance of the transfer circuit is about 24 Km a bird flying to a nearby vertical drop of 620 meters. In the present study we conducted route selection. Thereafter sizing lines and selection of pumps and their protection pipelay.

KEYWORDS: *water transfer, pump, water hammer, pressure.*