

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Département : Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'eau

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

Restructuration d'alimentation en eau potable de Douera

Etudié par : Safia Bekhouche

Sous la direction de : Mme Saâdia Benmamar

Professeur ENP

M Mustapha Librani

Ingénieur, SEAAL

Présenté et soutenu publiquement le 11/07/2019

Composition du jury :

Président	M Rabah Bouarab	Professeur	ENP
Rapporteurs/ Promoteurs	Mme Saâdia Benmamar	Professeur	ENP
	M Mustapha Librani	Ingénieur d'étude	SEAAL
Examineurs	M Salim Benziada	Professeur	ENP
	M Salah Eddine Tachi	MCB	ENP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'eau

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

Restructuration d'alimentation en eau potable de Douera

Etudié par : Safia Bekhouche

Sous la direction de : Mme Saâdia Benmamar

Professeur ENP

M Mustapha Librani

Ingénieur SEAAL

Présenté et soutenu publiquement le 11/07/2019

Composition du jury :

Président :	M Rabah Bouarab	Professeur	ENP
Rapporteurs/ Promoteurs	Mme Saâdia Benmamar	Professeur	ENP
	M Mustapha Librani	Ingénieur d'étude	SEAAL
Examineurs	M Salim Benzida	Professeur	ENP
	M Salah Eddine Tachi	MCB	ENP

Dédicaces

Tout d'abord, je tiens à remercier ALLAH le tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes chers parents qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne. Pour leur soutien, leur patience, leur tendresse, leur affection et tous leurs sacrifices qui m'ont permis d'être ce que je suis aujourd'hui, je leur suis très reconnaissante. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments. Que dieu vous accorde la santé et une longue vie et que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Je dédie ce travail aussi à :

À mes frères et mes chères sœurs qui ont toujours été là pour moi, Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Que dieu vous préserve et vous procure la santé et une longue vie.

A tous mes ami(e)s et toutes personnes qui me sont chers.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Remerciements

Je remercie ALLAH tout puissant et miséricordieux m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir et réaliser ce travail.

Je tiens à saisir cette occasion et adresser mes profonds remerciements et ma profonde reconnaissance à mes encadreur : Pr S. Benmamar et M. M. Larbani pour leur aide précieuse, la confiance qu'ils m'ont accordée, leurs encouragements et leurs conseils tout au long de ce projet sans lesquels ce travail n'aurait pas pu aboutir. Je les remercie également pour leur écoute, leur patience et leur permanente disponibilité. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect et de ma sincère gratitude..

Mes sincères remerciements s'adressent à tous les enseignants du département Hydraulique qui se sont armés de patience et de pédagogie et surtout de beaucoup de compétences et de dévouement pour notre formation d'ingénieur. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Un grand merci à mes chers parents qui sans eux Je n'aurais pas pu atteindre cette réussite, à mes proches, mes ami(e)s qui m'ont encouragés, aidés et soutenu(e)s.

Enfin, J'adresse ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

ملخص:

يتناول هذا المشروع دراسة إعادة هيكلة نظام إمدادات المياه الصالحة للشرب في مدينة دويرة ، أي تحديد حالات الفشل واقتراح الحلول حيث يتضمن هذا الأخير الخطوات التالية: دراسة نظام إمدادات المياه حيث تم قياسه بواسطة دراسة تقنية واقتصادية ؛ حماية خط التصريف من الظاهرة العابرة لمطرقة الماء من خلال تركيب خزان هواء وصمام مثبتت محاكاة التدفق في شبكة التوزيع عبر Epanet ؛ وتحليل مرافق التخزين (الخزانات) في الوضع الحالي وفي المستقبل

الكلمات المفتاحية: مياه الشرب- شبكة-خزان- هيكلية- محاكاة

Abstrat:

This thesis deals with the study of the restructuring of the potable water supply system of the city of Douera, that is to say the determination of failures and propose solutions. This project involves the following steps: Study of the water supply system where it has been dimensioned by a technical and economic study; Protection of the discharge line against the transient phenomenon of water hammer by installing an air tank and a dispersed valve; Simulation of the flow in the distribution network via Epanet; And the analysis of the storage structures (reservoirs) in the current state and in the future state 2040

Key words: Drinking water supply – Network –Tank –Restructuring – Simulation

Résume :

Le présent mémoire porte sur l'étude de la restructuration du système d'alimentation en eau potable de la ville de Douera, c'est à dire la détermination des défaillances et proposer des solutions. Ce projet comporte les étapes suivantes : Etude du système d'adduction où on a procédé à son dimensionnement par une étude technique et économique ; Protection de la chaine de refoulement contre le phénomène transitoire qu'est le coup de bélier en installant, un réservoir d'air et un clapet dispersé ; Simulation de l'écoulement dans le réseau de distribution via Epanet ; Et l'analyse des ouvrages de stockage (réservoirs) à l'état actuel et à l'état futur 2040

Mots clés: Alimentation en eau potable - Réseau - Réservoir – Restructuration –Simulation

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des symboles

Introduction Générale **16**

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1.1. Introduction	18
1.2. Situation géographique	18
1.3. Situation climatologique	19
1.3.1. Température	19
1.3.2. La pluviométrie	19
1.3.3. Le vent	19
1.3.4. L'humidité	20
1.4. Situation topographique	20
1.5. Situation géologique	21
1.6. Situation hydraulique	21
1.6.1. Chaîne des hauteurs	21
1.6.2. Réservoir de stockage	24
1.7. Conclusion	24

Chapitre 2 : Estimation des besoins en eau de l'agglomération

2.1. Introduction	26
2.2. Évaluation de la population et programme de logements	26
2.2.1. Évaluation de la population	26
2.2.2. Évaluation de programme de logements	27
2.2.3. Évaluation totale	27
2.3. Catégorie des besoins	28

2.4.	Estimation des besoins futurs de Douera	28
2.4.1.	Choix de la dotation de la consommation	28
2.4.2.	Détermination de la consommation journalière moyenne	28
2.5.	Estimation des besoins en eau pour chaque catégorie de consommation	29
2.5.1.	Besoins domestiques	29
2.5.2.	Besoins des équipements divers	29
2.6.	Calcul de débit journalier moyen $Q_{j.moy}$	30
2.7.	Consommation journalière maximale $Q_{j.max}$	30
2.7.1.	Coefficient d'irrégularité maximale journalière	30
2.7.2.	Calcul des pertes	31
2.8.	Calcul du débit horaire maximal	31
2.8.1.	Coefficient d'irrégularité horaire maximale $K_{h.max}$	32
2.8.2.	Débit horaire moyen $Q_{h.moy}$	32
2.9.	Conclusion	32

Chapitre 3 : Choix et dimensionnement du réservoir

3.1.	Introduction	34
3.2.	Rôles des réservoirs	34
3.2.1.	Régulateur et accumulateur	34
3.2.2.	Augmentation des pressions	34
3.2.3.	Gain d'énergie au niveau de la station de pompage	34
3.2.4.	Utilité pour briser la charge	34
3.2.5.	Stockage de la réserve d'incendie	34
3.3.	Choix du type du réservoir	34
3.3.1.	Classification selon le matériau de construction	35
3.3.2.	Classification selon la situation des lieux	35
3.3.3.	Classification selon l'usage	35

3.3.4.	Classification selon la forme géométrique	35
3.4.	Emplacement des réservoirs	35
3.5.	Capacité et dimensionnement du réservoir	36
3.5.1.	Méthode analytique	37
3.5.2.	Méthode graphique	38
3.6.	Équipement hydraulique des réservoirs	38
3.6.1.	Conduite d'arrivée	38
3.6.2.	Conduite de départ (Réservoir)	38
3.6.3.	Conduite de trop plein	39
3.6.4.	Conduite de vidange	39
3.6.5.	By-pass entre adduction et distribution	39
3.7.	Dimensionnement des réservoirs de Douera	40
3.8.	Conclusion	42

Chapitre 4 : Adduction de la commune de Douera

4.1.	Introduction	44
4.2.	Type d'adduction	44
4.2.1.	Adduction gravitaire	44
4.2.2.	Adduction par refoulement	44
4.2.3.	Adduction mixte	44
4.3.	Choix de la trace des adductions	44
4.4.	Choix des matériaux	45
4.5.	Le tracé de la conduite	46
4.6.	Schéma hydraulique	46
4.7.	Dimensionnement des conduites d'adduction	47
4.7.1.	Calcul du diamètre économique	47
4.7.2.	Les paramètres hydrauliques	47

4.7.3.	Hauteur manométrique totale (Hmt)	48
4.7.4.	Puissance absorbée par la pompe	49
4.7.5.	Énergie consommée par la pompe	49
4.7.6.	Frais d'exploitation	49
4.7.7.	Frais d'amortissement	49
4.7.8.	Bilan global	49
4.8.	Dimensionnement des conduites d'adduction	49
4.8.1.	Tronçon SP1-R (par refoulement)	49
4.8.2.	Calcul du diamètre économique	50
4.8.3.	Calcul des frais d'exploitation	50
4.8.4.	Frais d'amortissement	50
4.8.5.	Bilan global des frais (coût d'investissement)	51
4.9.	Conclusion	51

Chapitre 5 : Station de pompage

5.1.	Introduction	53
5.2.	Types de pompes	53
5.3.	Caractéristiques hydrauliques des pompes centrifuges	53
5.3.1.	Hauteur manométrique (Hmt)	53
5.3.2.	Le débit (Q)	54
5.3.3.	La vitesse de rotation (N)	54
5.3.4.	Les puissances	54
5.3.5.	Le rendement (η)	54
5.4.	Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge	54
5.4.1.	La courbe débit-hauteur	54
5.4.2.	La courbe du rendement	54
5.4.3.	La courbe de puissance absorbée	54
5.5.	Point de fonctionnement d'une pompe centrifuge	55

5.6.	Étude de cavitation	56
5.6.1.	Vérification de la condition de non cavitation pour les pompes choisies	57
5.7.	Choix de pompe	57
5.7.1.	Réseau SP1-R	57
5.7.2.	Vérification de la cavitation	58
5.8.	Protection des conduites contre le coup de bélier	59
5.8.1.	Phénomène de coup de bélier	59
5.8.2.	Conséquences du coup de bélier	59
5.8.3.	Moyens de protection contre le coup de bélier	61
5.8.4.	Étude de coup de bélier	63
5.8.5.	Outil de dimensionnement des protections anti-bélier	64
5.8.6.	Calcul de coup de bélier pour le tronçon de refoulement (SP1-R)	64
5.8.7.	Simulation anti bélier	64
5.9.	Conclusion	68

Chapitre 6 : Diagnostic et restructuration du réseau de distribution

6.1.	Introduction	70
6.2.	Différents types des réseaux d'alimentation en eau potable	70
6.2.1.	Les réseaux maillés	70
6.2.2.	Les réseaux ramifiés	70
6.2.3.	Les réseaux mixtes	70
6.3.	Choix de tracé de réseau de distribution	71
6.4.	Choix du matériau des canalisations du réseau de distribution	71
6.5.	Structuration du réseau	71
6.6.	Équipement et accessoire du réseau de distribution	72
6.6.1.	Canalisations	72
6.6.2.	Organes accessoires	72

6.7. Les étapes de dimensionnement	73
6.8. Modélisation et simulation du réseau	75
6.8.1. Présentation du logiciel EPANET	75
6.8.2. Utilisation du logiciel EPANET	76
6.8.3. Résultats de simulation	76
6.9. Gestion et maintenance des réseaux	78
Conclusion Générale	80
Bibliographie	82
Annexe	84

Liste des tableaux

Tableau 1-1: variation de la température mensuelle moyenne en °C période (2008-2015)	19
Tableau 1-2: précipitation mensuelle moyenne période (2008-2015)	19
Tableau 1-3: vitesse de vent mensuel moyen et maximal période (2008-2015)	20
Tableau 1-4: humidité mensuelle moyenne en % période (2008-2015)	20
Tableau 1-5: les forages de Mazafran	22
Tableau 2-1: évolution de la population sur plusieurs années	26
Tableau 2-2: évaluation de programme de logement pour chaque année	27
Tableau 2-3: population totale actuelle (2019)	27
Tableau 2-4: population totale à moyen terme (2025)	27
Tableau 2-5: population totale future (2040)	28
Tableau 2-6: besoins domestiques de Douera pour chaque année	29
Tableau 2-7: besoins des équipements divers de Douera	29
Tableau 2-8: débit journalier moyen Q_j .moy	30
Tableau 2-9: débit journalier maximale Q_j -max	31
Tableau 2-10 : les pertes pour différents rendement	31
Tableau 2-11: débit horaire moyen Q_h .moy	32
Tableau 3-1: coefficients de variation de la consommation	37
Tableau3-2: détermination de la capacité du stockage à l'état actuel(2019)	40
Tableau3-3: détermination de la capacité du stockage à l'état futur (2040)	41
Tableau 4-1: calcul de la hauteur manométrique totale (Hmt)	50
Tableau 4-2: calcul des frais d'exploitation	50
Tableau 4-3: calcul des frais d'amortissement	51
Tableau 4-4: calcul du bilan global	51
Tableau 5-1: tension de vapeur d'eau pompée en fonction de la température	57
Tableau 5-2 : valeur de coup de bélier	64
Tableau 5-3: caractéristiques du ballon anti-bélier	67
Tableau 6-1: fonctions des raccords	72
Tableau 6-2 : détermination des différents débits	73

Liste des figures

Figure 1.1 : situation géographique de la zone d'étude (l'ONS)	18
Figure1.2: la carte topographique de Douera	20
Figure1.3: plan des secteurs d'adduction de la Wilaya d'Alger	21
Figure 1.4: plan des différentes ressources en eau de la capitale	23
Figure 2.1: évolution démographique de la population à divers horizons	27
Figure 3.1: emplacement d'un réservoir	36
Figure3.2: schéma d'équipement des réservoirs	39
Figure 4.1: représentation de la conduite de refoulement en vue plan	46
Figure 4.2: schéma hydraulique d'adduction de Douera	47
Figure 5.1: profil piézométrique du refoulement	53
Figure 5.2: courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge	55
Figure 5.3: point de fonctionnement	56
Figure 5.4: courbe caractéristique des pompes	58
Figure 5.5: évolution de l'écoulement en fonction du temps dans une conduite	60
Figure 5.6: principe de fonctionnement d'un réservoir d'air	61
Figure 5.7: installation d'une cheminée d'équilibre sur une conduite de refoulement	62
Figure 5.8: schéma avant la protection	65
Figure 5.9: variation de la surpression et la dépression (avant protection)	65
Figure 5.10: installation avec protection (ballon d'air)	66
Figure 5.11: variation de la surpression et la dépression avec protection	67
Figure 5.12 : évolution des volumes dans le ballon	67
Figure 6.1: réseau maillé	71
Figure 6.2 : réseau ramifié	71
Figure 6.3: l'État du réseau avant la restructuration	76
Figure 6.4: l'état du réseau après la restructuration	77

Liste des symboles

A :	annuité d'amortissement	
a :	célérité de l'onde	m/s
B _g :	bilan global	DA
D _N :	diamètre normalisé	m
D :	diamètre intérieur de la conduite	m
E :	énergie consommée	Kwh /an
e :	tarif de l'énergie	DA/Kwh
F _{am} :	frais amortissement	DA
F _{exp} :	frais exploitation	DA
g :	accélération de la pesanteur	m/s ²
H ₀ :	La pression absolue au point le plus haut de la conduite	m
H _{mt} :	hauteur manométrique totale	m
H _d :	Dépression	m
H _S :	Surpression	m
ΔH _{max} :	valeur maximale du coup de bélier	m
ΔH _T :	perte de charge totale	m
ΔH _S :	perte de charge singulière	m
ΔH _L :	perte de charge linéaire	m
i :	taux d'annuité de la conduite	-
i _n :	nombre de catégorie	-
K _{j,max} :	coefficient d'irrégularité journalière maximale	-
K _{h,max} :	coefficient d'irrégularité horaire maximale	-
L :	longueur de la conduite d'adduction en mètre	m
L _i :	longueur alimenté par tronçon concerné	m
∑L _i :	somme de longueurs alimentées par le réseau	m
n _a :	nombre d'année d'amortissement	-
n :	nombre d'années séparant l'horizon considéré de l'année de référence	-
N _i :	nombre de consommation dans chaque catégorie	-
P ₀ :	population de l'année de référence(2008)	hab
P _n :	population future à l'horizon considéré	hab
P _e :	puissance consommée	Kw
Q :	débit refoulé	m ³ /s
Q _i :	dotation journalière moyenne de la consommation propre à chaque catégorie	l/j.cat.
Q _{j,moy} :	consommation journalière moyenne	m ³ /j
Q _{j,max} :	débit journalier maximum	m ³ /j

$Q_{h,max}$:	débit horaire max	m^3/h
$Q_{h,moy}$:	débit horaire moyen	m^3/h
$Q_{h,ST}$:	débit horaire moyen de la station de pompage	m^3/h
Q_p :	débit de pointe	l/s
Q_r :	débit en route	l/s
Q_{sp} :	ébit spécifique	l/s/ml
R_e :	nombre de Reynolds	-
R_{max} :	Résidu maximal dans le réservoir	%
S :	Surface	m^2
T :	temps de fonctionnement des pompes	heure
T_f :	Temps de fermeture de la vanne	S
V :	vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans la conduite	m/s
V_0 :	vitesse d'écoulement en régime permanent initiale	m/s
V_i :	volume d'incendie	m^3
V_r :	capacité résiduelle	m^3
V_T :	capacité totale du réservoir	m^3
α :	Taux d'accroissement considéré	%
α_{max} :	coefficient qui tient compte du confort des équipements de l'agglomération et de régime du travail	-
β_{max} :	coefficient étroitement lié à l'accroissement de la population	
ε :	rugosité absolue de la conduite	mm
η :	Rendement de la pompe	-
ν :	viscosité cinématique de l'eau	m^2/s
λ :	coefficient universel de perte de charge	-

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, élément essentiel à toute forme de vie, a toujours influencé la vie de l'homme, de part son mode de vie et ses activités, la sédentarisation de l'espèce humaine dépendait principalement de la proximité des points d'eau, formant ainsi des communautés qui n'ont cessé de se développer jusqu'à l'état actuel de notre civilisation. L'expansion démographique et l'élévation du niveau de vie ont engendré une demande en eau potable croissante.

Vu que la quantité d'eau disponible décroît d'année en année, nous devons réfléchir à des solutions et des stratégies pour assurer la consommation d'eau journalière nécessaire à tous les consommateurs.

Les quantités d'eau, en Algérie, sont insuffisantes malgré la mobilisation des eaux superficielles, des eaux souterraines et même des eaux non-conventionnelles, telle que le dessalement d'eau de mer, aussi, il ne sera plus permis de mal gérer cette ressource. La bonne gestion d'un système d'alimentation en eau potable débute par un bon dimensionnement du réseau lui-même et par une gestion rigoureuse des différentes parties du projet.

Dans ce contexte s'inscrit le thème de notre mémoire de fin d'étude qui est la restructuration du système d'alimentation en eau potable de la commune de Douera.

L'objet de notre étude consistera à faire un diagnostic approfondi du système d'alimentation en eau potable de la commune de Douera afin d'améliorer l'approvisionnement en eau potable de la commune.

Pour cela, nous allons procéder comme suit :

- La présentation du système actuel d'alimentation en eau potable.
- Son diagnostic hydraulique, tout en donnant les défaillances existantes.
- Préconiser des solutions pour y remédier.

Et enfin de proposer des solutions pour une bonne gestion et une exploitation du système.

Chapitre 1 :

Présentation de la zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Introduction

Le but de ce projet est l'analyse de la restructuration du réseau d'alimentation de l'eau potable de Douera. Pour cela, l'observation de l'historique de cette dernière est importante d'une part, pour collecter des données concernant le site, d'autre part, proposer des solutions innovantes et résoudre les problèmes techniques qui concerne le contrôle de la pression hydrostatique, réduire les pertes de charge pour gérer mieux le projet. Et à travers de ce chapitre on présente la description et les caractéristiques de ce réseau

1.2. Situation géographique

Douera est située à environ 29 km au sud-ouest du centre-ville d'Alger et à 17 km au nord de Boufarik, elle est caractérisée par une superficie de 40Km².

Cette zone est limitée (figure 1.1) :

- Au nord par : Baba Hassen, Ouled Fayet
- Au sud par : Beni Khelil, Tessala El Mardja, Birtouta.
- À l'ouest par : Mahelma, Rahmania.
- À l'est par : Khraicia

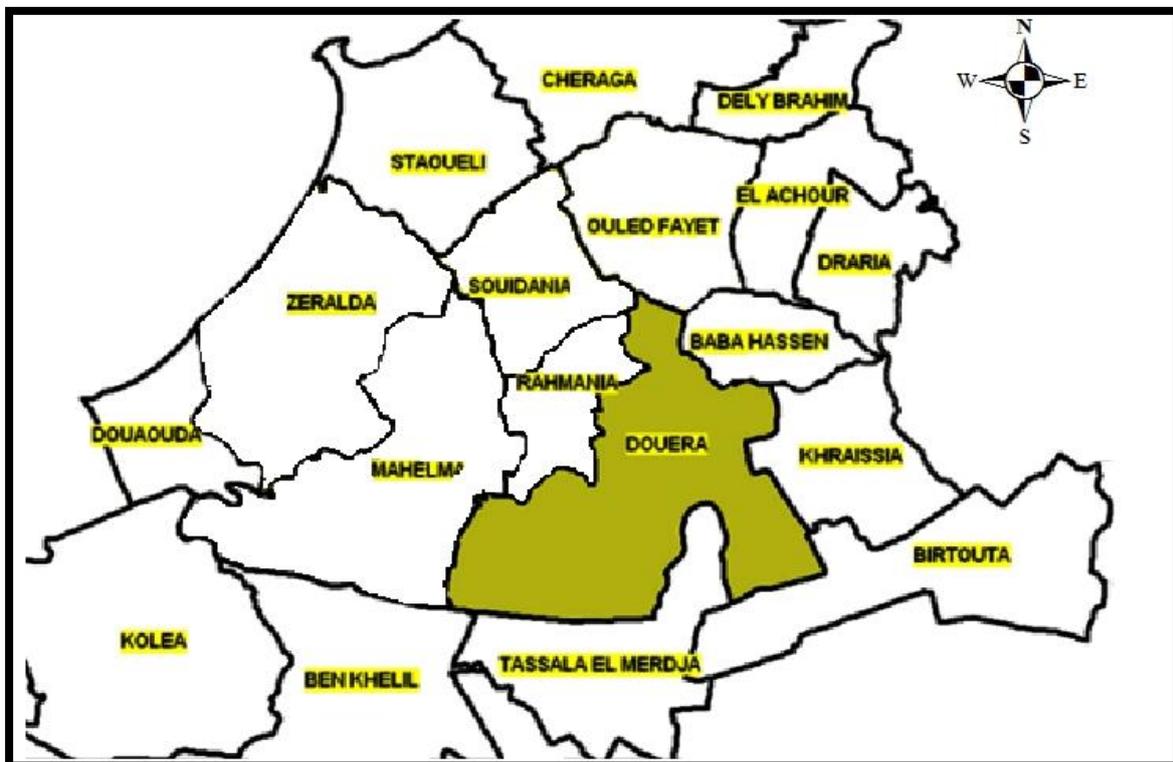


Figure 1.1 : Situation géographique de la zone d'étude (l'ONS)

1.3. Situation climatologique

Pour tout projet d'alimentation en eau potable ou toute étude hydraulique, le climat est un facteur important.

En effet, Douera de par sa situation géographique du Nord de l'Algérie, elle comporte un climat méditerranéen qui est caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et relativement humides.

1.3.1. Température

Sur la plaine, le climat est légèrement continental et reçoit moins les effets de la mer. Les températures estivales sont plus élevées, elles oscillent entre 10 et 35 °C et une moyenne annuelle de 18°C.

Tableau 1-1: variation de la température mensuelle moyenne en °C (période 2008-2015)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T _{min}	7,3	7,7	9,2	10,9	13,6	17,0	20,2	21,0	19,2	15,1	10,8	8,3
T _{max}	14,2	15,4	17,0	19,3	22,3	26,0	28,9	30,0	27,0	22,8	18,2	15,1
T _{moy}	10,7	11,5	13,1	15,1	17,9	21,0	24,5	26,0	23,1	18,9	14,5	11,7

Source : station Alger Dar-El-Beida (l'ONM)

1.3.2. La pluviométrie

La commune de Douera reçoit des précipitations surtout en hiver, et relativement moins de pluie en été, la différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de l'ordre de 123 mm.

Tableau 01-2: précipitation mensuelle moyenne (période 2008-2015)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Précip (mm)	102	77	74	49	48	18	3	5	36	73	116	126

Source : station Alger Dar-El-Beida (l'ONM)

1.3.3. Le vent

Le maximum de force des vents se situe au cours de l'hiver et le minimum à la fin de l'été.

Tableau 1-3:vitesse mensuelle du vent moyenne et maximale (période 2008-2015)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy (m/s)	2,3	2,3	2,4	2,7	2,7	2,8	2,8	2,5	2,4	2,0	2,4	2,4
Max (m/s)	9,8	9,7	10,0	11,1	10,6	11,1	10,9	10,7	10,7	9,7	10,4	9,9

Source : station Alger Dar-El-Beida (l'ONM)

1.3.4. L'humidité

L'humidité dans notre zone est relativement moyenne.

Tableau 1.4:humidité mensuelle moyenne en % période (2008-2015)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Humidité	79	81	77	76	77	71	70	70	72	75	78	80

Source : station Alger Dar-El-Beida (l'ONM)

1.4. Situation topographique

L'étude de la topographie de la zone d'étude est importante à fin de définir le choix de l'emplacement des ouvrages hydrauliques et pour assurer une pression d'eau, soit gravitairement ou par refoulement.

En se référant au modèle numérique topographique (Figure 1.2), nous remarquons que les points les plus hauts sont situés au Nord de la ville. Le terrain descend graduellement du Nord au Sud. L'altitude varie entre 50 m sur la plaine et 230 m sur le sahel au Nord.

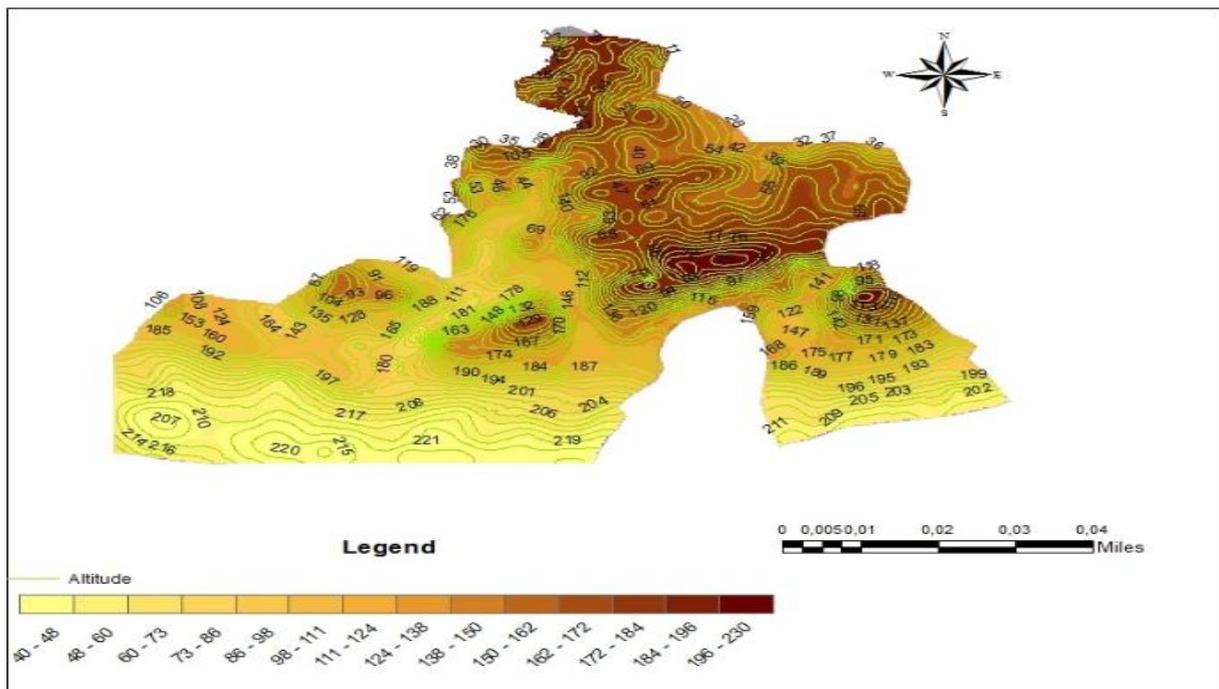


Figure1.2:La carte topographique de Douera

1.5. Situation géologique

L'examen de la carte géologique montre que la zone d'étude est caractérisée par une pétrographie du pliocène qui se regroupe en formation du quaternaire et du tertiaire se présente comme suite :

- Des alluvions récentes, formée de limons argileux.
- Plais ancien et sahélien : marneux et argileux qui forment le substratum de la zone.
- Les argiles sahéliennes et marnes du plais ancien

1.6. Situation hydraulique

Le réseau d'adduction d'eau potable de la wilaya d'Alger est composé de huit principaux secteurs (figure 1.3) :

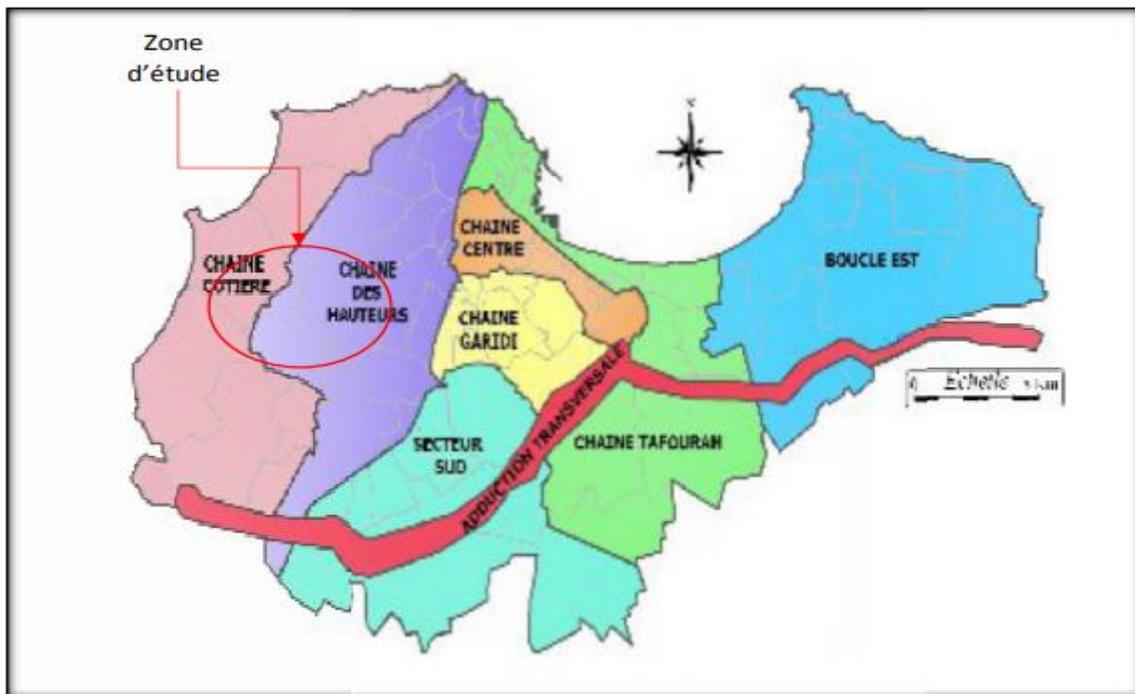


Figure 1.3: plan des secteurs d'adduction de la Wilaya d'Alger

Notre zone d'étude est alimentée par la chaîne des hauteurs et par les eaux des barrages de Bourroumi (181.86 hm³), Boukerdene (96 hm³) et Kedara

1.6.1. Chaîne des hauteurs

a) Ressources sur le secteur

Aucune ressource n'existe sur le secteur chaîne des hauteurs. Toutes les ressources sont apportées par adduction depuis les secteurs limitrophes : l'adduction transversale SPIK, Mazafran I et II, chaîne côtière et chaîne Garidi

La chaîne des hauteurs est ainsi alimentée par un mélange d'eau de surface (SAA, Taksebt, Isser-Keddara), d'eaux dessalées (Hamma) et d'eaux souterraines (Mazafran I et II).

b) Station de pompage

Actuellement, la chaîne des hauteurs est principalement alimentée par la station de pompage SP1.

La station de pompage SP1, au sud, reçoit :

- Les eaux du SAA (SP3) par les conduites DN 1 050 et DN 1 000 AC et la conduite DN 930 BPAT et les eaux souterraines de champs de captage Mazafran(I, II) :
 - Mazafran I : Le champ de captage est constitué de 29 forages situés à proximité de l'oued Mazafran au sud-ouest d'Alger.
 - Mazafran II : Le champ de captage est constitué de 34 forages situés à proximité de la localité d'Oued Alleug.

Tableau 1-5: les forages de Mazafran

Nom du champ captant	Nom de forage	Débit d'exploitation (m ³ /h)	Nom du champ captant	Nom de forage	Débit d'exploitation(m ³ /h)
MZ 1	F11 bis	123	MZ 2	H 10 bis	45
	F14 bis	70		I 11	71
	F21	149		Q 18	83
	F21 bis	124		D 7	28
	F22	80		F A 3	74
	F23	70		F 71	17
	F24 bis	113		F 72	100
	F16 bis	90		O 16	66
	F31 bis	54		R 19 bis	97
	F33	124		F 62	71
	F19	86		F 24	86
	F41 bis	37		N 14	54
	F42	80		F M12	53
	F43 bis	X		B 2 bis	63
	F18	60		P 15	58
	F51 bis	98		D 17	99
F52 bis	95	F 61	90		

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

	F53	58		K 9	45
	F20 bis	76		J 8	90
	F25	X		F 65	47
	Total	1587		F 66	43
				A 3	36
				E 6	48
				G4 bis	25
				F5 bis	78
				C 1 bis	60
				F A 2 bis	108
				F 64	X
				F 67 bis	118
				F 68	102
				Total	1955

- Les eaux du système Isser-Kadarasont transférées depuis 2008 par la conduite DN 1 050 AC grâce au By-pass réalisé à El Harrach entre les conduites SPIK et la conduite DN 1 050 AC

Le volume de stockage à SP1 est actuellement de 650 m^3 ($150 \text{ m}^3 + 500 \text{ m}^3$, CTP 40,6 m NGA), la station de pompage SP1 se décompose en deux unités :

- SP 1 1500 : refoulement dans un DN 700 AC
- SP1 630 : refoulement dans un DN 1 000 BPAT.

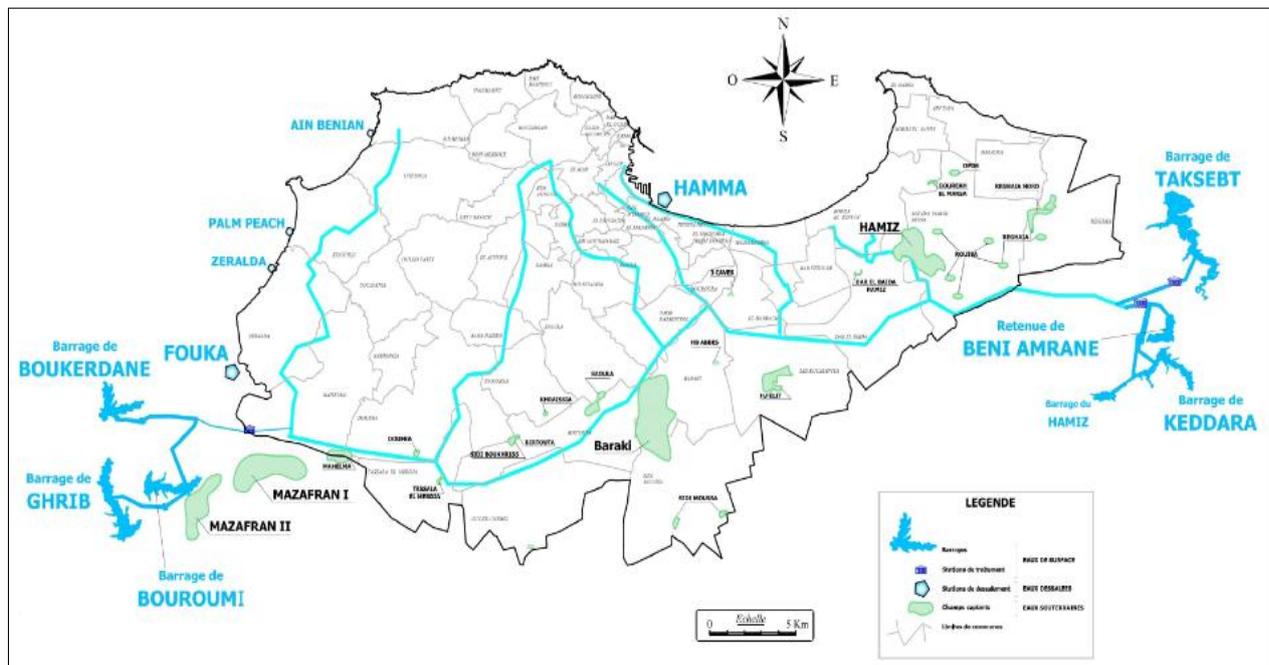


Figure 1.4: plan des différentes ressources en eau de la capitale

1.6.2. Réservoir de stockage

Le stockage dans la ville de Douera est assuré par deux réservoirs de capacité 1000m^3 (côte du radier = $228,5\text{mNG}$, côte du trop-plein = $232,50\text{mNGA}$) et le réservoir tampon de 500m^3 qui se situe à la côte $233,5\text{mNG}$. Ces réservoirs sont alimentés par la station de pompage SP1

Il existe également deux réservoirs de capacité de 5000 m^3 qui alimentent actuellement une partie des programmes de logt dont au futur seront basculés à la distribution.

1.7. Conclusion

L'étude de ce chapitre nous a permis de présenter la zone d'étude et les données climatiques, géographiques, topographiques ainsi que les ressources en eau disponibles.

Nous pouvons exploiter ces informations dans le chapitre suivant notamment dans la conception de ce projet.

Chapitre 2 :

Estimation des besoins en eau de l'agglomération

2. Estimation des besoins en eau de l'agglomération

2.1. Introduction

L'estimation des besoins en eau d'une agglomération exige de donner une dotation fixée pour chaque catégorie de consommateur. Cette dotation unitaire est définie comme un rapport entre le débit journalier et l'unité de consommateur. Cette estimation en eau dépend de plusieurs facteurs (l'évolution de la population, des équipements sanitaires et le niveau de vie de la population, ...etc.). Elle diffère aussi d'une période à une autre et d'une agglomération à une autre.

L'étude actuelle est basée sur le recensement de l'A.P.C de Douera, aussi sur les orientations du plan d'urbanisation et des équipements.

Particulièrement, on peut dire que l'évaluation des besoins en eau potable vise la satisfaction d'un niveau sanitaire général en étroite relation et dépendance avec le développement socioéconomique du pays.

2.2. Évaluation de la population et programme de logements

2.2.1. Évaluation de la population

Le nombre d'habitant de la ville Douera a été évalué à **31014** habitants en 1998, lors du dernier recensement (RGPH), les statistiques de la commune donne une population de **42496** habitants en 2008 avec un taux d'accroissement moyen annuel de 3,20 %. L'évaluation du nombre d'habitants futur s'effectue à l'aide de la formule empirique suivante avec un taux d'accroissement 1,5% :

$$P_n = P_0(1 + \alpha)^n$$

Avec, P_n : population future à l'horizon considéré, P_0 : Population de l'année de référence, α : taux d'accroissement considéré en %, n : nombre d'année séparant l'horizon considéré de l'année de référence.

Le tableau et l'histogramme suivants représentent la variation de la population de la commune de Douera sur plusieurs années.

Tableau 2-1: évolution de la population sur plusieurs années

Années	2008	2019	2025	2040
Total	42496	50 058	54736	68432

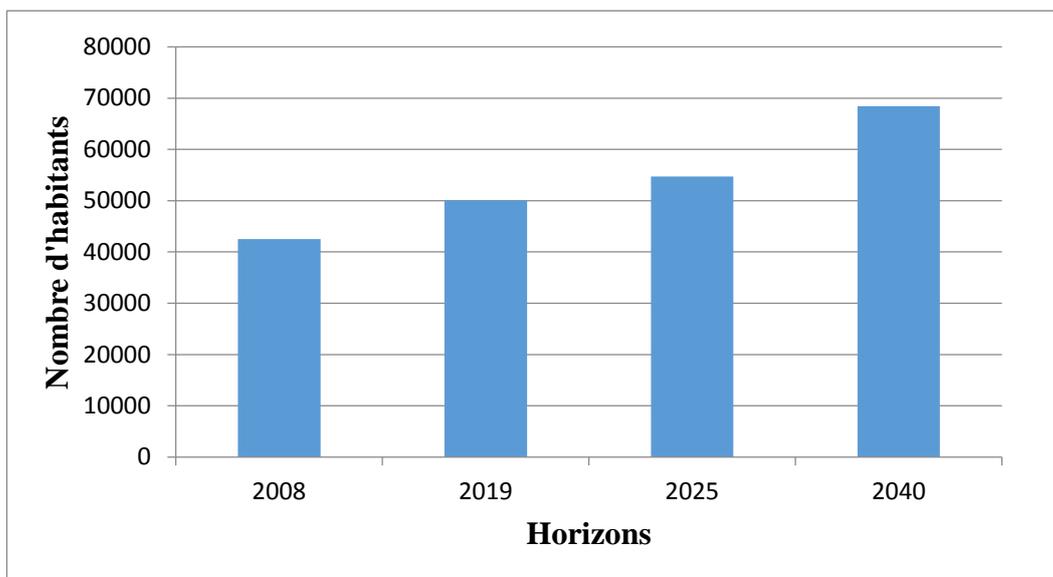


Figure 2.1: évolution démographique de la population à divers horizons

2.2.2. Évaluation de programme de logements

L'évaluation du programme de logement sur plusieurs années est donnée dans le tableau 2-2.

Tableau 2-2:évaluation de programme de logement pour plusieurs années

années	Nombre de logt	Personne/logt	Total
2019	8367	5	41835
2025	7000	5	35000
2040	15367	5	76835

2.2.3. Évaluation totale

L'évolution de la population totale pour différents horizons est donnée dans les tableaux ci-dessous (2-3÷ 2-5) :

Tableau 2-3: population actuelle (2019)

Année	Programme de logt(2019)	Population (2019)	Totale
2019	41835	50 058	91893

Tableau 2-4:population à moyen terme (2025)

Année	Programme de logt (2019) et (2025)	Population (2025)	Totale
2025	15367	54736	131571

Tableau 2-5: population totale future (2040)

Année	Programme de logt (2019) et (2025)	Population (2040)	Totale
2040	15367	68432	145267

2.3. Catégorie des besoins

Vu l'urbanisation, le niveau de vie et le confort que tend à connaître la commune de Douera, il est nécessaire de se pencher sur les différentes catégories de besoins telles que les :

- Besoins domestiques,
- Besoins sanitaires,
- Besoins scolaires,
- Besoins commerciaux,
- Besoins socioculturels et sportifs.

2.4. Estimation des besoins futurs de Douera

2.4.1. Choix de la dotation de la consommation

Passons aux calculs des besoins en eau potable, pour cela il nous faudra définir la dotation nécessaire de cette région. La dotation dépend de certains critères dont les principaux sont :

- Le niveau de vie de la population,
- Le nombre d'habitants,
- Le développement urbain de la ville,
- Ressources existantes,

De ce fait, nous adopterons pour notre région une dotation de 150 l/j .hab

2.4.2. Détermination de la consommation journalière moyenne

Le débit journalier moyen au cours de l'année :

$$Q_{j.moy} = \frac{1}{1000} \sum Q_i N_i$$

Avec, $Q_{j.moy}$: Consommation journalière moyenne (m^3/j),

Q_i : dotation journalière moyenne de la consommation propre à chaque catégorie l/j/cat,

N_i : Nombre de consommation dans chaque catégorie (hab),

i : Nombre de catégorie.

2.5. Estimation des besoins en eau pour chaque catégorie de consommation

2.5.1. Besoins domestiques

Les tableaux suivants donnent les besoins domestiques.

Tableau 2-6: besoins domestiques de Douera pour chaque année

Année	Nombre d'habitant	Dotation moyenne [l/j.hab]	Consommation Domestique [m³/j]
2008	42496	150	6374,4
2019	91893	150	13783,95
2025	131571	150	19735,65
2040	145267	150	21790,05

2.5.2. Besoins des équipements divers

Dans notre étude, nous avons pris en considération tous les besoins en eau potable (scolaires, administratives, sanitaires, commerciales...etc.) de Douera. A partir des données de la société des eaux et d'assainissement d'Alger (SEAAL), nous avons considéré 30% de la consommation domestique comme consommation des équipements. Le tableau suivant donne le taux de consommation.

Tableau 2-7: besoins des équipements divers de Douera

Années	Consommation domestique [m³/j]	Consommation des équipements [m³/j]
2008	6374,4	1912,300
2019	13783,95	4135,185
2025	19735,65	5920,695
2040	21790,05	6536,975

2.6. Calcul de débit journalier moyen $Q_{j,moy}$

Le tableau suivant illustre le débit journalier moyen.

Tableau 2-8: débit journalier moyen $Q_{j,moy}$

Années	Population	Consommation domestique (m ³ /j)	Consommation des équipements (m ³ /j)	$Q_{j,moy}$ (m ³ /j)
2019	91893	13783,95	4135,185	17919,125
2025	131571	19735,65	5920,695	33814,17
2040	145267	21790,05	6536,975	28327,025

2.7. Consommation journalière maximale $Q_{j,max}$

Pendant l'année, la consommation du jour maximale est utilisée comme un élément de base dans les calculs de dimensionnement du réseau de distribution et d'adduction. Pour cela il nous permet de dimensionner toute la chaîne de distribution.

Ce débit est calculé comme suit [Bonvin, 2005]:

$$Q_{j,max} = K_{j,max} * Q_{j,moy}$$

avec, $Q_{j,max}$: débit journalier maximum en m³/j, $Q_{j,moy}$: débit journalier moyen en m³/j, $K_{j,max}$: coefficient d'irrégularité journalière maximale.

2.7.1. Coefficient d'irrégularité journalière maximale

L'irrégularité de la consommation horaire au cours de la journée, nous oblige à tenir compte de cette variation en déterminant le rapport [Dupont, 1988] :

$$K_{j,max} = Q_{j,max}/Q_{j,moy}$$

La valeur de $K_{j,max}$ varie entre 1,1 et 1,3, selon le climat et les activités estivales de l'agglomération.

Ce coefficient consiste à prévenir les fuites et les gaspillages et les erreurs statistiques, et nous permet de savoir combien de fois le débit journalier maximal dépasse le débit journalier moyen.

Pour cette étude on prend : $K_{j,max} = 1,2$

Tableau 2-9: débit journalier maximale $Q_{j,max}$

Années	$Q_{j,moy}$	$K_{j,max}$	$Q_{j,max}$
2019	17919,125	1,2	21502,95
2025	33814,17	1,2	40577,004
2040	28327,025	1,2	33992,43

2.7.2. Calcul des pertes

La société des eaux et d'assainissement d'Alger (SEAAL) a préparé une étude du rendement du réseau de la zone, qui a conclu à des pertes qui sont calculées par la relation suivante :

$$\text{Pertes} = \left(\frac{Q_{j,max}}{\eta} \right) - Q_{j,max}$$

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 2-10: les pertes pour différents rendement

Années	$Q_{j,max}$	Rendement $\eta(\%)$	Pertes
2019	21502,95	60	10256,347
2025	40577,004	70	9983,847
2040	33992,43	80	8497,847

2.8. Calcul du débit horaire maximal

Ce débit joue un rôle très important dans les différents calculs du réseau de distribution, il est déterminé par la relation suivante :

$$Q_{h,max} = (K_{h,max} * Q_{h,moy}) + \frac{\text{Perte}}{24}$$

Avec, $Q_{h,max}$: Débit horaire max en m^3/h , $Q_{h,moy}$: débit horaire moyen en m^3/h ,

$K_{h,max}$: coefficient d'irrégularité horaire maximale.

2.8.1. Coefficient d'irrégularité horaire maximale $K_{h,max}$

Ce coefficient représente l'augmentation de la consommation horaire dans la journée. C'est ce qu'on appelle le débit de pointe. Pour son calcul, on utilise la formule suivante [Dupont, 1988] :

$$K_{h,max} = \alpha_{max} * \beta_{max}$$

avec, α_{max} : coefficient qui tient compte du confort des équipements de l'agglomération et de régime du travail, égal 1,2, β_{max} : coefficient étroitement lié à l'accroissement de la population égale à 1,5

Donc : $K_{h,max}$ est égal à 1,8.

2.8.2. Débit horaire moyen $Q_{h,moy}$

Le débit horaire moyen est donné par la relation suivante [Bonvin, 2005]:

$$Q_{h,moy} = Q_{j,max}/24$$

Tels que, $Q_{h,moy}$: débit horaire moyen en m^3/h , $Q_{j,max}$: débit journalier maximum en m^3/j .

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau2-11: débit horaire moyen $Q_{h,moy}$

Années	$Q_{j,max}$	$Q_{h,moy}$	$K_{h,max}$	$Q_{h,max}$
2019	21502,950	895,951	1,8	1955,100
2025	40577,004	1282,811	1,8	2640,062
2040	33992,430	1416,351	1,8	2818,562

2.9. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les différentes caractéristiques de la zone d'étude et les conditions hydrauliques disponibles et aussi on a abordé une analyse sur le développement démographique de la zone d'étude où on a déterminé une population totale de 145267habitants à l'horizon 2040.

L'étude de variation de la consommation indique un débit maximal journalier d'une valeur de 33992,43 m^3 /j pour le même horizon (2040).

Ces besoins en eau ont été évalués à l'horizon actuel 2019 et futur 2040, ce qui nous permettra d'évaluer la capacité optimale des réservoirs d'eau et d'assurer une quantité d'eau suffisante.

Chapitre 3 : Choix et dimensionnement du réservoir

3. Choix et dimensionnement du réservoir

3.1. Introduction

Au cours de la même journée, le débit d'apport est uniforme alors que le débit de distribution est variable dans le temps, pour cela on utilise des réservoirs pour stoker le surplus d'eau pendant les heures de faible consommation et sa distribution durant les heures de pointes.

Le réservoir est un ouvrage hydraulique, où son alimentation se fait soit gravitairement soit par refoulement. Il est situé entre les ouvrages d'adduction et le réseau de distribution.

3.2. Rôles des réservoirs

3.2.1. Régulateur et accumulateur

Dans une agglomération, le débit refoulé par la station de pompage n'est pas dans tous les cas égal au débit consommé. Donc, un réservoir s'avère indispensable pour assurer la régulation entre le débit refoulé et celui consommé.

3.2.2. Augmentation des pressions

Il s'agit dans ce cas d'un réservoir d'équilibre. Il est placé à un point et à une altitude de telle sorte qu'il puisse assurer la pression nécessaire dans des points très éloignés.

3.2.3. Gain d'énergie au niveau de la station de pompage

Le réservoir permet de réduire les dépenses d'énergie (stockage la nuit et distribution gravitaire pendant les heures de pointe).

3.2.4. Utilité pour briser la charge

Si le terrain se trouve dans un relief accidenté, en certains points du réseau, on peut avoir des pressions non admissibles, un réservoir peut être utilisé pour briser la charge.

3.2.5. Stockage de la réserve d'incendie

On peut avoir deux cas :

Un réservoir à part qui emmagasine la réserve d'incendie ; ceci est rare dans la pratique du fait du coût de la réalisation de cette variante.

La réserve d'incendie est accumulée dans le réservoir d'accumulation.

3.3. Choix du type du réservoir

Pour des capacités réduites, les réservoirs sont, parfois, construits en tôle. Mais, d'une manière générale, les réservoirs sont construits en maçonnerie et surtout en béton armé ou en béton précontraint. Le choix se fait selon plusieurs facteurs :

- La topographie de la région a alimenté.

- Les conditions hydrauliques (capacité, pression,...),
- La facilité de l'exploitation,
- Les facteurs économiques.

Il existe Différentes classifications des réservoirs. Ils peuvent être classés de diverses façons selon les critères pris en considération :

3.3.1. Classification selon le matériau de construction

Cette classification est basée sur la nature des matériaux de construction des réservoirs

- Réservoir métalliques,
- Réservoir en maçonnerie,
- Réservoir en béton armé ou précontraint.

3.3.2. Classification selon la situation des lieux

Les réservoirs peuvent être classés selon leur position par rapport à la surface du sol :

- Réservoir enterré,
- Réservoir semi-enterré,
- Réservoir sur élevés ou sur tour.

3.3.3. Classification selon l'usage

Vu les nombreux usages des réservoirs on peut les classer en :

- réservoir principal d'accumulation et de stockage,
- Réservoir d'équilibre (réservoir tampon),
- Réservoir de traitement.

3.3.4. Classification selon la forme géométrique

Généralement on retrouve en pratique deux formes usuelles :

- Réservoir cylindrique,
- Réservoir rectangulaire ou carré,

Aussi, on trouve parfois des réservoirs à formes quelconques (sphérique, conique, ...).

3.4. Emplacement des réservoirs

L'emplacement du réservoir pose souvent problème. On doit toujours tenir compte des considérations suivantes :

- Pour des raisons d'économie, il est préférable que le remplissage du réservoir se fasse par gravité, ce qui implique de le placer à un niveau bas par rapport à la prise d'eau, mais ça n'est pas été vérifié pour cette étude où l'adduction se fait par refoulement,
- L'alimentation du réseau de distribution doit se faire par gravité, le réservoir doit être construit à un niveau supérieur à celui de l'agglomération, ça veut dire que la côte du radier doit être supérieure à la côte piézométrique maximale dans le réseau, ce qui est vérifié pour notre cas,
- La présence du relief à proximité d'une ville peut faciliter l'établissement du réservoir semi-enterré, qui sera toujours plus économique qu'un réservoir surélevé.

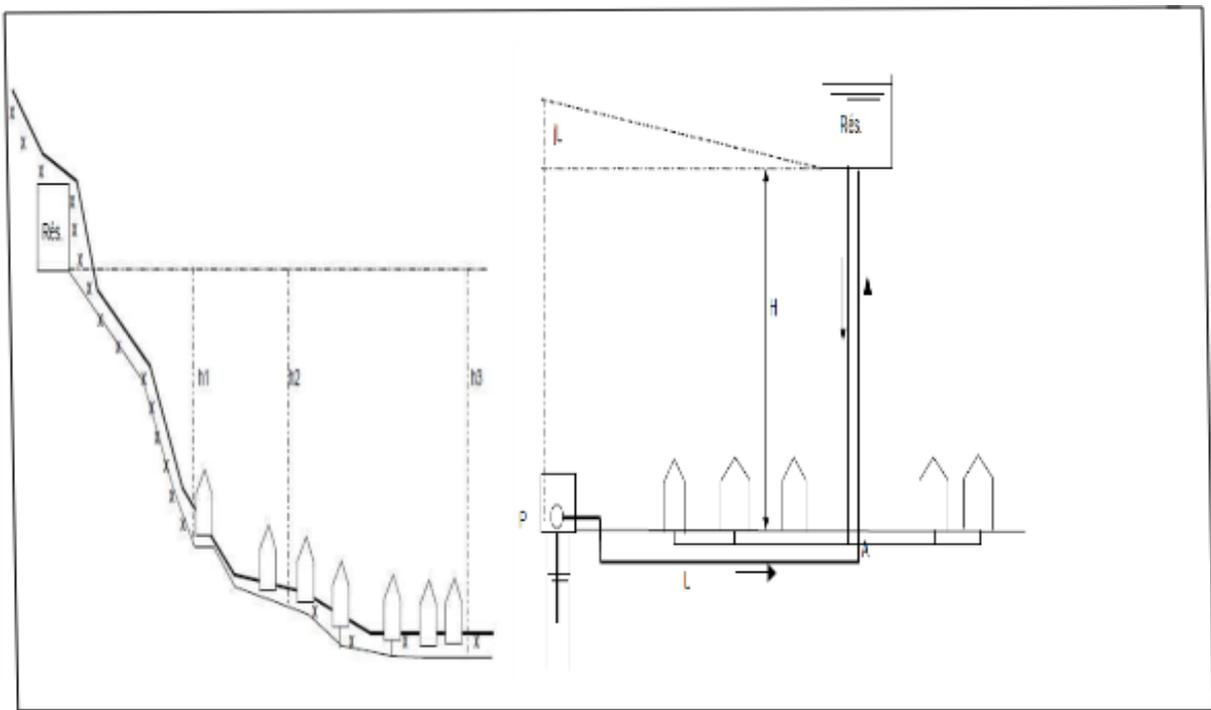


Figure 3.1: emplacement d'un réservoir (Dupont, 1979)

3.5. Capacité et dimensionnement du réservoir

La capacité du réservoir est déterminée à partir de deux méthodes, qui sont comme suit :

- Méthode analytique.
- Méthode graphique.

Remarque : avant de passer au choix de la capacité par l'une de ces deux méthodes ci-dessus, on doit d'abord résoudre le problème concernant les statistiques sur la consommation où on estime les variations de débits à l'entrée et à la sortie. Si on ne les a pas, on opte pour les coefficients du débit d'apport en fonction de la taille de l'agglomération. Les données sont fournies par le tableau ci-dessous.

Tableau 3-1: coefficients de variation de la consommation

Heure	Nombre d'habitants					
	(h)	Moins de 10000	10001 à 50000	50001 à 100000	Plus de 100000	Agglomération de type rural
00-01		1,00	1,50	3,30	3,35	0,75
01-02		1,00	1,50	3,50	3,25	0,75
02-03		1,00	1,50	2,50	3,30	1,00
03-04		1,00	1,50	2,60	3,20	1,00
04-05		2,00	2,50	3,50	3,25	3,00
05-06		3,00	3,50	4,10	3,40	5,50
06-07		5,00	4,50	4,50	3,85	5,50
07-08		6,50	5,50	4,90	4,45	5,50
08-09		6,50	6,25	4,90	5,20	3,50
09-10		5,50	6,25	4,60	5,05	3,50
10-11		4,50	6,25	4,80	4,85	6,00
11-12		5,50	6,25	4,70	4,60	8,50
12-13		7,00	5,00	4,40	4,60	8,50
13-14		7,00	5,00	4,10	4,55	6,00
14-15		5,50	5,50	4,20	4,75	5,00
15-16		4,50	6,00	4,40	4,70	5,00
16-17		5,00	6,00	4,30	4,65	3,50
17-18		6,50	5,50	4,10	4,35	3,50
18-19		6,50	5,00	4,50	4,40	6,00
19-20		5,00	4,50	4,50	4,30	6,00
20-21		4,50	4,00	4,60	4,30	6,00
21-22		3,00	3,00	4,90	3,75	3,00
22-23		2,00	2,00	4,70	3,75	2,00
23-24		1,00	1,00	3,30	3,70	1,00

Dans notre cas, la répartition variant entre 50001 à 100000 hab est adoptée car le nombre d'habitants de Douera est de 68432.

3.5.1. Méthode analytique

La méthode analytique consiste à calculer pour chaque heure de la journée, le résidu dans le réservoir afin de déterminer son volume qui sera :

$$V_r = Q_{j,max} * a/100$$

V_r : Capacité résiduelle (m^3), a : Fraction horaire du débit journalier maximum (%),

$Q_{j,max}$: Consommation journalière maximale (m^3/j),

Le volume total se détermine en ajoutant le volume d'incendie au volume de régulation :

$$V_t = V_r + V_{inc}$$

V_t : Capacité totale du réservoir (m^3), V_{inc} : Volume d'incendie estimé à $120 m^3$.

3.5.2. Méthode graphique

Cette méthode est basée sur le traçage des courbes de la consommation maximale journalière et celle caractérisant l'apport de la station de pompage; en additionnant en valeur absolue les écarts de deux extremums de la courbe de consommation par rapport à celle d'apport, on obtiendra le résidu maximal journalier

$$R_{max} = |V^-| + |V^+|(\%)$$

Avec , R_{max} : Résidu maximal dans le réservoir en (%).

Le volume de régulation V_r est calculé selon la formule suivante :

$$V_r = Q_{j,max} * \frac{R_{max}}{100} \quad (m^3)$$

Dont le volume total sera :

$$V_t = V_r + V_{inc}$$

3.6. Équipement hydraulique des réservoirs

Le réservoir comporte les équipements suivants :

- ✓ Une conduite d'arrivée,
- ✓ Une conduite de départ ou de distribution,
- ✓ Une conduite de trop plein,
- ✓ Une conduite de vidange,
- ✓ Un By-pass entre adduction et distribution.

3.6.1. Conduite d'arrivée

Cette conduite d'arrivée qui entre dans le réservoir provoque une oxygénation de l'eau, ce qui peut être favorable pour les eaux souterraines, ordinairement pauvre en oxygène dissous.

3.6.2. Conduite de départ (Réservoir)

Le départ de la conduite de distribution s'effectue de 0,15 m à 0,12 m au-dessus du radier, et doit être menée d'une crépine en vue d'éviter l'introduction des boues ou des sables qui peuvent se décanter dans la cuve.

Pour éviter la pénétration d'air en cas d'abaissement maximale du plein d'eau, on réservera un minimum de 0,5m au-dessus de la génératrice supérieure de la conduite.

3.6.3. Conduite de trop plein

La conduite du trop-plein a pour but d'évacuer le débit d'adduction arrivant au réservoir lorsque le niveau d'eau dans ce dernier atteint sa limite maximale, en cas de défaillance du système d'arrêt. La pompe ne comportera pas de robinet vanne sur son parcours elle débouchera à un exutoire

3.6.4. Conduite de vidange

Pour permettre le nettoyage du réservoir, il est nécessaire de vidanger par moyen d'une conduite débutant du point bas de radier afin de pouvoir évacuer les dépôts, elle se raccorde sur la canalisation du trop-plein et comporte un robinet- vanne.

3.6.5. By-pass entre adduction et distribution

Dans le cas d'un réservoir non compartimenté un By-pass sera placé pour relier la conduite d'adduction à celle de la distribution, afin d'isoler le réservoir en cas d'une vidange d'un nettoyage ou d'une réparation.

Ces équipements hydrauliques sont représentés dans la figure (3.2)

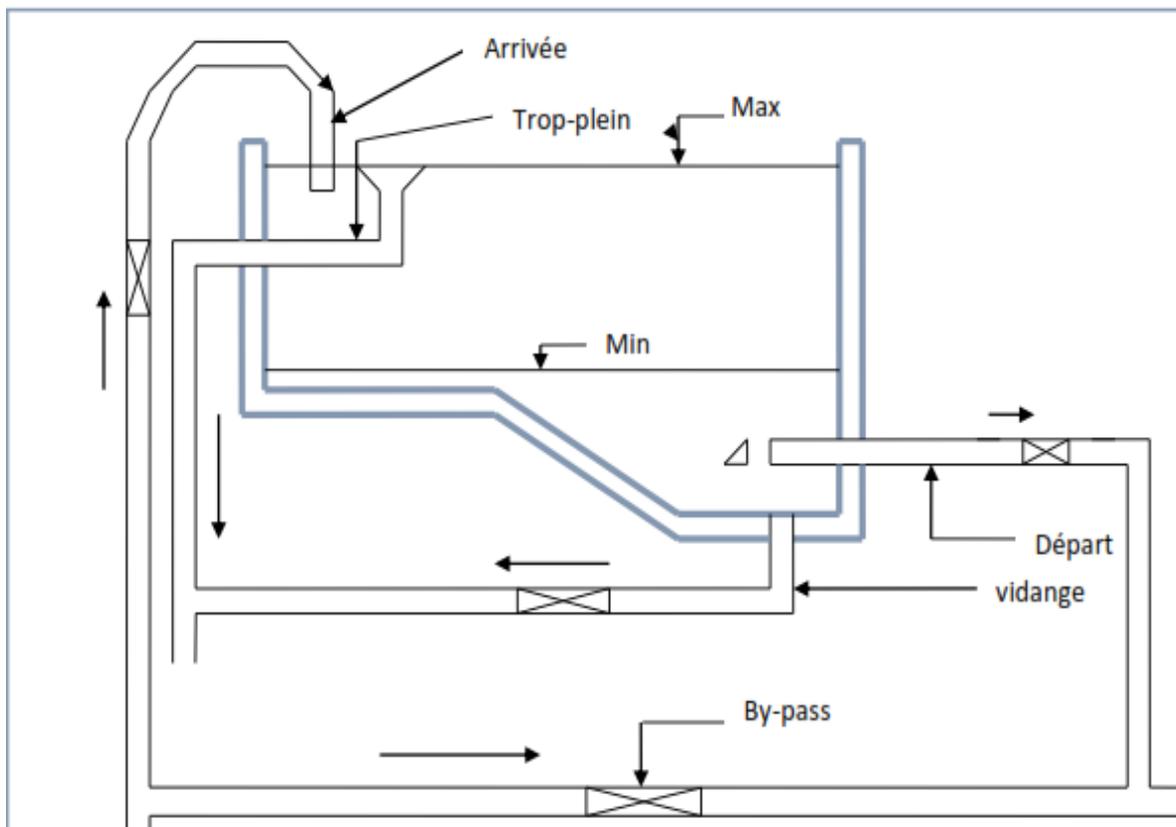


Figure3.2: schéma d'équipement des réservoirs

3.7. Dimensionnement des réservoirs de Douera

Avant de déterminer la capacité du réservoir, on va calculer le débit d'apport d'eau de la station de pompage

Le débit de la station de pompage c'est le débit de la consommation journalière maximale. Notre station fonction généralement 24 h/24h. Donc le débit horaire moyen de la station de pompage est :

$$Q_{h.ST} = Q_{j.max}/24$$

$$Q_{h.ST} = 33992,43/24 = 1416,35 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donc l'apport d'eau en (%) est :

$$Q_{ST} = Q_{h.ST} * 100/Q_{j.max} = 4,166 \% Q_{j.max}$$

Tableau3-2: détermination de la capacité du stockage à l'état actuel(2019)

Heure	Apport		Distribution		Surplus	Déficit	Résidus
	%	m ³ /h	(%)	m ³ /h	(%)	(%)	(%)
00-01	4,17	896,673	3,3	709,597	0,87		0,87
01 -02	4,17	896,673	3,5	752,603	0,67		1,54
02 -03	4,17	896,673	2,5	537,574	1,67		3,21
03 - 04	4,17	896,673	2,6	559,077	1,57		4,78
04 - 05	4,17	896,673	3,6	774,106	0,57		5,35
05 - 06	4,17	896,673	4,1	881,621	0,07		5,42
06 - 07	4,17	896,673	4,5	967,633		-0,33	5,09
07 - 08	4,17	896,673	4,9	1053,645		-0,73	4,36
08 - 09	4,17	896,673	4,9	1053,645		-0,73	3,63
09 - 10	4,17	896,673	4,6	989,136		-0,43	3,20
10 - 11	4,17	896,673	4,8	1032,142		-0,63	2,57
11 - 12	4,17	896,673	4,7	1010,639		-0,53	2,04
12 - 13	4,17	896,673	4,4	946,130		-0,23	1,81
13 - 14	4,17	896,673	4,1	881,621		0,07	1,88
14 - 15	4,17	896,673	4,2	903,124		-0,03	1,85
15 - 16	4,17	896,673	4,4	946,130		-0,23	1,62
16 - 17	4,16	894,523	4,3	924,627		-0,14	1,48
17 - 18	4,16	894,523	4,1	881,621	0,06		1,54
18 - 19	4,16	894,523	4,5	967,633		-0,34	1,20
19 - 20	4,16	894,523	4,5	967,633		-0,34	0,86
20 - 21	4,16	894,523	4,6	989,136		-0,44	0,42
21 - 22	4,16	894,523	4,9	1053,645		-0,74	-0,32
22 - 23	4,16	894,523	4,7	1010,639		-0,54	-0,86
23 - 24	4,16	894,523	3,3	709,597	0,86		0,00
Total	100	21502,95	100	21502,950	-	-	-

$$R_{max} = /\Delta V^+ / + / \Delta V^- / = 6,28 \%$$

Le débit qui assure l'alimentation de DOUERA a ce horizon est égale à $Q_{Jmax} = 21502,95 \text{ m}^3/\text{j}$

Le volume de régulation du réservoir de Douera :

$$V_r = \frac{6,28 * 21502,95}{100}$$

$$V_r = 1350,38 \text{ m}^3$$

Le volume total du réservoir sera : $V_t = 1350,38 + 120 = 1470,38 \text{ m}^3$

Après la normalisation du volume totale du réservoir, on a trouvé que la capacité du stockage nécessaire actuellement est de 1500 m^3 .

Tableau 3-3: détermination de la capacité du stockage à l'état futur (2040)

Heure	Apport		Distribution		Surplus	Déficit	Résidus
	%	m ³ /h	(%)	m ³ /h	(%)	(%)	(%)
00-01	4,17	1417,484	3,3	1121,750	0,87		0,87
01 - 02	4,17	1417,484	3,5	1189,735	0,67		1,54
02 - 03	4,17	1417,484	2,5	849,812	1,67		3,21
03 - 04	4,17	1417,484	2,6	883,803	1,57		4,78
04 - 05	4,17	1417,484	3,6	1223,727	0,57		5,35
05 - 06	4,17	1417,484	4,1	1393,690	0,07		5,42
06 - 07	4,17	1417,484	4,5	1529,659		-0,33	5,09
07 - 08	4,17	1417,484	4,9	1665,629		-0,73	4,36
08 - 09	4,17	1417,484	4,9	1665,629		-0,73	3,63
09 - 10	4,17	1417,484	4,6	1563,652		-0,43	3,2
10 - 11	4,17	1417,484	4,8	1631,637		-0,63	2,57
11 - 12	4,17	1417,484	4,7	1597,644		-0,53	2,04
12 - 13	4,17	1417,484	4,4	1495,667		-0,23	1,81
13 - 14	4,17	1417,484	4,1	1393,690		0,07	1,88
14 - 15	4,17	1417,484	4,2	1427,682		-0,03	1,85
15 - 16	4,17	1417,484	4,4	1495,667		-0,23	1,62
16 - 17	4,16	1414,085	4,3	1461,674		-0,14	1,48
17 - 18	4,16	1414,085	4,1	1393,690	0,06		1,54
18 - 19	4,16	1414,085	4,5	1529,659		-0,34	1,2
19 - 20	4,16	1414,085	4,5	1529,659		-0,34	0,86
20 - 21	4,16	1414,085	4,6	1563,652		-0,44	0,42
21 - 22	4,16	1414,085	4,9	1665,629		-0,74	-0,32
22 - 23	4,16	1414,085	4,7	1597,644		-0,54	-0,86
23 - 24	4,16	1414,085	3,3	1121,750	0,86		0
Total	100%	33992,430	100%	33992,43	-	-	-

Le débit de l'alimentation de Douera à l'horizon 2040 est égal à $Q_{Jmax} = 33992,43 \text{ m}^3/\text{j}$

Le volume de régulation du réservoir de Douera est :

$$V_r = \frac{6,28 * 33992,43}{100}$$

$$V_r = 2131,33 \text{ m}^3$$

Le volume total du réservoir sera : $V_t = 2131,33 + 120 = 2251,33\text{m}^3$

Après la normalisation du volume totale du réservoir on a trouvé que la capacité du stockage nécessaire à l'horizon 2040 est de 2500 m^3 .

3.8. Conclusion

Selon nos calculs le volume de stockage est de $2251,33\text{m}^3$ qui est plus petit que la capacité des réservoirs existants de 1500m^3 plus $2*5000 \text{ m}^3$ qui va combler le déficit. D'où ,il n'est pas nécessaire de projeter de nouveaux réservoirs.

Chapitre 4 :
Adduction de la
commune de
Douera

4. Adduction de la commune de Douera

4.1. Introduction

Les adductions sont nécessaires pour assurer le transport de l'eau entre le point de captage et le point d'accumulation. Dans la pratique ces points sont relativement éloignés l'un de l'autre. Parfois ils peuvent se trouver à des distances considérables. Les ouvrages d'adduction sont généralement de différentes dimensions. Nous devons examiner toutes les conditions dans lesquelles devra être établie notre canalisation, tout d'abord du point de vue technique puis économique. Etant donné que les deux aspects sont liés entre eux, l'étude nous permettra de choisir la meilleure solution

4.2. Type d'adduction

D'après leur fonctionnement, les adductions peuvent être classées en trois groupes :

- ✓ Adduction gravitaire,
- ✓ Adduction par refoulement,
- ✓ Adduction mixte.

4.2.1. Adduction gravitaire

C'est une adduction où l'écoulement se fait gravitairement. On rencontre ce type d'adduction dans le cas où la source se situe à une côte supérieure à la côte piézométrique de l'ouvrage d'arrivée. Il existe deux types d'adductions gravitaires

- ✓ surface libre.
- ✓ En charge.

4.2.2. Adduction par refoulement

C'est une adduction où l'écoulement se fait sous pression à l'aide des machines hydroélectriques. On rencontre ce type d'adduction dans le cas où la source se situe à une côte inférieure à la côte piézométrique de l'ouvrage d'arrivée.

4.2.3. Adduction mixte

C'est une adduction où la conduite par refoulement se transforme en conduite gravitaire ou l'inverse. Le relais entre les deux types de conduite est assuré par un réservoir appelé réservoir tampon.

4.3. Choix de la trace des adductions

Le choix du tracé des conduites d'adductions doit tenir compte de certains impératifs que l'on se forcera dans la mesure du possible de respecter. Le tracé doit être le plus court

possible entre les forages et le réservoir d'accumulation aux points hauts du tracé, peuvent se présenter des bulles d'air difficile à évacuer où des ventouses seront exigées ainsi apparaît la nécessité d'éviter autant que possible les contrepenes.

Il serait préférable de suivre les accotements des routes pour faciliter leurs poses et leurs exploitations (détection des fuites.....) ainsi un accès rapide pour leurs entretiens et l'acheminement des matériaux.

L'examen des conditions dans lesquelles seront établies ces canalisations, aussi bien au point de vue technico-économique.

4.4. Choix des matériaux

Le choix du type de matériau pour l'établissement des conduites dépend essentiellement de leurs aspects techniques et économiques .Le choix porté sur les différentes conduites se fait en fonction :

- ✓ Du diamètre,
- ✓ Des pressions supportées,
- ✓ Des conditions d'installation,
- ✓ Des revêtements,
- ✓ Du prix unitaire,
- ✓ Du type de sol.

Dans ce projet, nous avons opté pour les conduites en **PEHD** et cela en raison des avantages qu'il présente :

- ✓ Disponibilité sur le marché ; production locale(PEHD),
- ✓ Permet une pose simple et adéquate (poids faible) (PEHD),
- ✓ Résistant à des grandes pressions (> à 20 bars),
- ✓ Réduction des pièces spéciales en assemblage,
- ✓ Adaptation aux terrains accidentés(PEHD).
- ✓ Une très faible rugosité (conduite lisse, notamment le PEHD).
- ✓ L'assemblage des tuyaux se fait par :
 - Le soudage bout à bout, c'est une technique d'assemblage des thermoplastiques par la fusion des extrémités de deux éléments tubulaires au moyen d'une plaque chauffante (pour les conduites en PEHD),

- Les accessoires comme les coudes et les vannes, (pour les conduites en Fonte).

4.5. Le tracé de la conduite

La vue en plan de la conduite et le profil de dénivélé sont représentés sur la figure (1.7)

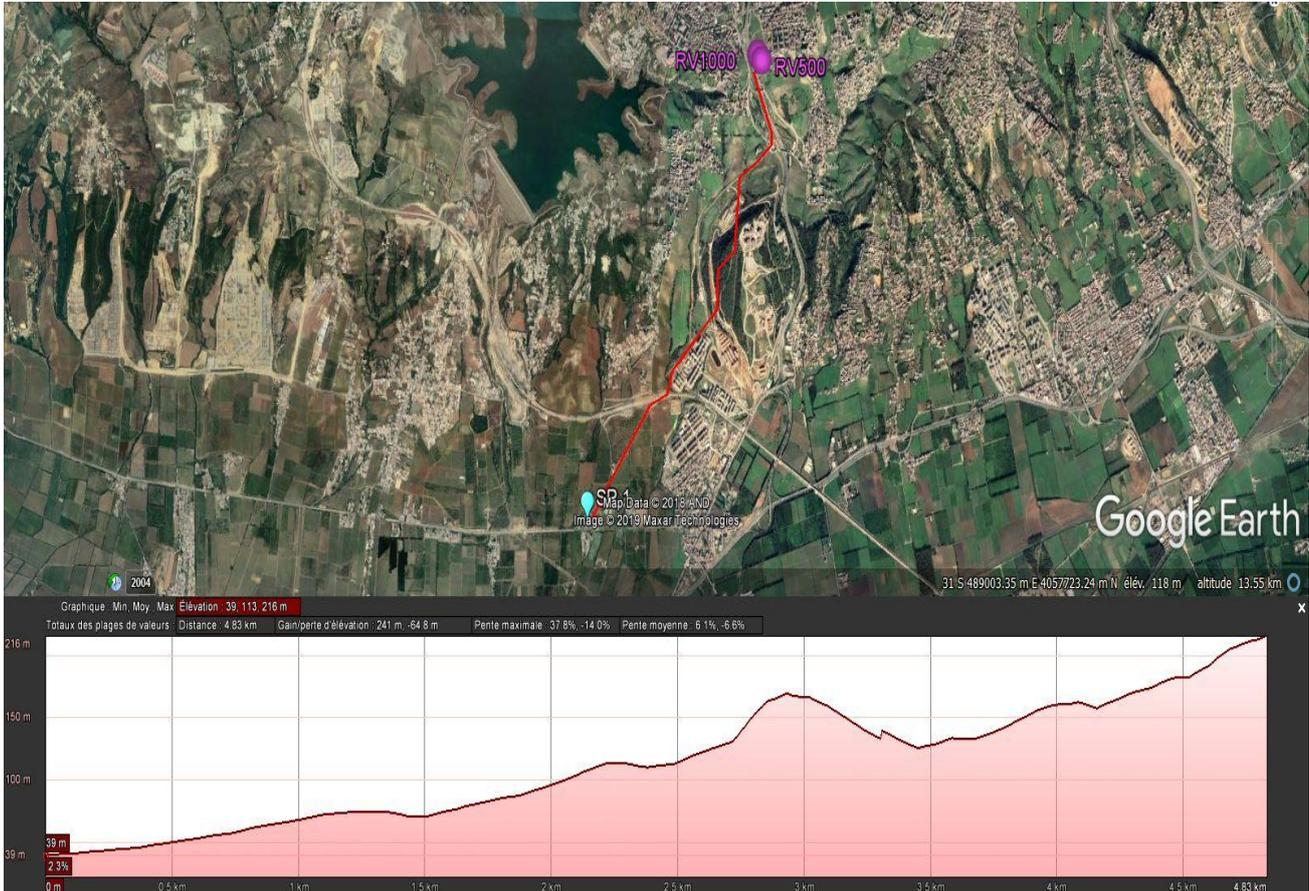


Figure 4. 1:représentation de la conduite de refoulement en vue plan

4.6. Schéma hydraulique

Le schéma hydraulique du présent projet est donné dans la figure (4.2), le système d'adduction retenu est constitué d'un tronçon de refoulement. L'eau sera pompée par SP1 jusqu'à l'étage 1000 de Douera qui comporte les deux réservoirs tampon de 500 m³ situé à une cote de 233,5 m et réservoir de 1000 m³ situé à cote 232,5 m.

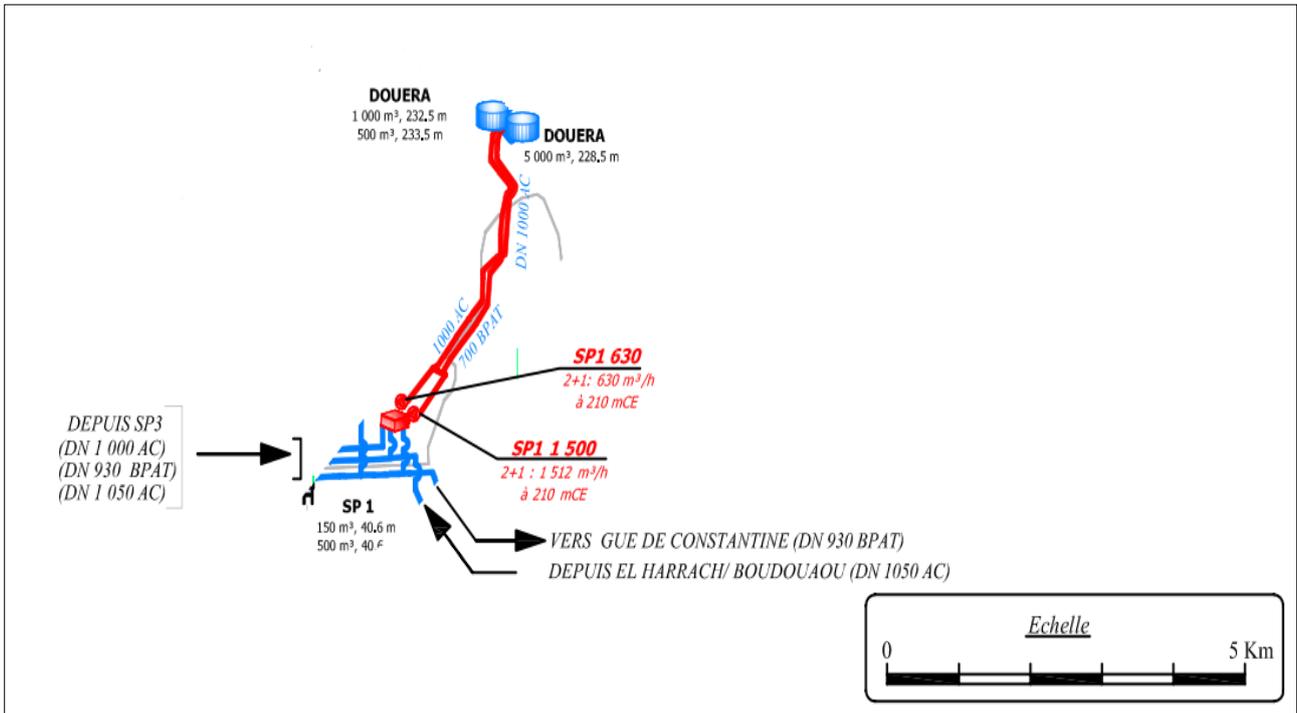


Figure 4. 2: schéma hydraulique d'adduction de Douera

4.7. Dimensionnement des conduites d'adduction

4.7.1. Calcul du diamètre économique

Pour dimensionner les conduites d'adduction, on utilise les formules de Bonnin et Bress. Ces formules permettent de déterminer le diamètre uniquement en fonction du débit :

$$\text{Bonnin : } D_{N1} = \sqrt{Q}$$

$$\text{Bress : } D_{N2} = 1,5\sqrt{Q}$$

Avec, D: Diamètre économique en m, Q: Débit transitant dans la conduite en m³/s.

On étudiera tous les diamètres commercialisés compris entre D_{N1} et D_{N2} mais, notre choix final se portera sur le diamètre pour lequel le cout sera minimal et la vitesse d'écoulement sera comprise entre (0,5 – 1,5) m/s.

4.7.2. Les paramètres hydrauliques

4.7.2.1. Pertes de charge linéaire

On calcule les pertes de charge linéaires par la formule suivante [Dupont, 1980]:

$$\Delta H = \frac{\lambda * L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Avec, ΔH : Perte de charge linéaire, V : Vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans la conduite (m/s), g : Accélération de la pesanteur ($g= 9,81 \text{ m/s}^2$), D : Diamètre intérieur de la conduite en (m), L : Longueur équivalente de la conduite d'adduction en mètre (m).

Pour le calcul du coefficient universel λ de perte de charge on utilise la formule de Colebrook –White (Carlier,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{2,51}{\text{Re} * \sqrt{\lambda}}\right)$$

Où,

ε : rugosité absolue de la conduite, pour le PEHD, $\varepsilon = 0,1 \text{ mm}$,

D diamètre de la conduite,

Re : Nombre de Reynolds donné par : $\text{Re} = \frac{vd}{\nu}$

ν : viscosité cinématique de l'eau $\nu=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à une température de 20°C

4.7.2.2. pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières sont occasionnées par les vannes, robinets, ventouses, changement de direction, ou de section. Généralement sont estimées à :

❖ 10 % des pertes de charge linéaires pour le PEHD :

$$\Delta H_S = 10\% * \Delta H_L$$

❖ 15 % des pertes de charge linéaire pour l'Acier :

$$\Delta H_S = 15\% * \Delta H_L$$

Dans notre cas, nous avons des conduites en PEHD, alors on prend $10\% \Delta H_L$

Par la suite, la perte de charge totale sera donnée comme suit :

$$\Delta H_T = \Delta H_S + \Delta H_L = 1,10 * \Delta H_L$$

avec, ΔH_T : Perte de charge totale (m), ΔH_L : Perte de charge linéaire (m), ΔH_S : Perte de charge singulière (m).

4.7.3. Hauteur manométrique totale (Hmt)

La hauteur manométrique est donnée par la formule suivante :

$$\text{Hmt} = H_g + \Delta H_T + \Delta H_{\text{asp}}$$

ΔH_T : Perte de charge totale

H_g : Hauteur géométrique qui correspond à la différence de niveau entre le trop plein du réservoir et le niveau dynamique du plan d'eau de pompage et ΔH_{asp} : perte de charge coté aspiration est estimé à $0,5\text{m}$

4.7.4. Puissance absorbée par la pompe

La puissance absorbée par une pompe est donnée par : $P_{abs} = \frac{\rho g H Q}{\eta}$

Où, P_{abs} : puissance en KW, η : rendement de la pompe (pour les pompes que l'on utilise le rendement est égal à $\eta = 80\%$), H_{mt} : hauteur manométrique totale (m), Q : débit refoulé (m^3/s).

4.7.5. Énergie consommée par la pompe

L'énergie consommée par la pompe est donnée par :

$$E = P_e * T * 365 \text{ (Kwh/an)}$$

Avec, T : temps de fonctionnement des pompes = 24 heures/24, P_e : Puissance consommée en Kw.

4.7.6. Frais d'exploitation

Les frais d'exploitation sont donnés par l'expression ci-dessous :

$$F_{ex} = E * e$$

avec, e : tarif de l'énergie, d'après « Sonelgaz » $e = 5,4$ (DA/Kwh), E : énergie consommée Kw/h /an.

4.7.7. Frais d'amortissement

Les frais d'amortissement sont constitués du prix de revient de la conduite depuis la fourniture jusqu'à la pose. Dans notre cas, nous supposons que les frais seront amortis dans une période de 22 ans (durée d'exploitation) ce qui nous conduit au calcul de l'annuité "A". L'annuité d'amortissement est déterminée par la relation :

$$A = \frac{i}{(i + 1)^n - 1} + i$$

Avec, i : taux d'actualisation de la conduite fixé à 10 %, n : nombre d'années d'amortissement $n = 22$ ans et $A = 0,098$

4.7.8. Bilan global

Le bilan sera calculé par la formule suivante : $B_g = F_{exp} + F_{am}$

4.8. Dimensionnement des conduites d'adduction

4.8.1. Tronçon SP1-R (par refoulement)

Les caractéristiques de la conduite :

- ✓ La longueur de la conduite : $L = 4690$ m

- ✓ Le débit d'écoulement : $Q = 33992,43 \text{ m}^3/\text{j} = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$
- ✓ La hauteur géométrique : $H_g = 189,5 \text{ m}$

4.8.2. Calcul du diamètre économique

L'intervalle des diamètres est donné par :

$$D_{\text{BONNIN}} = \sqrt{Q} = \sqrt{0,39} = 0,624 \text{ m}$$

$$D_{\text{BRESS}} = 1,5\sqrt{Q} = 1,5\sqrt{0,39} = 0,936 \text{ m}$$

Diamètres normalisés choisis sont : **630mm, 710mm, 800 mm, 900mm** (Annexe 1)

Les résultats de calcul sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 4-1: calcul de la hauteur manométrique totale (Hmt)

D (mm)	S (m ²)	V (m/s)	Re	Λ	ΔH _L (m)	ΔH _T (m)	H _g (m)	HMT (m)
630	0,3115665	1,252	788595,69	0,01213	7,214	7,935	189,5	197,935
710	0,3957185	0,986	699739,84	0,01239	4,052	4,457	189,5	194,457
800	0,5024	0,776	621019,11	0,01266	2,279	2,507	189,5	192,507
900	0,63585	0,613	552016,98	0,01293	1,291	1,421	189,5	191,421

4.8.3. Calcul des frais d'exploitation

Les frais d'exploitation sont donnés dans le tableau 4-2.

Tableau 4-2: calcul des frais d'exploitation

D (mm)	P (kw)	E (kwh)	e (Da/kwh)	F _{exp} (DA)
630	946,5988	8292205,49	5,4	44777909
710	929,967234	8146512,97	5,4	43991170
800	920,638798	8064795,87	5,4	43549897
900	915,445138	8019299,41	5,4	43304216

4.8.4. Frais d'amortissement

Les frais d'amortissement sont donnés dans le tableau 4-3.

Tableau 4-3: calcul des frais d'amortissement

D (mm)	L(m)	Prix unitaire (Da/ml)	Prix total (DA)	Annuité	Frais d'amortissement (DA)
630	4690	63950,00	299925500	0,098	29392699
710	4690	68346,00	320542740	0,098	31413188
800	4690	72120,00	338242800	0,098	33147794
900	4690	95381,00	447336890	0,098	43839015

4.8.5. Bilan global des frais (coût d'investissement)

Le bilan global des frais est donné dans le tableau 4-4

Tableau 4-4: calcul du bilan global

D (mm)	L(m)	F. Exploitation (Da)	F.d'amortissement (Da)	TOTAL (Da)
630	4690	44777909	29392699	74170608
710	4690	43991170	31413188	75404358
800	4690	43549897	33147794	76697692
900	4690	43304216	43839015	87143232

4.9. Conclusion

D'après le calcul précédent, on constate que le diamètre technico-économique de la conduite d'adduction est Ø 630 mm. Ce diamètre donne des conditions de fonctionnement favorable ($v=1,252$ m/s) avec des frais totaux d'investissement les plus économiques.

Chapitre 5 : Station de pompage

5. Station de pompage

5.1. Introduction

Le pompage de l'eau est apparu comme une nécessité depuis l'antiquité. Dans un projet de transport et de distribution d'eau, il est souvent nécessaire de recourir à des systèmes de pompage lorsque le terrain ne permet pas un écoulement naturel par gravitation ou dans le cas où la dénivelée disponible n'aboutit pas au débit souhaité.

5.2. Types de pompes

Une pompe est une machine transférant de l'énergie mécanique à un liquide de façon à provoquer son écoulement dans une canalisation. Suivant le mode de transfert de l'énergie, on distingue deux grandes classes de pompes [Alonso, 2004] :

- Les pompes centrifuges ou turbopompes : dans une pompe centrifuge, l'énergie transmise au liquide est essentiellement de l'énergie cinétique, par l'intermédiaire d'un rotor.
- Les pompes volumétriques : dans une pompe volumétrique, l'écoulement du liquide est provoqué par la variation ou le déplacement d'une capacité, c'est -à-dire d'un volume dans lequel se loge le liquide.

Les pompes les plus utilisées sont les pompes centrifuges, vu qu'elles permettent un refoulement des débits importants et des hauteurs considérables, et qu'elles constituent des groupes légers peu coûteux et présentent un bon rendement.

5.3. Caractéristiques hydrauliques des pompes centrifuges

5.3.1. Hauteur manométrique (Hmt)

C'est la somme de la hauteur géométrique et des pertes de charge à l'aspiration et au refoulement, elle est donnée comme suit :

$$H_{mt} = H_g + J_{asp} + J_{ref}$$

avec, J_{asp} : pertes de charge à l'aspiration en (m) et J_{ref} : pertes de charge au refoulement en (m).

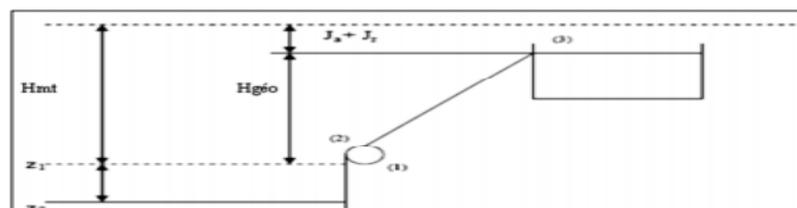


Figure 5. 1: profil piézométrique du refoulement

5.3.2. Le débit (Q)

Le débit fourni par une pompe centrifuge est le volume refoulé pendant l'unité de temps, il s'exprime en l/s.

5.3.3. La vitesse de rotation (N)

La vitesse de rotation (N) représente le nombre de tours effectués par la pompe par unité de temps, l'unité de mesure utilisée est le tour par minute (tr/min).

5.3.4. Les puissances

a) La puissance absorbée par la pompe (Pa)

Elle est exprimée par la puissance mécanique absorbée au niveau de l'arbre de la pompe en (KW). Son expression est :

$$P = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

b) La puissance hydraulique ou la puissance utile (Pu)

Elle traduit la puissance transmise au fluide par la pompe, elle est donnée par :

$$P_u = Q * H_{mt} * g$$

5.3.5. Le rendement (η)

C'est le rapport entre la puissance utile P_u et la puissance absorbée par la pompe P_a :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

5.4. Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge

Les courbes principales qui caractérisent une pompe et qui expriment ses performances, sont, pour une vitesse rotation donnée, au nombre de trois (03).

5.4.1. La courbe débit-hauteur

La courbe $H = f(Q)$ représente une parabole qui exprime les variations de la différence hauteur de relèvement en fonction du débit, (figure 5.2).

5.4.2. La courbe du rendement

La courbe $\eta = f(Q)$ représente une parabole qui passe par l'origine puisque pour $Q = 0$ le rendement est nul, puis par un maximum pour une certaine valeur de débit, (figure 5.2).

5.4.3. La courbe de puissance absorbée

La courbe de $P=f(Q)$ représente une parabole qui exprime les variations de puissance en fonction du débit, (figure 5.2).

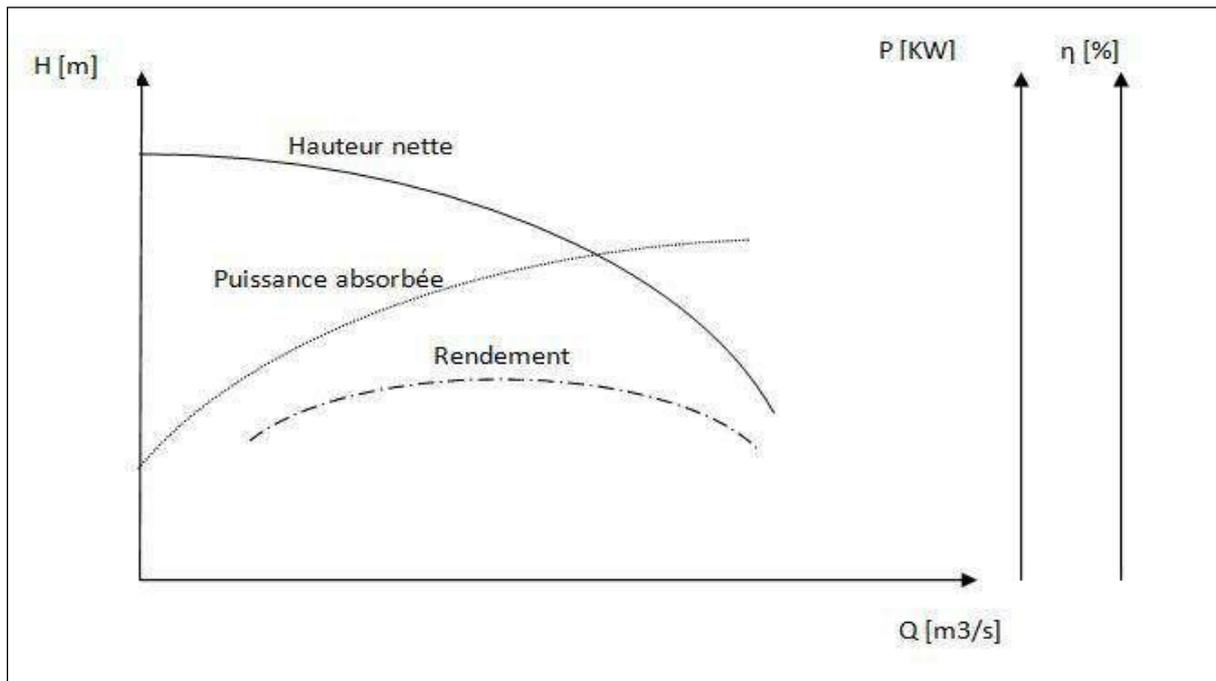


Figure 5.2: courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge

5.5. Point de fonctionnement d'une pompe centrifuge

Le point de fonctionnement du système pompe-conduite est déterminé par comparaison des deux courbes caractéristiques suivantes :

- La courbe caractéristique hauteur-débit de la pompe considérée.
- La courbe caractéristique de la conduite reliée à la pompe.

L'intersection de ces deux courbes caractéristiques représente alors le point de fonctionnement du système en question.

La courbe caractéristique de la conduite reliée à la pompe est déterminée par la représentation de la charge totale H en fonction du débit Q . Elle est donnée par la formule suivante :

$$H = H_g + RQ^2$$

avec, H : charge totale [m] ; H_g : hauteur géométrique [m], R : résistance de la conduite [s^2/m], RQ^2 : Perte de charge au point considéré (m)

$$R = 1,1 \frac{8 * \lambda * L}{\pi^2 * D^5 * g}$$

avec, L : Longueur de la conduite, λ : coefficient de frottement de Darcy, D : diamètre de la conduite et g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Le point de fonctionnement du système pompe-conduite est illustré par la figure 5.3.

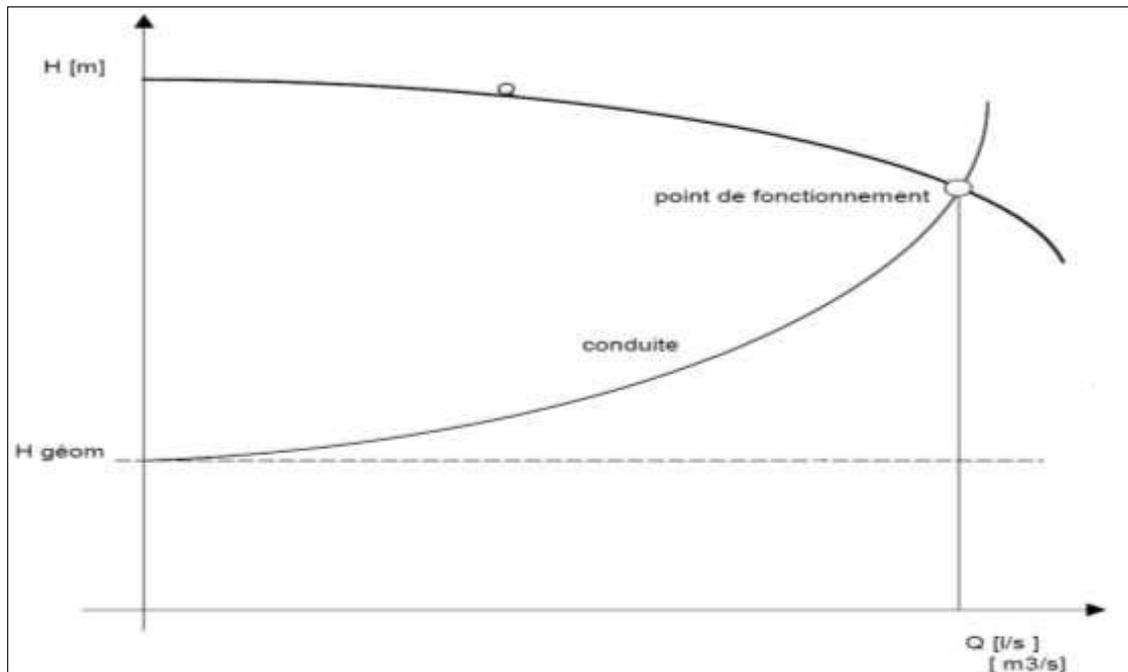


Figure 5. 3: point de fonctionnement

Dans le cas où le point de fonctionnement ne coïncide pas avec le point désiré, on sera dans l'obligation d'apporter quelques modifications afin d'adapter la pompe aux conditions de travail désirées.

5.6. Étude de cavitation

La cavitation est la vaporisation du liquide contenu dans la pompe quand il est soumis à une pression inférieure à la tension de vapeur correspondante à sa température. Ce phénomène se produit à l'orifice d'aspiration de la pompe ; des bulles apparaissent dans les zones où la pression est la plus faible (entrée des aubes de roue des pompes centrifuges), elles sont transportées dans les zones de pressions plus fortes où se produit leur condensation. Des implosions se produisent alors à des fréquences élevées et créent des surpressions locales très élevées (jusqu'à des centaines de bars).

La cavitation est un phénomène à éviter absolument, car elle entraîne de graves conséquences :

- Erosion du matériau des aubes de turbine des pompes centrifuges ;
- Augmentation du bruit et des vibrations générés par la pompe;
- Chutes des performances des pompes avec diminution importante de la Hmt, du débit et du rendement.

Pour qu'une pompe fonctionne normalement sans cavitation, il faut vérifier la condition suivante :

$$(NPSH)_d > (NPSH)_r$$

- Pour l'alimentation en charge, on a :

$$(NPSH)_d = \frac{P}{\rho g} + H_a - (J_a + T_V)$$

- Pour l'alimentation en dépression, on a :

$$(NPSH)_d = \frac{P}{\rho g} - H_a - (J_a + T_V)$$

Avec, $P_0/\rho g$: pression atmosphérique [m.CE], H_a : Hauteur d'aspiration en [m], J_a : perte de charge à l'aspiration en [m.CE], T_V : pression de vapeur maximale que l'air peut supporter à une température donnée. Dans notre étude, on prend $T= 20$ °C.

Tableau 5-1: tension de vapeur d'eau pompée en fonction de la température

T(C°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T_V (m)	0,06	0,13	0,24	0,43	0,75	1,25	2,03	3,17	4,82	7,14	10,33

5.6.1. Vérification de la condition de non cavitation pour les pompes choisies

Les hypothèses de calcul de NPSH sont présentées comme suite :

- La pression atmosphérique est calculée par la formule suivante :

$$\frac{P_0}{\rho g} = 10,33 - 0,0012A$$

avec, A : altitude [m] ;

Les pompes étant placées à 2 m en dessous du terrain naturel, et en prenant 0,5 m comme niveau minimum d'eau on aura une hauteur d'aspiration de 3 m pour chacune des pompes ($H_a= 3$ m)

5.7. Choix de pompe

Pour le choix des pompes à installer sur les différents points de refoulement, nous utiliserons le logiciel « CAPRARI PUMP TUTOR » qui contient une mine d'information sur les pompes au lieu des catalogues car il est plus pratique, il suffit d'introduire les caractéristiques requises de la pompe et on obtient les caractéristiques de la pompe, du moteur et le point de fonctionnement.

5.7.1. Réseau SP1-R

Les données nécessaires pour le choix de la pompe sont :

- ✓ Le débit : $Q = 390$ l/s,
- ✓ La hauteur manométrique : $H_{mt} = 197,94$ m,
- ✓ La hauteur géométrique : $H_g = 189,5$ m.

CAPRARI PUMP TUTOR nous a donné 5 pompes identiques en parallèles de type PM 125/2A centrifuge multicellulaire à axe horizontal avec une pompe de secours (les détails sont donnés dans l'annexe 2) dont les caractéristiques de chaque pompe sont :

$Q = 78 \text{ l/s}$, $\eta = 76,2\%$, $\text{Hmt} = 198 \text{ m}$,
 $\text{Pa} = 200 \text{ KW}$, $N = 2900 \text{ tr/min}$ ($\text{NPSH})_r = 7,37 \text{ m}$

Les courbes caractéristiques de la pompe sont représentées dans la figure (5.4).

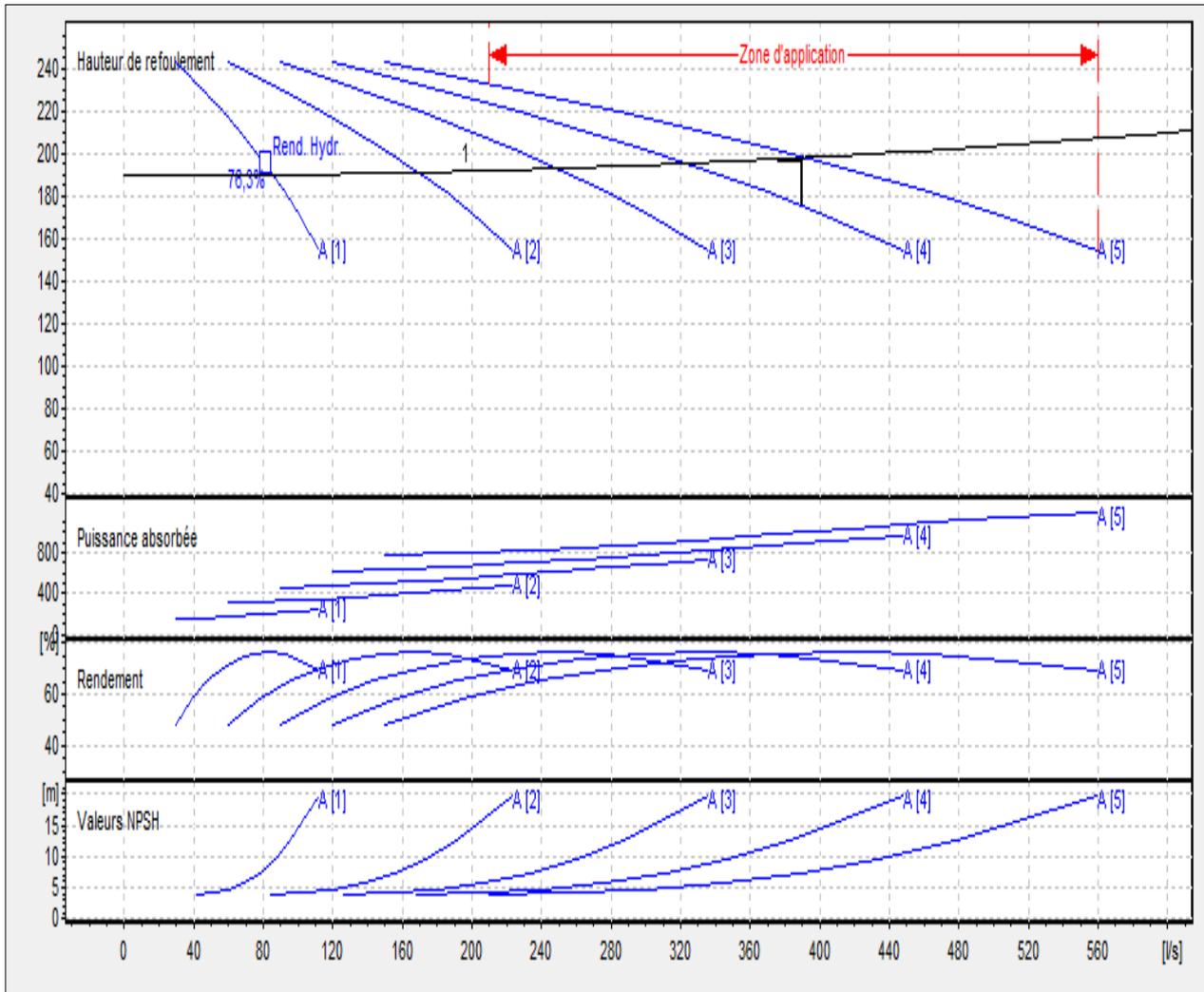


Figure 5. 4: courbe caractéristique des pompes

- Point de fonctionnement : (390 l/s ,198 m)
- Point désiré (390 l/s, 197,93m)

D'après la courbe d'installation le point de fonctionnement donné correspond à celui désiré.

5.7.2. Vérification de la cavitation

Pour éviter le risque de cavitation, le NPSH disponible du circuit doit être supérieur au NPSH requis de la pompe.

$$(NPSH)_d = \frac{P}{\rho g} + H_a - (J_a + T_v) \longrightarrow (NPSH)_d = 10,28 + 3 - (0,003 + 0,238)$$

$$(NPSH)_d = 13,04 \text{ m}$$

$$(NPSH)_r = 7,37 \text{ m}$$

$NPSH_d > NPSH_r \longrightarrow$ d'où la pompe ne Cavite pas

Au cours de ce chapitre, nous avons choisi des pompes donnant le meilleur rendement et assurant un bon fonctionnement de pompage. Nous avons aussi opté pour des pompes identiques en parallèles de type centrifuges multicellulaires à axe horizontal pour station SP1, et nous avons achevé par une vérification de la cavitation des pompes.

5.8. Protection des conduites contre le coup de bélier

5.8.1. Phénomène de coup de bélier

Supposons une canalisation fonctionnant en régime permanent et comportant en un point une vanne. La fermeture ou l'ouverture de cette vanne va provoquer en un point quelconque de la canalisation une variation de la pression et de la vitesse en fonction de temps, c'est-à-dire qu'un régime se substitue régime permanent initial. Les surpressions ou dépressions peuvent atteindre des grandeurs assez considérables si la manœuvre de la vanne est suffisamment rapide il peut résulter de ces chocs les accidents de rupture de la canalisation. Ces phénomènes son connue sous le nom de coup de bélier.

5.8.2. Conséquences du coup de bélier

Les effets qui peuvent provoquer le phénomène sont :

- Rupture des canalisations soit par :
- Ecrasement : suite à une forte dépression.
- Eclatement : suite à une forte surpression.
- Déboîtement de la conduite et bruit désagréable.

Nous admettons un comportement élastique de la conduite et une compressibilité de l'eau, quatre phases sont envisageables.

1^{ère} phase: (Figure 5-b)

L'eau poursuit son ascension, mais la conduite n'est plus alimentée, il va donc se produire à partir de la pompe une dépression de tranche en tranche ; l'eau se déprime et la conduite se

contracte successivement par diminution élastique de son diamètre. L'onde de dépression se propage jusqu'au réservoir à une vitesse ou célérité (**a**). Si la distance entre la pompe et le réservoir est **L**, le temps mis par cette onde pour arriver au réservoir est **L/a**.

Au bout de ce temps la conduite est totalement en dépression et l'eau est immobile. (Figure :5-b)

2^{ème} Phase : (Figure 5-c)

La conduite étant déformée dans les limites élastiques ; elle reprend son diamètre primitif, à partir du réservoir les tranches successives de conduite se décontractent si bien que l'eau peut redescendre dans la conduite et au bout du temps (**L/a**) (c'est-à-dire $t=2L/a$ depuis l'origine), toute l'eau est redescend mais va se trouver arrêter par le clapet de protection de la pompe qui bien sûr s'est fermé.

3^{ème}Phase : (Figure 5-d)

La première tranche de fluide en contact avec le clapet va être comprimée par les tranches suivantes provoquant une dilatation de la conduite. Une onde de pression va parcourir la conduite dans le sens pompe-réservoir. Au bout du temps **L/a** (c'est à dire $t=3L/a$ depuis l'origine), toute la conduite est dilatée avec une eau su pressée, immobile.

4^{ème} Phase : (Figure 5-e)

L'élasticité permet à la conduite de reprendre de proche en proche du réservoir à la pompe, son diamètre initial. Au bout du temps **L/a** (c'est-à-dire $t=4L/a$ depuis l'origine) nous nous retrouverons dans la même situation qu'au moment de la disjonction du moteur de la pompe.

Le phénomène se reproduirait indéfiniment, s'il n'y avait pas les pertes de charges résultant du frottement de l'eau dans la conduite.

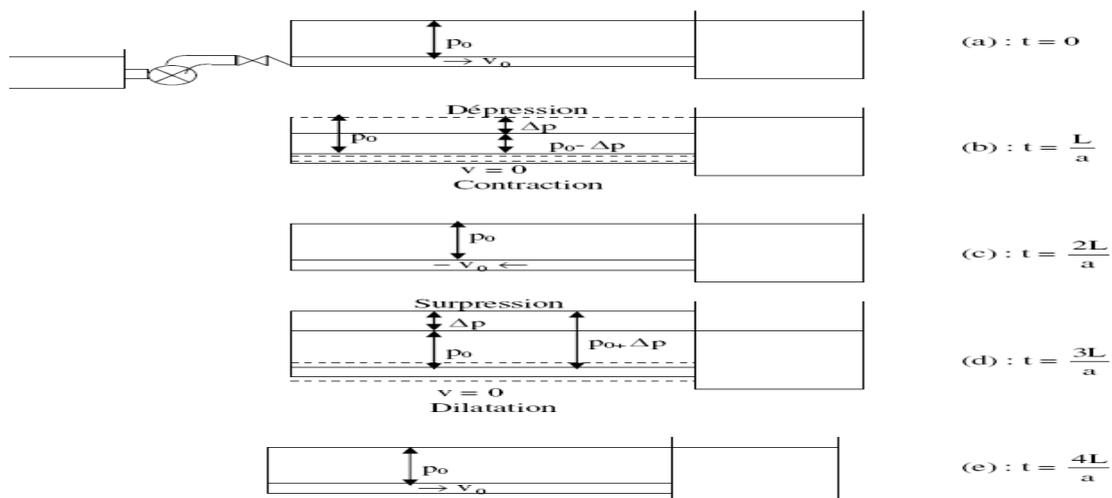


Figure 5.5:évolution de l'écoulement en fonction du temps dans une conduite de refoulement (au moment du coup bélier)

5.8.3. Moyens de protection contre le coup de bélier

Les appareils anti bélier devront avoir pour effet :

- De limiter la dépression.
- De limiter la surpression.

Les appareils les plus utilisés sont les suivants :

- **Les volants d'inertie**

Le volant d'inertie calé sur l'arbre du groupe constitue l'un de ces moyens grâce à l'énergie qu'il accumule pendant la marche normale. Le volant d'inertie la restitue au moment de la disjonction et permet ainsi d'allonger le temps d'arrêt de l'ensemble donc de diminuer l'intensité du coup de bélier. Les volants d'inertie interviennent dans la protection contre les dépressions.

- **Les réservoirs d'air**

L'alimentation continue de veine liquide après disjonction du groupe peut être effectuée à l'aide d'une réserve d'eau accumulée sous pression dans une capacité métallique disposée à la station de pompage et raccordée au refoulement. Le réservoir d'air offre à la fois une protection contre les dépressions et les surpressions.

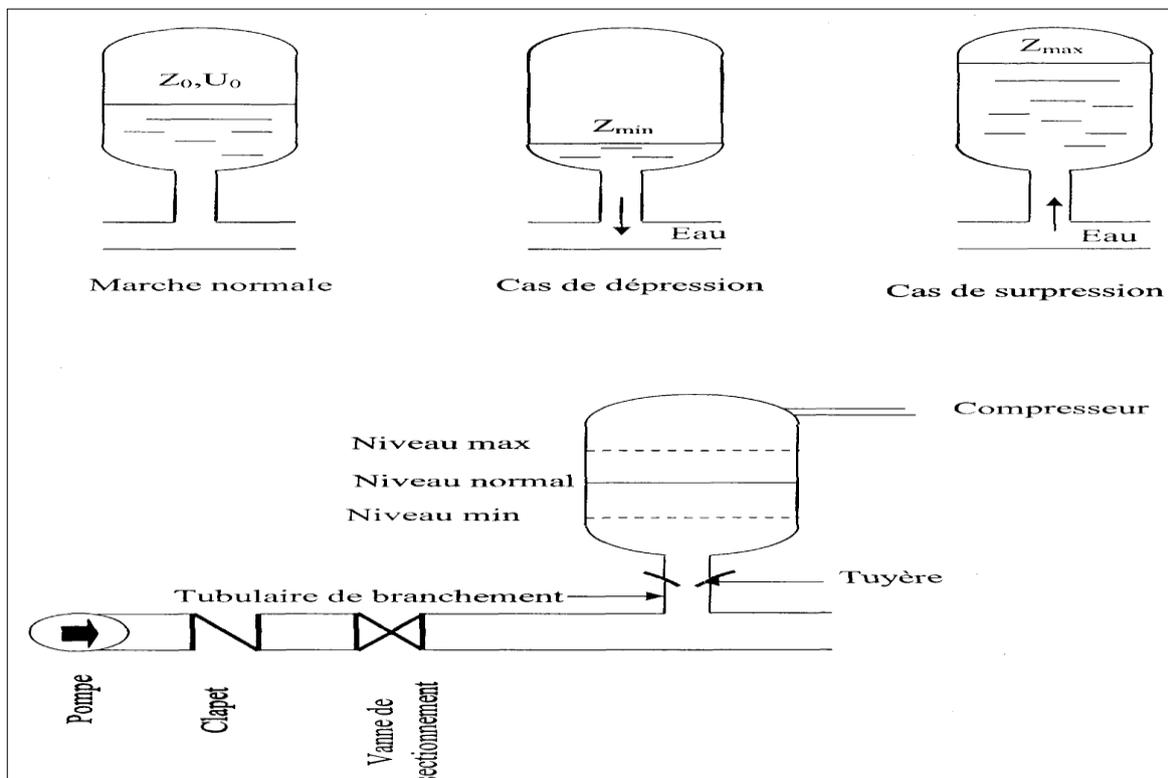


Figure 5.6: principe de fonctionnement d'un réservoir d'air

- **Les soupapes de décharge**

Faisant intervenir des composants mécaniques, elles permettent d'éliminer localement les surpressions dépassants une valeur donnée dite pression de tarage. Le volume d'eau libéré en cas de surpression peut être important.

L'utilisation des soupapes nécessite un entretien régulier et un contrôle rigoureux.

- **Les cheminées d'équilibre**

A la place d'un réservoir d'air sous pression il peut être établi à la station de pompage, un réservoir à l'air libre appelé cheminée d'équilibre. Cette cheminée jouera le même rôle mais dans le cas de hauteurs de refoulement même moyenne son arrive rapidement à des ouvrages d'art importants puisque l'eau s'élèvera déjà en régime normal à la hauteur géométrique augmentée des pertes des charges.

Les cheminées d'équilibre assurent une protection contre les dépressions ainsi que les surpressions.

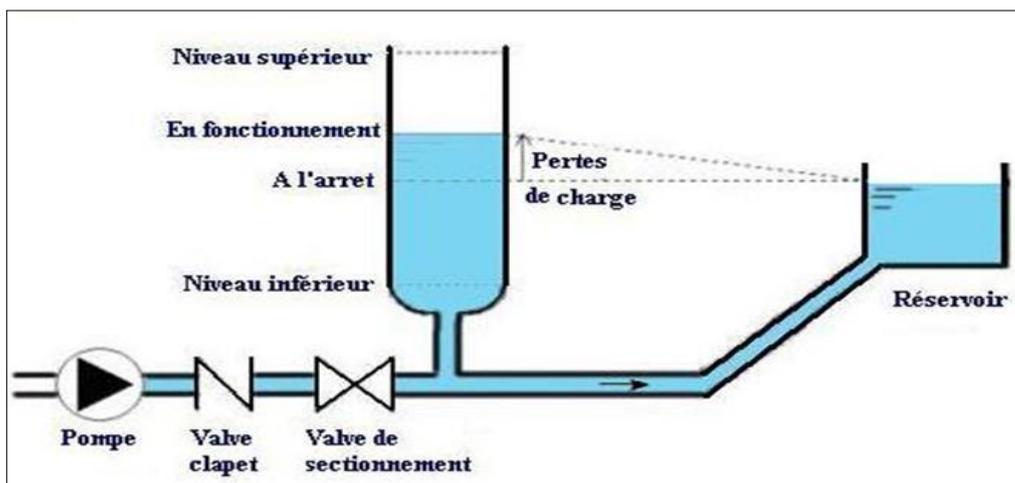


Figure 5.7: installation d'une cheminée d'équilibre sur une conduite de refoulement

- **Les Ventouses**

Elles se trouvent en général sur les points hauts, il faut bien distinguer les ventouses permettant l'évacuation d'air de celles permettant également l'entrée d'air pour une lutte contre les pressions relatives négatives, mais qui ne peuvent fonctionner que de manière exceptionnelle pour les réseaux d'eau potable en revanche, elles peuvent jouer un rôle plus étendu, lorsque le réseau transporte de l'eau non destinée à la consommation (eaux brutes ou eau destinée à l'irrigation) ou lors du remplissage du réseau quel que soit le type d'eau

Il faut connaître le diamètre de la ventouse ainsi que les coefficients de perte de charge à l'entrée et à la sortie

Les différentes cotes altimétriques sont également nécessaires, en particulier, la cote de l'orifice par rapport à la génératrice supérieure de la conduite.

- **Les Clapets**

Il existe différentes technologies de clapets : à battant à double battant, à disques concentriques, à boule, à membrane, etc. Le rôle commun à tous les clapets est d'empêcher l'écoulement du fluide dans un sens.

Dans le cadre de l'étude des régimes transitoires, il faut connaître la caractéristique dynamique d'un clapet c'est-à-dire les différents degrés de fermeture en fonction de la décroissance du débit dans la conduite.

5.8.4. Étude de coup de bélier

L'étude de coup de bélier consiste à déterminer les dépressions et les surpressions, ensuite les comparer aux pressions nominales.

5.8.4.1. Détermination de la valeur de surpression et de dépression

- **Détermination de la vitesse de la célérité**

La célérité 'a' est donnée par la formule d'Allievi (Frelin, 2002) :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \frac{K \cdot D}{e}}}$$

Avec, K : coefficient dépendant de la nature du matériau de la conduite (K=83 pour PEHD), D : diamètre intérieure de la conduite (mm), e : épaisseur de la conduite (mm).

- ❖ **1^{er} Cas : Fermeture brusque $T_f < \frac{2 \cdot L}{a}$**

La valeur maximale du coup bélier est calculée par la formule suivante (Dupont, 1988):

$$\Delta H_{\max} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

avec, ΔH_{\max} : valeur de coup de bélier (m), a : célérité de l'onde (m/s), V_0 : la vitesse d'écoulement en régime permanent initial (m/s).

- La surpression : $H_S = H_0 + \Delta H_{\max}$
- La dépression: $H_d = H_0 - \Delta H_{\max}$

avec, H_0 : la pression absolue au point le plus haut de la conduite, tel que : $H_0 = H_g + 10$

avec, H_g : hauteur géométrique de refoulement.

❖ 2^{eme} cas : fermeture lente $T_f > \frac{2*L}{a}$

La valeur maximale du coup bélien est :

$$\Delta H_{\max} = \frac{2 * L * V_0}{g * T_f}$$

avec, L : longueur de la conduite (m), T_f : temps de fermeture de la vanne (s).

5.8.5. Outil de dimensionnement des protections anti-bélier

Pour le dimensionnement des protections anti-bélier on a utilisé CEBELMAIL qui est un logiciel d'hydraulique transitoire en charge, il permet de modéliser le fonctionnement des réseaux sous pression pendant des phases dynamique, pouvant être très rapides. Son moteur de calcul est basé sur une résolution des équations de Saint-Venant.

Ce logiciel dimensionne les organes ou les processus de protection adéquats pour lutter contre des pressions trop faibles ou trop fortes.

Les singularités contenues dans CEBELMAIL sont particulièrement adaptées à la modélisation des réseaux d'eau potable, d'assainissement ou d'irrigation.

5.8.6. Calcul de coup de bélier pour le tronçon de refoulement (SP1-R)

Le tableau (5-2) ci-dessous donne la valeur du coup de bélier.

Tableau 5-2 : valeur de coup de bélier

Tronçon	Caractéristiques de la conduite			Calcul de coup de bélier					
	D _{int} (mm)	e (mm)	V ₀ (m/s)	H ₀ (m)	a (m/s)	ΔH _{max} (m)	H _S (m)	H _d (m)	PN
SP1-R	489,40	70,30	1,25	199,50	395,65	50,41	249,70	149,09	25

D'après résultats obtenus dans ce tableau, en remarque que le tronçon SP1-R ne nécessite pas un système de protection contre la surpression de bélier (H_S) car la valeur maximale de ce dernier est inférieure à la pression nominale de conduite (PN=25 bar).

5.8.7. Simulation anti bélier

Lorsque nous avons simulé le tronçon par refoulement de notre installation, via le logiciel CEBELMAIL. Nous avons détecté des dépressions et même des surpressions d'où la nécessité de prévoir des dispositifs de protection. Afin de diminuer les risques de dégradation des conduites de refoulement, pouvant apparaître à la suite de phénomènes transitoires.

Les résultats de la simulation pour la station de pompage SP1 par le biais du logiciel CEBEL MAIL, ont été obtenus pour un diamètre de 250 mm

Ces résultats sont exprimés par les graphes suivants :

Installation avant la protection

La figure (5.8) représente le schéma d'installation avant la protection

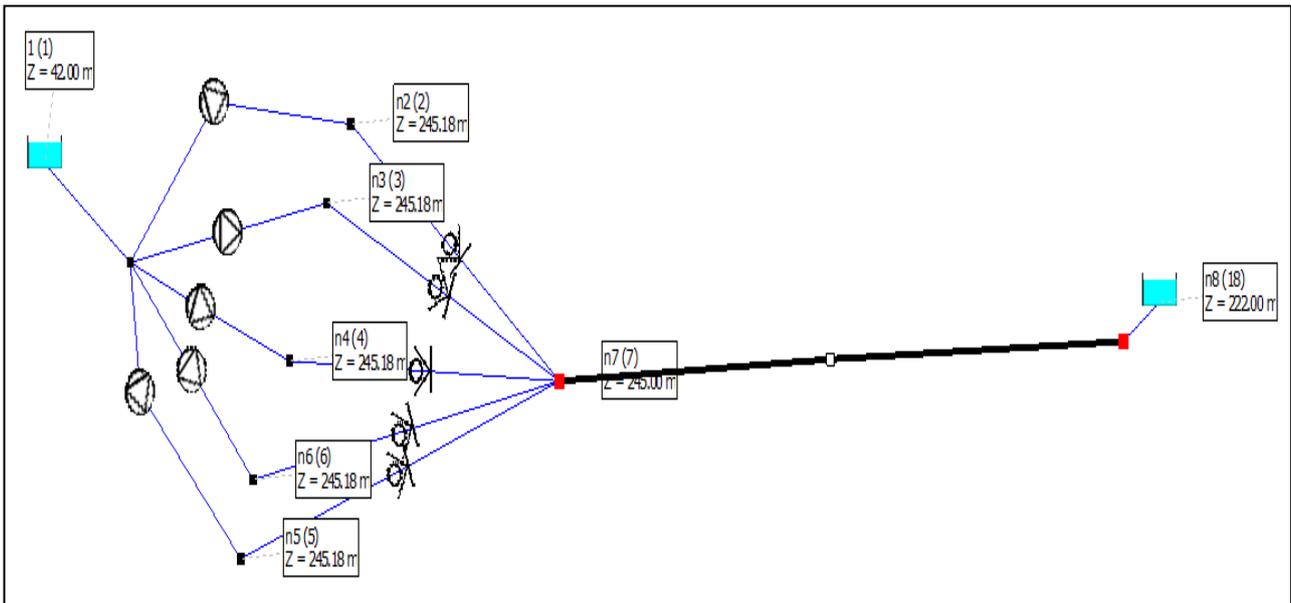


Figure 5.8: schéma avant la protection



Figure 5.9: variation de la surpression et la dépression (avant protection)

On remarque sur la figure (5.9), qu'il y a une dépression dans la canalisation principalement à l'aval de la pompe sur la conduite de refoulement à la fin du transitoire, cette dépression atteint sa valeur maximale de 140 m, la pression maximale atteinte pendant cette manœuvre est de 250 m qui inférieure à la pression maximale admissible de plus que 350 m, d'où pas de surpressions dans le réseau suite à l'arrêt de la pompe.

Installation avec protection

La figure (5.10) représente le schéma d'installation avec protection d'un ballon anti-bélier

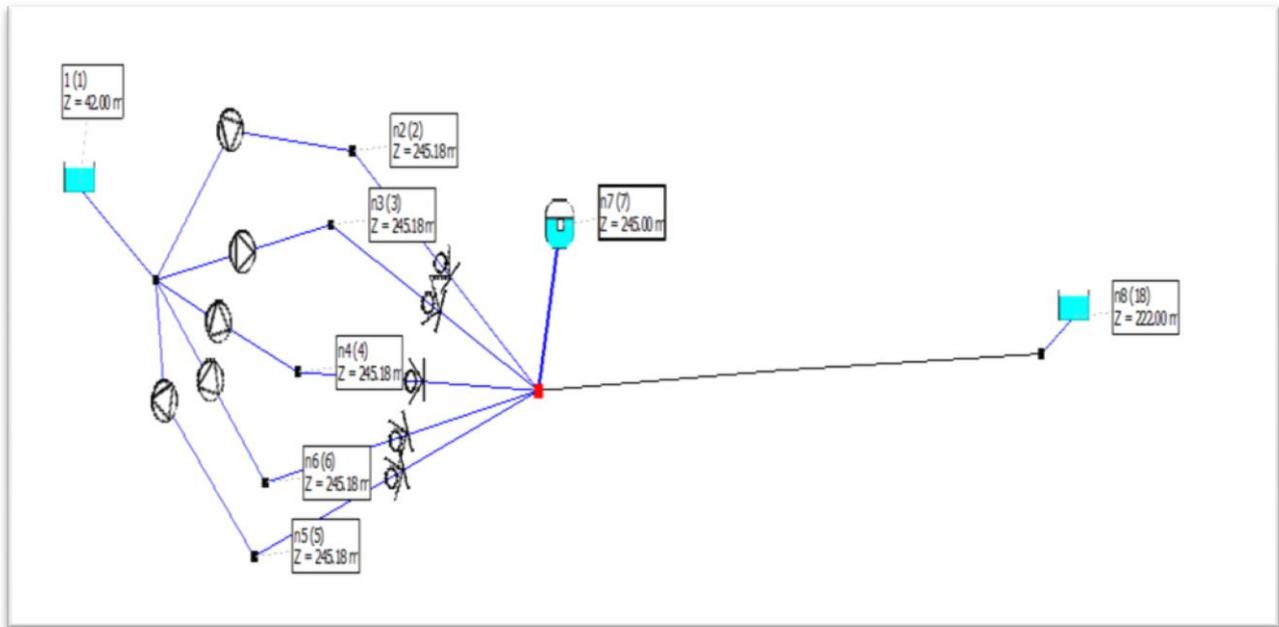


Figure 5.10 : installation avec protection (ballon d'air)

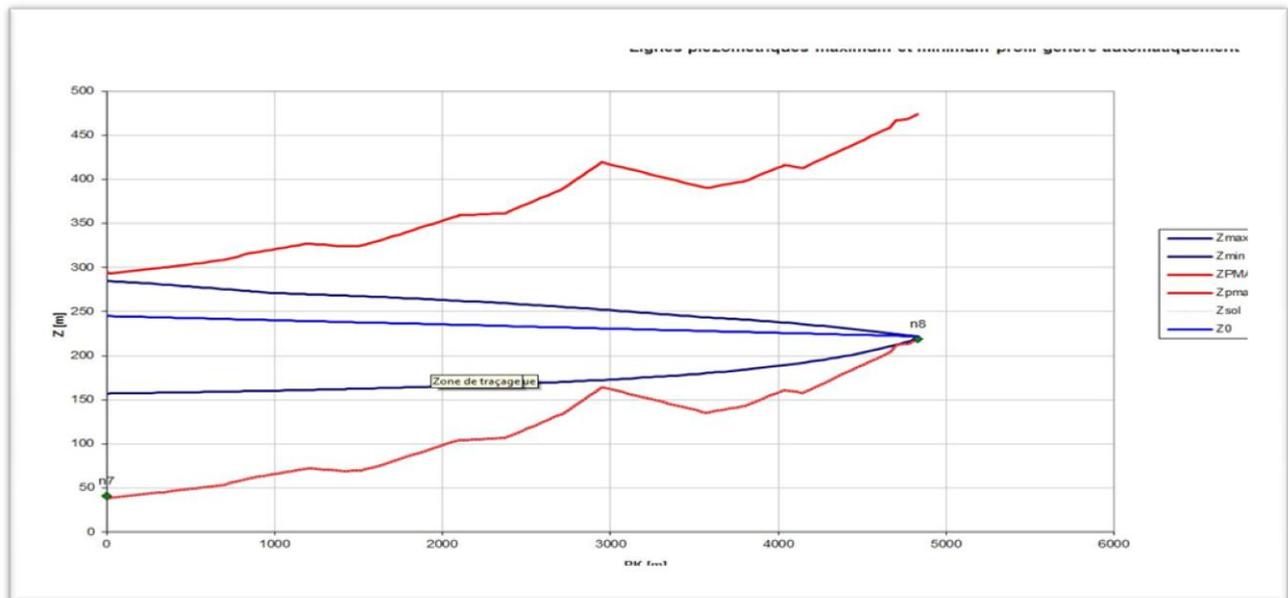


Figure 5.11 : variation des surpressions et dépressions avec protection

Sur la figure (5.11) ci-dessus, on remarque qu'avec la présence d'un ballon anti-bélier de 100 m³ placé à mi-longueur de la conduite de refoulement, il n'y a plus d'apparition de zone de dépression sur le profil du réseau, d'où le volume du ballon anti-bélier dimensionné est suffisant pour protéger la ligne de transfert pendant l'arrêt ou la disjonction de la pompe.

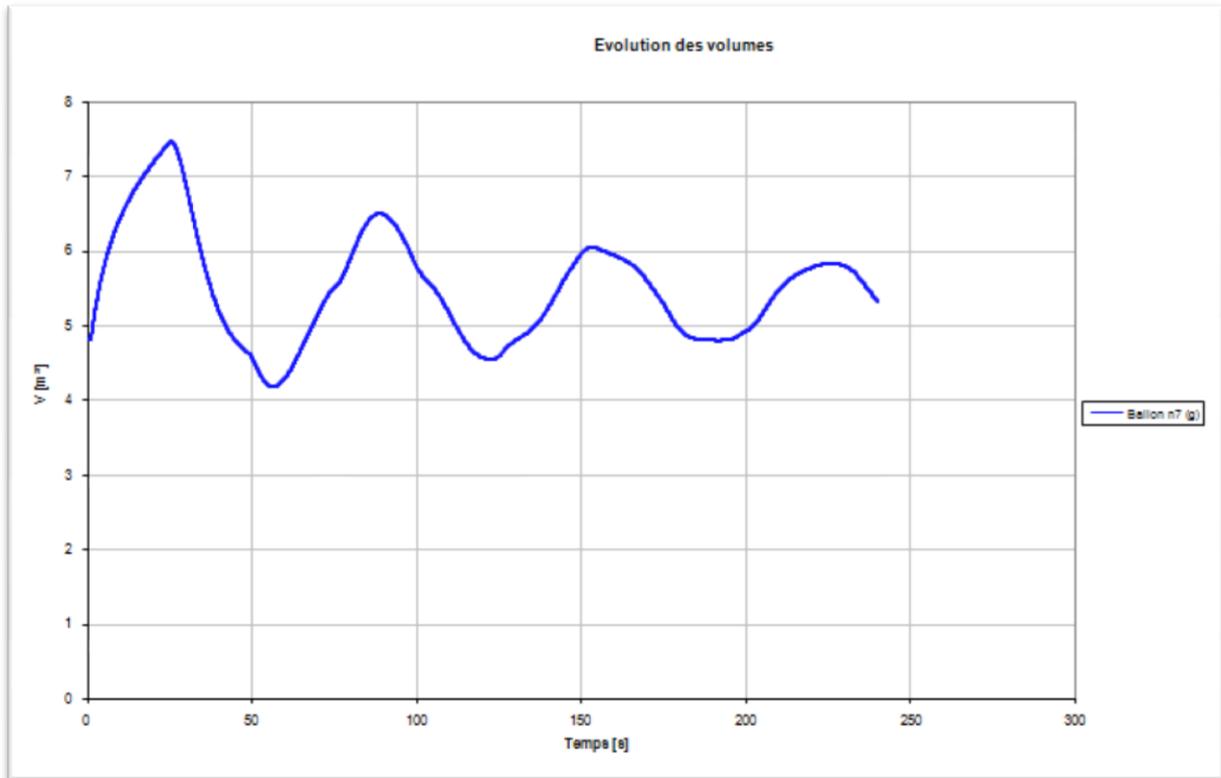


Figure 5. 11: évolution des volumes dans le ballon

La figure (5.12) ci-dessus présente la variation du volume d'air en fonction du temps. Le pas de temps choisi pour cette simulation est de 300 s, le volume d'air désigné correspond à la valeur maximale obtenue lors du calcul, de ce fait le volume d'air à prévoir est pris égale à 8,87m³. Le tableau suivant représente les caractéristiques du ballon anti-bélier installé :

Tableau 5-3 : caractéristiques du ballon anti-bélier

V _{Max}	7,390	m ³
V _{Ballon}	8,868	m ³
V _{Retenu}	10,000	m ³
V _{Saisi}	100,000	m ³
P _{Saisi}	0,000	Barg
P _{Saisi}	1,000	Bara
P _{Saisi} X V _{Saisi}	100,000	
PV= Cste		
P _{Prégonflage}	10,00	Bara

5.9. Conclusion

Les cinq pompes utilisées dans cette étude sont de types Centrifuges multicellulaires pour hautes pressions à axe horizontal. Nous rappelons que une pompe de secours est à prévoir au niveau de la station de pompage déterminée, en guise de sécurité contre des éventuelles pannes.

En dépit du fait que l'aspiration des pompes soit en charge ce qui réduit le risque de cavitation, nous avons préféré de calculé le NSPH_{disponible} pour plus de précaution, afin de s'assurer du bon fonctionnement des pompes et éviter les effets néfastes de la cavitation.

Ce chapitre nous a permis aussi de comprendre l'évolution du régime transitoire après l'arrêt brusque d'une pompe dans le cas des conduites de refoulement.

L'insertion des réservoirs d'air et clapet dispersé nous a permis de protéger nos installations du phénomène du coup de bélier.

Chapitre 6 :
Diagnostic et
restructuration du
réseau de distribution
de Douera

Chapitre 6 : Diagnostic et restructuration du réseau de distribution de Douera

6.1. Introduction

Après avoir évalué les besoins en eau d'une agglomération quelconque, on doit choisir convenable le réseau pour distribuer l'eau aux différentes catégories de consommateurs recensées au niveau de l'agglomération. Le but de la mise en place de ce dernier est de parvenir à satisfaire la demande des consommateurs en débit et en pression.

Dans ce présent chapitre, on prévoit de diagnostic le réseau de distribution en eau potable de la ville de Douera, en exploitant le logiciel EPANET.

6.2. Différents types des réseaux d'alimentation en eau potable

Les réseaux de distribution peuvent être classés comme suit :

6.2.1. Les réseaux maillés

Les réseaux maillés sont constitués principalement d'une série de canalisation disposée de telle manière qu'il soit possible de décrire des boucles fermées ou maillées Ils sont utilisés en général dans les zones urbaines.

L'avantage des réseaux maillés est qu'ils permettent une alimentation en route ; c'est-à-dire qu'en cas d'accident sur un tronçon, il poursuit l'alimentation des abonnés en aval situés le long des autres tronçons.

6.2.2. Les réseaux ramifiés

Le réseau ramifié est un réseau qui est constitué par une conduite principal et des conduites secondaires (branches), les conduites ne comportent aucune alimentation en retour.

Il présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité, une rupture ou un accident sur la conduite principale prive les abonnés en aval, les réseaux ramifiés sont utilisés dans les petites agglomérations rurales.

6.2.3. Les réseaux mixtes

Un réseau est dit mixte (maillé-ramifié), lorsqu'il est constitué d'une partie ramifiée et une autre maillée. Ce type de schéma est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville par les ramifications issues des mailles utilisées dans le centre de cette ville.

Les figures (6.1) et (6.2) représentent le réseau maillé et le réseau ramifié :

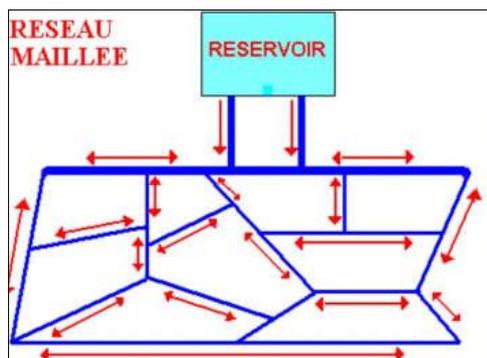


Figure 6. 1: Réseau maillé

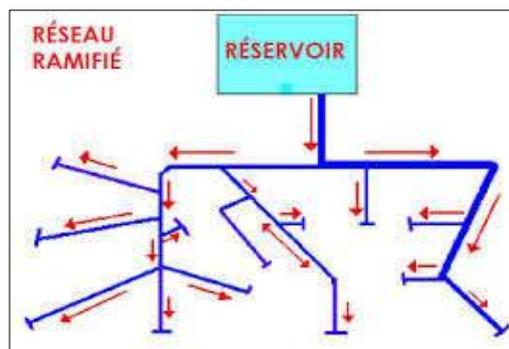


Figure 6. 2: Réseau ramifié

Le réseau de distribution de la ville Douera est un réseau mixte (maillé+ramifié).

6.3. Choix de tracé de réseau de distribution

Pour définir le tracé définitif de réseau de distribution, il est important de penser aux points suivants :

- minimiser le nombre de passages difficiles (traversée de route...etc.),
- éviter les pentes trop fortes,
- éviter les zones rocheuses,
- préférer les zones accessibles,
- penser aux problèmes de propriété de terrain et d'autorisation.

6.4. Choix du matériau des canalisations du réseau de distribution

Le choix du matériau des conduites se fait en tenant compte de la nature du sol (agressivité) et de critères d'ordre économique (coût, disponibilité sur le marché des conduites ainsi que de leurs accessoires de réparation) et liés à la performance des matériaux.

La couche superficielle de terre est constituée essentiellement des dépôts continentaux, sables, latérites, conglomérat, ne présente aucune agressivité pour les conduites en PEHD.

Dans notre cas, les conduites du réseau seront en PEHD avec la pression nominale PN= 25 bars

6.5. Structuration du réseau

Le réseau de distribution sera constitué :

- de conduites principales, secondaires et tertiaire (branchement privé et borne fontaine) en PEHD,
- d'installations de sécurité et de régulation telles que les ventouses, les vidanges, les vannes de sectionnement etc.

Tout ce réseau de distribution sera alimenté par deux réservoirs 1000 m³ et 500 m³ et une partie par le réservoir de 2*5000 m³

6.6. Équipement et accessoire du réseau de distribution

6.6.1. Canalisations

Les réseaux de distribution sont constituées de :

- ✓ Conduites principales qui ont pour origine un réservoir ou une station de pompage. Elles assurent l’approvisionnement des conduites secondaires,
- ✓ Conduites secondaires assurant la liaison entre les conduites principales et les branchements.

6.6.2. Organes accessoires

Le réseau de distribution comporte des équipements permettant son fonctionnement et son exploitation, dont les principaux sont résumés ci-après :

6.6.2.1. Robinets

En principe ces appareils seront posés en vue de permettre l’isolement de divers tronçons de canalisation. Nous les trouvons donc à chaque nœud.

6.6.2.2. Poteaux d’incendie

De tels poteaux doivent être raccordés sur des canalisations capables de fournir au point correspondant un débit minimal de 17 l/s sous 0,6 bar. Ils sont placés aux bordures des trottoirs, espacés de 200 à 300 m.

6.6.2.3. Régulateurs de pression

Ce sont des dispositifs permettant le réglage de la pression d’une façon à ne fournir au réseau de distribution que les pressions désirées.

6.6.2.4. Les raccords

Ce sont des composants permettant d’adapter la conduite au tracé prévu au projet. Le tableau (6-1) indique la fonction de chaque raccord :

Tableau 6-1: fonctions des raccords

Nom du raccord	Fonction
Coude	Changement de direction
Cône de réduction	Diminution du diamètre
Manchon	Assemblage en ligne de 02 éléments cylindriques
Té	Raccordement à l’équerre d’une conduite sur une autre

On distingue aussi les ventouses, les clapets et les vanne de décharge qui sont présentés précédemment dans le chapitre adduction précédemment dans le chapitre 5 « Adduction ».

6.7. Les étapes de dimensionnement

6.7.1. Débit spécifique

Pour le calcul, on admet l'hypothèse selon laquelle les besoins domestiques sont uniformément répartis sur toute la longueur du réseau de distribution en utilisant le débit spécifique en l/s/ml.

Le débit spécifique qui est fonction du linéaire se calcule comme suit :

$$Q_{SP} = Q_{h.max}/L_T$$

Avec, Q_{SP} : débit spécifique (l/s/ml), $Q_{h.max}$: débit horaire maximum calculé au chapitre 2,

L_T : somme des longueurs L_i du réseau ($L_T=55188,06$ m).

Avec, $Q_{max} = Q_p = 2818,56 \text{ m}^3/\text{h} = 783 \text{ l/s}$

6.7.2. Débits en route

Le débit en route est le produit du débit spécifique par la longueur du tronçon :

$$Q_{ri} = Q_{SP} * L_i$$

L_i : longueur du tronçon numéro (i), (m), Q_{ri} : débit du tronçon numéro (i), (l/s).

6.7.3. Débits aux nœuds

Les débits aux nœuds sont obtenus comme suit :

$$Q_{nd} = 0,5 * \sum Q_{ri}$$

Q_{ri} : débit du tronçon numéro (i), (l/s), Q_{nd} : débit au nœud (l/s).

Les résultats de ses calculs sont représentés dans le tableau 6-2suivant :

Tableau 6-2 : détermination des différents débits

nom Nœud	Tronçons	Longueur	Qsp	Q_{ri}	ΣQ_{ri}	$Q_{nodaux}=0,5 \Sigma Q_{ri}$
1	1 -2	966,00	0,01418658	13,7042393	13,7042393	6,85211964
2	2 - 1	966,00	0,01418658	13,7042393	13,7042393	6,85211964
3	3 - 4	113,00	0,01418658	1,60308389	13,3779479	6,68897394
	3 - 5	33,50	0,01418658	0,47525053		
	3 - 6	796,50	0,01418658	11,2996134		
4	4 - 3	113,00	0,01418658	1,60308389	2,48974534	1,24487267
	4 - 7	48,50	0,01418658	0,68804928		
	4 - 8	14,00	0,01418658	0,19861216		

Chapitre 6 : Diagnostic et restructuration du réseau de distribution

5	5 - 3	33,50	0,01418658	0,47525053	9,29930523	4,64965262
	5 - 9	487,00	0,01418658	6,90886598		
	5 - 10	135,00	0,01418658	1,91518872		
6	6 - 3	791,50	0,01418658	11,2286805	20,4144931	10,2072465
	6 - 11	45,50	0,01418658	0,64548953		
	6 - 12	602,00	0,01418658	8,54032303		
7	7 - 4	48,50	0,01418658	0,68804928	0,68804928	0,34402464
8	8 - 4	14,00	0,01418658	0,19861216	3,08558183	1,54279091
	8 - 13	49,50	0,01418658	0,70223586		
	8 - 13	154,00	0,01418658	2,1847338		
9	9 - 5	487,00	0,01418658	6,90886598	11,2149195	5,60745977
	9 - 14	241,53	0,01418658	3,42648542		
	9 - 15	62,00	0,01418658	0,87956815		
10	10 - 5	135,00	0,01418658	1,91518872	11,5677399	5,78386993
	10 - 16	55,40	0,01418658	0,7859367		
	10 - 17	625,00	0,01418658	8,86661445		
11	11 - 6	45,50	0,01418658	0,64548953	17,7286892	8,86434459
	11 - 18	1052,00	0,01418658	14,9242854		
	11 - 19	152,18	0,01418658	2,15891422		
12	12 - -6	602,00	0,01418658	8,54032303	16,1471689	8,07358445
	12 - 20	27,20	0,01418658	0,38587506		
	12 - 21	509,00	0,01418658	7,2209708		
13	13 - 8	49,50	0,01418658	0,70223586	3,20758644	1,60379322
	13 - 8	154,00	0,01418658	2,1847338		
	13 - 21	22,60	0,01418658	0,32061678		
14	14 - 9	241,33	0,01418658	3,4236481	3,4236481	1,71182405
15	15 - 9	62,00	0,01418658	0,87956815	12,7111785	6,35558923
	15 - 23	230,00	0,01418658	3,26291412		
	15 - 24	604,00	0,01418658	8,5686962		
16	16 - 10	55,40	0,01418658	0,7859367	6,99256682	3,49628341
	16 - 25	45,50	0,01418658	0,64548953		
	16 - 26	392,00	0,01418658	5,56114058		
17	17 - 11	625,00	0,01418658	8,86661445	10,4640237	5,23201185
	17 - 27	62,60	0,01418658	0,8880801		
	17 - 28	50,00	0,01418658	0,70932916		
18	18 - 11	1052,00	0,01418658	14,9242854	20,5634522	10,2817261
	18 - 21	24,50	0,01418658	0,34757129		
	18 - 29	373,00	0,01418658	5,2915955		
19	19 - 11	152,18	0,01418658	2,15891422	2,64480469	1,32240234
	19 - 30	32,50	0,01418658	0,46106395		
	19 - 31	1,75	0,01418658	0,02482652		
20	20 - 12	27,20	0,01418658	0,38587506	0,72919037	0,36459519
	20 - 32	7,20	0,01418658	0,1021434		
	20 - 33	17,00	0,01418658	0,24117191		

De la même manière nous avons calculé le reste des nœuds (voir annexe 3)

6.8. Modélisation et simulation du réseau

6.8.1. Présentation du logiciel EPANET

EPANET est un logiciel développé pour la simulation du comportement des systèmes de distribution d'eau d'un point de vue hydraulique et également d'un point de vue qualité de l'eau.

- L'utilisation d'EPANET est très diversifiée, et porte principalement sur
- la régulation des pressions dans le réseau,
- la détection des zones de fonctionnement déficitaire,
- le dimensionnement de travaux d'amélioration du réseau ou d'extension,
- L'évolution de la qualité de l'eau et l'étude de retraitement en différents points du réseau
- l'amélioration de la gestion des équipements (marnage des réservoirs), des coûts énergétiques (fonctionnement des stations de pompage), du contrôle des débits d'eau (sectorisation du réseau), de la gestion de crise (suppression d'une ressource, rupture d'une canalisation maîtresse, introduction de contaminants dans le réseau).

Ce logiciel simule le comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs. EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace. EPANET contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes :

- La taille du réseau étudié est illimitée.
- Pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formules de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, et Chezy-Manning.
- Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.
- Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût.
- Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti-retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.

- Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).
- Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre.
- Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).

6.8.2. Utilisation du logiciel EPANET

Les étapes classiques de l'utilisation d'EPANET pour modéliser un système de distribution d'eau sont les suivantes :

- Dessiner un réseau représentant le système de distribution ou importer une description de base du réseau enregistrée dans un fichier au format texte ;
- Saisir les propriétés des éléments du réseau ;
- Lancer une simulation hydraulique ou une analyse de la qualité ;
- Visualiser les résultats d'une simulation ;
- Interpréter les résultats.

6.8.3. Résultats de simulation

6.8.3.1. Répartition des débits et des pressions

La répartition des débits et celle des pressions du réseau de distribution calculé avant et après la restructuration sont présentées ci-dessous.

1^{er} cas : avant la restructuration du réseau (le réseau existant) La figure 6.3 montre la répartition des débits et des pressions du réseau avant la restructuration.

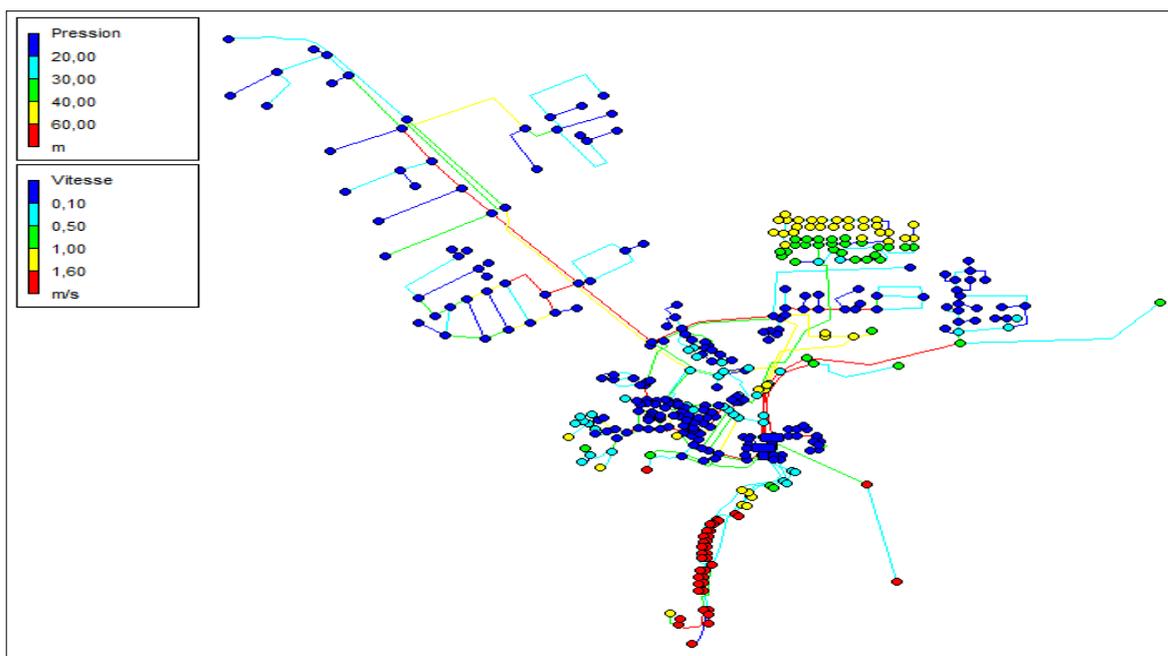


Figure 6. 3: état du réseau avant la restructuration

Les résultats sont donnés dans les annexes (4 et 5)

2^{ème} cas : après la restructuration du réseau

La figure 6.4 montre la répartition des débits et des pressions du réseau après la restructuration. Les résultats sont donnés dans les annexes 6 et 7.

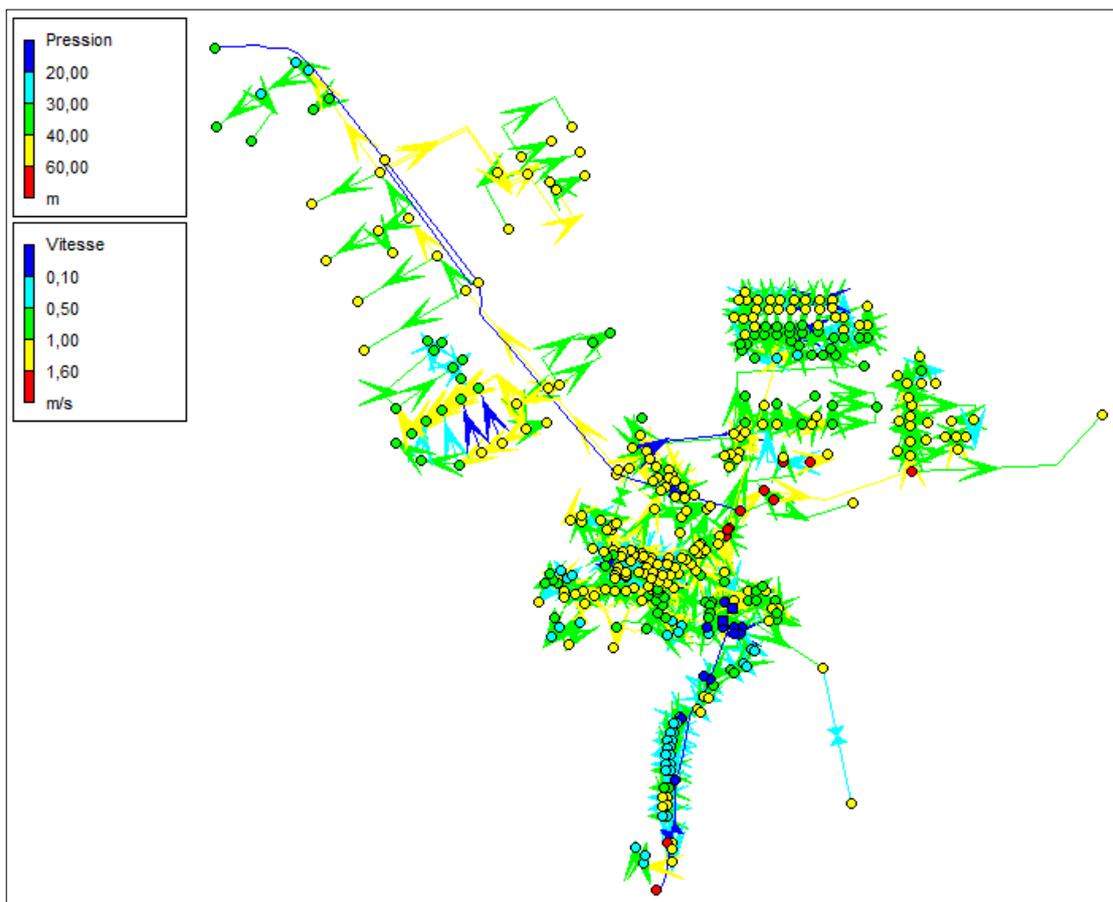


Figure 6. 4: l'état du réseau après la restructuration

Après l'investigation de notre cas, trois phases incluent la réhabilitation du réseau.

La première phase est la rénovation de quelques conduites du réseau avec de nouvelles lignes de conduites ont différents diamètre et matériaux (nœud_nœud), et cette rénovation à cause de la nocivité des canalisations conventionnels utilisées auparavant en amiante ciment et

Dans la deuxième phase un attachement parallèle des conduites entre les nœuds (nœud-nœud), et cette technique proposé pour contrôler et surveiller les indicateurs de pression et de vitesse.

La troisième phase c'est l'étape la plus laborieuse du fait qu'on intègre dans le réseau des vannes de régulation de pression(nœud V nœud), pour donner plus de solutions innovants à, l'équipe de recherche dans cette étude.

6.8.3.2. Interprétation des résultats

La simulation du réseau via le logiciel EPANET, nous a permis de dégager les différents diamètres susceptibles d'assurer un bon fonctionnement du réseau ; en assurant une pression minimale de 18 m.c.e au niveau de tous les nœuds et en restant en dessous de 6 bars. Pour les vitesses, nous avons obtenu des valeurs qui se situent entre la marge de 0,5 à 1,5 m/s.

6.9. Gestion et maintenance des réseaux

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps qui dus soit au mauvais fonctionnement hydraulique du réseau (changement de pression, soit au chut de rendement de réseau par des coupures intempestives...). Pour cela, une gestion et une maintenance régulières sont indispensables.

La gestion des réseaux d'alimentation en eau potable a pour objet d'assurer :

- La pérennité des ouvrages par des options de conservation.
- L'entretien courant des réseaux et des ouvrages mécaniques par des interventions de nettoyage, de dépannage et de maintenance.
- L'exploitation par la régulation des débits et la synchronisation, relevage, traitement, stockage et distribution.

La maintenance, de son côté, est un ensemble des mesures servant à préserver l'état initial ainsi qu'à constater et évaluer l'état réel des dispositifs techniques d'un système d'alimentation en eau potable, en procédant régulièrement aux opérations d'entretien, d'inspection et de remise en état.

6.10 Conclusion

En conclusion, on peut dire que les réseaux d'alimentation en eau potable des deux zones fonctionnent normalement, la pression de service est assurée aux points les plus défavorables, les vitesses sont acceptables, mais le contrôle et la gestion rigoureuse du réseau restent des conditions indispensables pour assurer une longue vie au réseau, et pour fournir de l'eau en quantité suffisante et à des pressions appropriées aux besoins.

On a fait la simulation de l'écoulement dans le réseau de Douera via EPANET pour régler les problèmes de pressions et de pertes de charge.

*CONCLUSION
GÉNÉRALE*

Conclusion générale

Notre étude est basée sur la restructuration du réseau d'alimentation en eau potable de la commune de « Douera » qui se situe au sud-ouest de la wilaya d'Alger, en prenant en compte que la zone d'étude est incluse dans la région de la chaîne des hauteurs, les besoins de cette dernière et celle de Douera sont refoulés à partir de la station de pompage SP1 de Tassala El Merdja, ces eaux sont stockées dans un réservoir tampon qui se trouve dans le périmètre de la zone d'étude afin d'alimenter gravitairement les communes voisines.

Pour cela, on a divisé le travail en deux parties :

La production : pour la restructuration de la production, on a calculé les besoins de la chaîne des hauteurs à l'horizon 2040. L'analyse du réseau nous a conduits à une suffisance des apports des volumes de stockage des réservoirs existants et une insuffisance de la SP1 et pour mettre terme à ce problème, l'installation d'une nouvelle station de pompage a été nécessaire ainsi que le dimensionnement des conduites d'adduction, tout en prenant des précautions en termes de protection des conduites contre le phénomène coup de bélier.

La distribution : Pour mener à bien notre travail et bien modéliser le réseau en modulation, il a été nécessaire de bien comprendre les principes de base de la modulation (les vannes de régulation, les modulateurs, les problèmes d'isolement et d'étanchéité des frontières,...).

Aussi, la collecte des informations n'était pas satisfaisante pour faciliter le travail, ainsi nous étions contraints de faire au mieux pour réaliser la meilleure simulation possible de notre réseau sur EPANET.

Enfin, notre travail se propose comme solution qui assure d'une part les besoins de toute la chaîne des hauteurs et d'une autre part la régulation des problèmes du réseau de distribution de Douera.

Bibliographie

Ouvrage :

[1] **ALONSO, D.** (2004). «Mécanique des fluides et agitation». Polycopié de cours de l'université de Lorraine, 128 pages.

[2] **BONNIN, Jacques,**(1977). «Hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petite et de moyenne importance». Edition Eyrolles, 216 pages.

[3] **BONVIN, Jaques:** « Hydraulique urbaine Tome I : Captage – Réseaux d'adduction – Réservoirs – Réseaux de distribution – Equipement – Pompes – Petites centrales Hydrauliques ». Version 2005.

[4] **BOURRIER, Régis, SELMI Béchir.** « Techniques de la gestion et de la distribution de l'eau ». Edition Le Moniteur, 2011, 809pages

[5] **CARLIER, M.** (1980). « Hydraulique générale et appliquée ». Edition Eyrolles, 565 pages

[6] **DUPONT A.** - Hydraulique urbaine, Tome 2: ouvrage de transport -élévation et distribution des eaux, Edition Eyrolles paris 216, 1979.

[7] **DUPONTA., 1980-** Hydraulique urbaine. Exercices et projet. Edition Eyrolles.

[8]**FRELIN,Marcel, 2002.** Coup de Bélier, Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie Mécanique, **BM 4 176** – 1-27

[9] **HUGUES, G.** - Adduction et distribution d'eau, Technique de l'ingénieur, Doc C5 195.

[10] **LENCASTRE ARMANDO** – Hydraulique générale. Edition Eyrolles, 648 pages, 1999.

[11] **LEWIS A. ROSSMAN**–Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (documents du logiciel de modélisation EPANET traduit en français)

[12] **Matringe, J. M.** « Les coups de bélier et la protection des réseaux d'adduction d'eau ».

CHARLATTE

Annexe

Annexe 1 : prix HT (DA) des conduites PEHD PN25

Référence	Désignation	Diamètre (mm)	PN (bars)	Epaisseur (mm)	Diamètre int mm	Prix HT (DA)
110080201	TUBE PEHD EAU PE100	Ø20	25	2,3	16	22,04
110080251	TUBE PEHD EAU PE100	Ø25	25	3	20,4	32,30
110080321	TUBE PEHD EAU PE100	Ø32	25	3,6	26	53,01
110080401	TUBE PEHD EAU PE100	Ø40	25	4,5	32,6	81,89
110080501	TUBE PEHD EAU PE100	Ø50	25	5,6	40,8	127,11
110080631	TUBE PEHD EAU PE100	Ø63	25	7,1	51,4	200,83
110080751	TUBE PEHD EAU PE100	Ø75	25	8,4	61,4	280,44
110080901	TUBE PEHD EAU PE100	Ø90	25	10,1	73,6	408,50
110081101	TUBE PEHD EAU PE100	Ø110	25	12,3	90,0	606,10
110081251	TUBE PEHD EAU PE100	Ø125	25	14	102,2	784,70
110081601	TUBE PEHD EAU PE100	Ø160	25	17,9	130,8	1 282,50
110082001	TUBE PEHD EAU PE100	Ø200	25	22,4	163,6	2 014,00
110082501	TUBE PEHD EAU PE100	Ø250	25	27,9	204,6	3 116,00
110083151	TUBE PEHD EAU PE100	Ø315	25	35,2	257,8	4 940,00
110084001	TUBE PEHD EAU PE100	Ø400	25	44,7	327,4	5 102 ,00
110085001	TUBE PEHD EAU PE100	Ø500	25	55,8	409,2	5658,06
110086301	TUBE PEHD EAU PE100	Ø630	25	70,3	515,6	63950,00
110087101	TUBE PEHD EAU PE100	Ø710	25	79,3	581,0	68346,00
110088001	TUBE PEHD EAU PE100	Ø800	25	89,3	654,8	72120,00
110088001	TUBE PEHD EAU PE100	Ø900	25	90,1	856.7	95381,00

Annexe 2 : Les courbes caractéristiques de 5 pompes installées

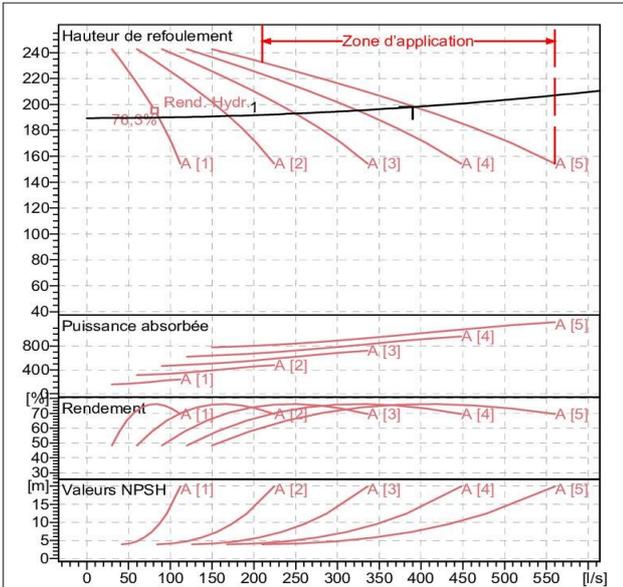


Caractéristiques techniques

COMPANY WITH INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM CERTIFIED BY DNV = ISO 9001:2000 = ISO 14001:2004

PM 125/ 2 A	
Caractéristiques requises	
Débit	390 l/s
Hauteur de refoulement	198 m
Fluide	Eau potable
Type d'installation	Pompes identiques en parallèle
N.be de pompes	6
Caractéristiques de la pompe	
Débit	78 l/s
Hauteur de refoulement	198 m
Puissance absorbée	200 kW
Rendement	76,2%
Hauteur manométrique H(Q=0)	261 m
Orif. de refoulement	DN125 (UNI PN40)
Caractéristiques moteur	
Fréquence	50 Hz
Tension nominale	400 V
Vitesse nominale	2980 1/min
Nombre de pôles	2
Puissance P2	250 kW
Intensité nominale	412 A
Type de moteur	3~
Classe d'isolation	F
Degré de protection	IP 55
Limites opérationnelles	
Démarrages / h max.	5
Température maxi. du liquide pompé	90 °C
Teneur maximum en matières solides	20 g/m ³
Densité max.	998 kg/m ³
Viscosité maxi.	1 mm ² /s
P2 maxi arbre pompe	522 kW
Caractéristiques générales	
Poids	2015 kg

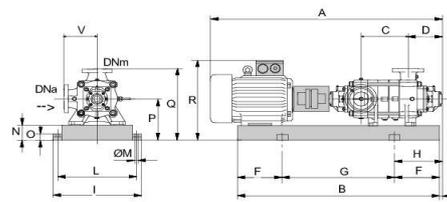
Matériaux	
Corps de refoulement	Fonte
Corps aspiration	Fonte
Roue	Fonte
Bague d'usure	Fonte
Corps d'étage	Fonte
Chemise	Fonte
Arbre	Acier inox.
Douille arbre	Acier inox.
Anneau d'étanchéité	Caoutchouc au nitrile
Roulements à billes	Acier
Stuffing box	Fonte
Packing	Tresse graphitée



Caractéristiques de fonctionnement ISO 9906 GRADE 2B

Q [l/s]	H [m]	P [kW]	Rend. [%]	NPSH [m]

- Dimensions mm
- A = 2537
 - B = 1980
 - C = 245
 - D = 337
 - DNa = 150/PN8-25
 - DNm = DN125 (UNI PN40)
 - E = 181
 - F = 350
 - G = 1280
 - H = 531
 - I = 900
 - L = 850
 - M = 22
 - N = 180
 - O = 50
 - P = 535
 - Q = 855
 - R = 1190
 - V = 320



Notes:

Date 24/06/2019	Page 1	Offre n°	Pos.N°
--------------------	-----------	----------	--------

Annexe 3 : suite du calcul des débits en route et des débits nodaux

21	21 - 12	509,0	0,01418658	7,2209708	10,1646868	5,0823434
	21 - 18	24,5	0,01418658	0,34757129		
	21 - 34	183,0	0,01418658	2,59614471		
22	22 - 13	22,6	0,01418658	0,32061678	0,32061678	0,16030839
23	23 - 15	230	0,01418658	3,26291412	8,53322974	4,26661487
	23 - 35	97,5	0,01418658	1,38319185		
	23 - 36	274,0	0,01418658	3,88712377		
24	24 - 15	604,0	0,01418658	8,5686962	14,9668452	7,48342259
	24 - 37	451,0	0,01418658	6,39814898		
25	25 - 16	45,5	0,01418658	0,64548953	7,809714	3,904857
	25 - 38	66,5	0,01418658	0,94340778		
	25 - 39	438,5	0,01418658	6,22081669		
26	26 - 16	392,0	0,01418658	5,56114058	24,571162	12,285581
	26 - 31	1340	0,01418658	19,0100214		
27	27 - 17	62,6	0,01418658	0,8880801	0,8880801	0,44404005
28	28 - 17	50,0	0,01418658	0,70932916	2,47272144	1,23636072
	28 - 40	90,5	0,01418658	1,28388577		
	28 - 41	33,8	0,01418658	0,47950651		
29	29 - 18	37,3	0,01418658	0,52915955	9,44400838	4,72200419
	29 - 42	312,4	0,01418658	4,43188856		
	29 - 42	316,0	0,01418658	4,48296026		
30	30 - 19	249,5	0,01418658	3,53955249	14,8036995	7,40184974
	30 - 43	679,0	0,01418658	9,63268993		
	30 - 44	115,00	0,01418658	1,63145706		
31	31 - 19	1,75	0,01418658	0,02482652	31,0934435	15,5467218
	31 - 26	1340,00	0,01418658	19,0100214		
	31 - 45	850,00	0,01418658	12,0585956		
32	32 - 20	7,20	0,01418658	0,1021434	0,1021434	0,0510717
33	33 - 20	17	0,01418658	0,24117191	1,07108702	0,53554351
	33 - 46	49,5	0,01418658	0,70223586		
	33 - 47	9	0,01418658	0,12767925		
34	34 - 21	183	0,01418658	2,59614471	3,11821097	1,55910548
	34 - 48	4,3	0,01418658	0,06100231		
	34 - 49	32,5	0,01418658	0,46106395		
35	35 - 23	97,5	0,01418658	1,38319185	1,38319185	0,69159593
36	36 - 23	274,00	0,01418658	3,88712377	3,88712377	1,94356189
37	37 - 24	451,00	0,01418658	6,39814898	18,7404763	9,37023815
	37 - 50	225,00	0,01418658	3,1919812		
	37 - 51	645,00	0,01418658	9,15034611		
38	38 - 25	66,50	0,01418658	0,94340778	8,55450962	4,27725481
	38 - 52	483,50	0,01418658	6,85921293		
	38 - 53	53,00	0,01418658	0,7518889		
39	39 - 25	438,50	0,01418658	6,22081669	12,285581	6,14279049
	39 - 52	45,50	0,01418658	0,64548953		

	39 - 54	15,00	0,01418658	0,21279875		
	39 - 55	367,00	0,01418658	5,206476		
40	40 - 28	90,50	0,01418658	1,28388577	2,91534283	1,45767141
	40 - 56	70,50	0,01418658	1,00015411		
	40 - 57	44,50	0,01418658	0,63130295		
41	41 - 28	338,00	0,01418658	4,79506509	8,41264379	4,20632189
	41 - 58	104,00	0,01418658	1,47540464		
	41 - 59	52,00	0,01418658	0,73770232		
	41 - 60	99,00	0,01418658	1,40447173		
42	42 - 29	312,40	0,01418658	4,43188856	27,7546312	13,8773156
	42 - 29	316,00	0,01418658	4,48296026		
	42 - 61	1328,00	0,01418658	18,8397824		
43	43 - 36	679,00	0,01418658	9,63268993	9,63268993	4,81634497
44	44 - 30	115,00	0,01418658	1,63145706	4,97097872	2,48548936
	44 - 62	86,90	0,01418658	1,23281407		
	44 - 63	123,00	0,01418658	1,74494972		
	44 - 64	25,50	0,01418658	0,36175787		
45	45 - 31	850,00	0,01418658	12,0585956	12,0585956	6,02929782
46	46 - 33	49,50	0,01418658	0,70223586	0,70223586	0,35111793
47	47 - 33	9,00	0,01418658	0,12767925	0,12767925	0,06383962
48	48 - 34	4,30	0,01418658	0,06100231	4,48012295	2,24006147
	48 - 48	311,50	0,01418658	4,41912064		
49	49 - 34	32,50	0,01418658	0,46106395	5,14972967	2,57486483
	49 - 65	5,50	0,01418658	0,07802621		
	49 - 66	325,00	0,01418658	4,61063951		
50	50 - 37	225,00	0,01418658	3,1919812	3,1919812	1,5959906
51	51 - 37	645,00	0,01418658	9,15034611	12,9949101	6,49745507
	51 - 67	154,00	0,01418658	2,1847338		
	51 - 68	117,00	0,01418658	1,65983022		
52	52 - 38	483,50	0,01418658	6,85921293	8,16154126	4,08077063
	52 - 39	45,50	0,01418658	0,64548953		
	52 - 69	46,30	0,01418658	0,6568388		
53	53 - 38	53,00	0,01418658	0,7518889	10,973322	5,48666102
	53 - 69	505,00	0,01418658	7,16422447		
	53 - 70	218,00	0,01418658	3,09267512		
	53 - 71	50,50	0,01418658	0,71642245		
54	54 - 39	15,00	0,01418658	0,21279875	4,5397066	2,2698533
	54 - 72	71,00	0,01418658	1,0072474		
	54 - 73	234,00	0,01418658	3,31966045		
55	55 - 39	367,00	0,01418658	5,206476	6,19953682	3,09976841
	55 - 319	70,00	0,01418658	0,99306082		
56	56 - 40	70,50	0,01418658	1,00015411	16,0379322	8,0189661
	56 - 56	1060,00	0,01418658	15,0377781		
57	57 - 40	44,50	0,01418658	0,63130295	6,73153369	3,36576684
	57 - 74	3,00	0,01418658	0,04255975		
	57 - 75	427,00	0,01418658	6,05767099		

58	58 - 41	104,00	0,01418658	1,47540464	1,47540464	0,73770232
59	59 - 41	52,00	0,01418658	0,73770232	2,81603675	1,40801837
	59 - 76	44,50	0,01418658	0,63130295		
	59 - 77	12,00	0,01418658	0,170239		
	59 - 78	90,00	0,01418658	1,27679248		
60	60 - 41	99,00	0,01418658	1,40447173	3,64595186	1,82297593
	60 - 79	43,00	0,01418658	0,61002307		
	60 - 80	115,00	0,01418658	1,63145706		
61	61 - 42	1328,00	0,01418658	18,8397824	18,8397824	9,41989119
62	62 - 44	86,90	0,01418658	1,23281407	1,23281407	0,61640704
63	63 - 44	123,00	0,01418658	1,74494972	4,80925168	2,40462584
	63 - 81	62,00	0,01418658	0,87956815		
	63 - 82	154,00	0,01418658	2,1847338		
64	64 - 44	25,50	0,01418658	0,36175787	1,80169606	0,90084803
	64 - 83	45,00	0,01418658	0,63839624		
	64 - 84	56,50	0,01418658	0,80154195		
65	65 - 49	5,5	0,01418658	0,07802621	5,06461017	2,53230509
	65 - 85	86,5	0,01418658	1,22713944		
	65 - 86	265	0,01418658	3,75944452		
66	66 - 49	325	0,01418658	4,61063951	7,59691526	3,79845763
	66 - 87	85	0,01418658	1,20585956		
	66 - 88	63	0,01418658	0,89375474		
	66 - 89	62,5	0,01418658	0,88666144		
67	67 - 51	154	0,01418658	2,1847338	2,1847338	1,0923669
68	68 - 51	117	0,01418658	1,65983022	1,65983022	0,82991511
69	69 - 52	46,3	0,01418658	0,6568388	8,40980647	4,20490323
	69 - 53	505	0,01418658	7,16422447		
	69 - 90	41,5	0,01418658	0,5887432		
70	70 - 53	218	0,01418658	3,09267512	6,91595927	3,45797963
	70 - 91	106	0,01418658	1,50377781		
	70 - 92	85	0,01418658	1,20585956		
	70 - 93	78,5	0,01418658	1,11364677		
71	71 - 53	50,5	0,01418658	0,71642245	3,83747073	1,91873537
	71 - 94	55	0,01418658	0,78026207		
	71 - 95	165	0,01418658	2,34078621		
72	72 - 54	71	0,01418658	1,0072474	1,0072474	0,5036237
73	73 - 54	234	0,01418658	3,31966045	12,164995	6,08249751
	73 - 90	75,5	0,01418658	1,07108702		
	73 - 96	548	0,01418658	7,77424755		
74	74 - 57	3	0,01418658	0,04255975		0,02127987
75	75 - 57	427	0,01418658	6,05767099	6,29174961	3,14587481
	75 - 97	9	0,01418658	0,12767925		
	75 - 98	7,5	0,01418658	0,10639937		
76	76 - 59	44,5	0,01418658	0,63130295	1,07818032	0,53909016
	76 - 99	20,5	0,01418658	0,29082495		
	76 - 100	11	0,01418658	0,15605241		

77	77 - 59	12	0,01418658	0,170239	0,170239	0,0851195
78	78 - 59	90	0,01418658	1,27679248	2,04996126	1,02498063
	78 - 101	42,5	0,01418658	0,60292978		
	78 - 102	12	0,01418658	0,170239		
79	79 - 60	43	0,01418658	0,61002307	1,31225894	0,65612947
	79 - 103	40	0,01418658	0,56746332		
	79 - 104	9,5	0,01418658	0,13477254		
80	80 - 60	115	0,01418658	1,63145706	2,41881242	1,20940621
	80 - 105	43	0,01418658	0,61002307		
	80 - 106	12,5	0,01418658	0,17733229		
81	81 - 63	62	0,01418658	0,87956815	1,91518872	0,95759436
	81 - 107	34	0,01418658	0,48234383		
	81 - 108	39	0,01418658	0,55327674		
82	82 - 63	154	0,01418658	2,1847338	5,21356929	2,60678465
	82 - 109	162	0,01418658	2,29822646		
	82 - 110	51,5	0,01418658	0,73060903		
83	83 - 63	45	0,01418658	0,63839624	2,29113317	1,14556659
	83 - 111	27	0,01418658	0,38303774		
	83 - 112	89,5	0,01418658	1,26969919		
84	84 - 64	56,5	0,01418658	0,80154195	0,80154195	0,40077097
85	85 - 65	86,5	0,01418658	1,22713944	7,46923601	3,734618
	85 - 86	188	0,01418658	2,66707763		
	85 - 113	252	0,01418658	3,57501894		
86	86 - 85	188	0,01418658	2,66707763	7,15003789	3,57501894
	86 - 65	265	0,01418658	3,75944452		
	86 - 113	51	0,01418658	0,72351574		
87	87 - 66	85	0,01418658	1,20585956	4,12120239	2,0606012
	87 - 114	126	0,01418658	1,78750947		
	87 - 115	79,5	0,01418658	1,12783336		
88	88 - 66	63	0,01418658	0,89375474	2,73801054	1,36900527
	88 - 114	60	0,01418658	0,85119499		
	88 - 115,	70	0,01418658	0,99306082		
89	89 - 66	62,5	0,01418658	0,88666144	4,66738584	2,33369292
	89 - 115,	98,50	0,01418658	1,39737844		
	89 - 116	168,00	0,01418658	2,38334596		
90	90 - 69	41,50	0,01418658	0,5887432	2,08542772	1,04271386
	90 - 73	75,50	0,01418658	1,07108702		
	90 - 145	30,00	0,01418658	0,42559749		
91	91 - 70	106,00	0,01418658	1,50377781		
92	92 - 70	85,00	0,01418658	1,20585956	2,81603675	1,40801837
	92 - 118	113,50	0,01418658	1,61017718		
	92 - 119	140,00	0,01418658	1,98612164		
93	93 - 70	78,50	0,01418658	1,11364677	11,2570537	5,62852685
	93 - 120	467,00	0,01418658	6,62513431		
	93 - 121	248,00	0,01418658	3,51827261		
94	94 - 71	55	0,01418658	0,78026207	3,63885857	1,81942928

	94 - 122	51,50	0,01418658	0,73060903		
	94 - 123	150,00	0,01418658	2,12798747		
95	95 - 71	165,00	0,01418658	2,34078621	6,50454836	3,25227418
	95 - 117	187,00	0,01418658	2,65289104		
	95 - 123	58,00	0,01418658	0,82282182		
	95 - 124	48,50	0,01418658	0,68804928		
96	96 - 73	548,00	0,01418658	7,77424755	7,77424755	3,88712377
97	97 - 75	9,00	0,01418658	0,12767925	12,0160359	6,00801795
	97 - 125	410,00	0,01418658	5,81649908		
	97 - 126	428,00	0,01418658	6,07185757		
98	98 - 75	7,5	0,01418658	0,10639937	3,88003048	1,94001524
	98 - 127	60	0,01418658	0,85119499		
	98 - 128	206	0,01418658	2,92243612		
99	99 - 76	20,5	0,01418658	0,29082495	1,07818032	0,53909016
	99 - 129	11	0,01418658	0,15605241		
	99 - 130	44,5	0,01418658	0,63130295		
100	100 - 76	11	0,01418658	0,15605241	0,15605241	0,07802621
101	101 - 78	42,5	0,01418658	0,60292978	1,04271386	0,52135693
	101 - 131	10	0,01418658	0,14186583		
	101 - 132	21	0,01418658	0,29791825		
102	102 - 78	12	0,01418658	0,170239	0,170239	0,0851195
103	103 - 79	40	0,01418658	0,56746332	0,56746332	0,28373166
104	104 - 79	9,5	0,01418658	0,13477254	0,13477254	0,06738627
105	105 - 80	43	0,01418658	0,61002307	1,44703148	7,23515739
	105 - 133	9	0,01418658	0,12767925		
	105 - 134	50	0,01418658	0,70932916		
106	106 - 80	12,5	0,01418658	0,17733229	1,29097906	6,45489532
	106 - 135	65,5	0,01418658	0,92922119		
	106 - 136	13	0,01418658	0,18442558		
107	107 - 81	34	0,01418658	0,48234383	0,48234383	0,24117191
108	108 - 81	39	0,01418658	0,55327674	0,55327674	0,27663837
109	109 - 82	162	0,01418658	2,29822646	2,80894346	1,40447173
	109 - 111	23,5	0,01418658	0,3333847		
	109 - 137	12,5	0,01418658	0,17733229		
110	110 - 82	51,5	0,01418658	0,73060903	0,73060903	0,36530452
111	111 - 109	23,5	0,01418658	0,3333847	1,48249794	0,74124897
	111 - 83	27	0,01418658	0,38303774		
	111-138	54,00	0,01418658	0,76607549		
112	112 - 83	89,50	0,01418658	1,26969919	1,26969919	0,63484959
113	113 - 85	252,00	0,01418658	3,57501894	5,48595169	2,74297584
	113 - 86	51,00	0,01418658	0,72351574		
	113 - 139	83,70	0,01418658	1,18741701		
114	114 - 88	60,00	0,01418658	0,85119499	5,71293702	2,85646851
	114 - 87	126,00	0,01418658	1,78750947		
	114 - 166	160,00	0,01418658	2,2698533		
	114 - 140	56,70	0,01418658	0,80437926		

115+	115 - 88	70	0,01418658	0,99306082	3,80909757	1,90454878
	115 - 89	98,5	0,01418658	1,39737844		
	115 - 141	100	0,01418658	1,41865831		
115	115 - 87	79,5	0,01418658	1,12783336	5,32848062	2,66424031
	115 - 142	279	0,01418658	3,95805669		
	115 - 143	13,6	0,01418658	0,19293753		
	115 - 144	3,5	0,01418658	0,04965304		
116	116 - 89	168	0,01418658	2,38334596	2,38334596	1,19167298
117	117 - 145	140	0,01418658	1,98612164	5,49020766	2,74510383
	117 - 95	187	0,01418658	2,65289104		
	117 - 146	60	0,01418658	0,85119499		
118	118 - 92	113,5	0,01418658	1,61017718	1,61017718	0,80508859
119	119 - 92	140	0,01418658	1,98612164	1,98612164	0,99306082
120	120 - 93	467	0,01418658	6,62513431	17,4083561	8,70417807
	120 - 147	55,6	0,01418658	0,78877402		
	120 - 144	704,5	0,01418658	9,99444478		
121	121 - 93	467	0,01418658	6,62513431	6,62513431	3,31256716
122	122 - 94	51,5	0,01418658	0,73060903	4,02189631	2,01094816
	122 - 148	115	0,01418658	1,63145706		
	122 - 149	117	0,01418658	1,65983022		
123	123 - 94	150	0,01418658	2,12798747	4,68157243	2,34078621
	123 - 95	85	0,01418658	1,20585956		
	123 - 149	56	0,01418658	0,79444865		
	123 - 124	39	0,01418658	0,55327674		
124	124 - 95	48,5	0,01418658	0,68804928	4,60354622	2,30177311
	124 - 123	39	0,01418658	0,55327674		
	124 - 150	47	0,01418658	0,66676941		
	124 - 146	190	0,01418658	2,69545079		
125	125 - 97	410	0,01418658	5,81649908	8,64814107	4,32407053
	125 - 151	10,2	0,01418658	0,14470315		
	125 - 152	97,4	0,01418658	1,3817732		
	125 - 153	92	0,01418658	1,30516565		
126	126 - 97	428	0,01418658	6,07185757	6,07185757	3,03592879
127	127 - 98	60	0,01418658	0,85119499	2,29113317	1,14556659
	127 - 154	79	0,01418658	1,12074007		
	127 - 155	22,5	0,01418658	0,31919812		
128	128 - 98	206	0,01418658	2,92243612	2,92243612	1,46121806
129	129 - 99	11	0,01418658	0,15605241	0,15605241	0,07802621
130	130 - 99	44,5	0,01418658	0,63130295	1,39737844	0,69868922
	130 - 156	9	0,01418658	0,12767925		
	130 - 157	45	0,01418658	0,63839624		
131	131 - 101	10	0,01418658	0,14186583	0,14186583	0,07093292
132	132 - 101	21	0,01418658	0,29791825	0,87956815	0,43978408
	132 - 136	33	0,01418658	0,46815724		
	132 - 158	8	0,01418658	0,11349266		
133	133 - 105	9	0,01418658	0,12767925	0,12767925	0,06383962

134	134 - 105	50	0,01418658	0,70932916	0,70932916	0,35466458
135	135 - 106	65,5	0,01418658	0,92922119	1,75913631	0,87956815
	135 - 159	51	0,01418658	0,72351574		
	135 - 160	7,5	0,01418658	0,10639937		
136	136 - 106	13	0,01418658	0,18442558	1,14911323	0,57455662
	136 - 132	33	0,01418658	0,46815724		
	136 - 161	35	0,01418658	0,49653041		
137	137 - 109	12,5	0,01418658	0,17733229	2,75219712	1,37609856
	137 - 162	75,5	0,01418658	1,07108702		
	137 - 163	106	0,01418658	1,50377781		
138	138 - 111	54	0,01418658	0,76607549	0,76607549	0,38303774
139	139 - 113	83,7	0,01418658	1,18741701	1,18741701	0,5937085
140	140 - 114	56,7	0,01418658	0,80437926	6,74855759	3,37427879
	140 - 143	174	0,01418658	2,46846546		
	140 - 164	179	0,01418658	2,53939838		
	140 - 165	66	0,01418658	0,93631449		
141	141 - 115	100	0,01418658	1,41865831	5,15682296	2,57841148
	141 - 166	58	0,01418658	0,82282182		
	141 - 167	205,5	0,01418658	2,91534283		
142	142 - 115	279	0,01418658	3,95805669	12,2288346	6,11441732
	142 - 152	431	0,01418658	6,11441732		
	142 - 168	152	0,01418658	2,15636063		
143	143 - 144	12	0,01418658	0,170239	2,83164199	1,41582099
	143 - 140	174	0,01418658	2,46846546		
	143 - 115	13,6	0,01418658	0,19293753		
144	144 - 143	12	0,01418658	0,170239	10,3278325	5,16391625
	144 - 120	704,5	0,01418658	9,9944478		
	144 - 115	3,5	0,01418658	0,04965304		
	144 - 169	8	0,01418658	0,11349266		
145	145 - 90	30	0,01418658	0,42559749	2,97918245	1,48959123
	145 - 117	140	0,01418658	1,98612164		
	145 - 170	40	0,01418658	0,56746332		
146	146 - 117	60	0,01418658	0,85119499	4,34818772	2,17409386
	146 - 124	190	0,01418658	2,69545079		
	146 - 171	56,5	0,01418658	0,80154195		
147	147 - 120	55,6	0,01418658	0,78877402	0,78877402	0,39438701
148	148 - 122	115	0,01418658	1,63145706	3,0217422	1,5108711
	148 - 172	39	0,01418658	0,55327674		
	148 - 169	59	0,01418658	0,8370084		
149	149 - 122	117	0,01418658	1,65983022	4,70994559	2,3549728
	149 - 123	56	0,01418658	0,79444865		
	149 - 173	88	0,01418658	1,24841931		
	149 - 150	71	0,01418658	1,0072474		
150	150 - 149	71	0,01418658	1,0072474	5,41927475	2,70963737
	150 - 171	190	0,01418658	2,69545079		
	150 - 124	47	0,01418658	0,66676941		

	150 - 174	74	0,01418658	1,04980715		
151	151 - 125	10,2	0,01418658	0,14470315	5,54979131	2,77489566
	151 - 175	174	0,01418658	2,46846546		
	151 - 176	207	0,01418658	2,9366227		
152	152 - 125	97,4	0,01418658	1,3817732	10,1278017	5,06390084
	152 - 142	431	0,01418658	6,11441732		
	152 - 177	185,5	0,01418658	2,63161117		
153	153 - 125	92	0,01418658	1,30516565	3,19907449	1,59953725
	153 - 178	56,5	0,01418658	0,80154195		
	153 - 179	77	0,01418658	1,0923669		
154	154 - 127	79	0,01418658	1,12074007	1,12074007	0,56037003
155	155 - 127	22,5	0,01418658	0,31919812	2,76638371	1,38319185
	155 - 180	107	0,01418658	1,51796439		
	155 - 181	65,5	0,01418658	0,92922119		
156	156 - 130	9	0,01418658	0,12767925	0,36885116	0,18442558
	156 - 182	5	0,01418658	0,07093292		
	156 - 183	12	0,01418658	0,170239		
157	157 - 130	45	0,01418658	0,63839624	1,64564364	0,82282182
	157 - 184	12	0,01418658	0,170239		
	157 - 185	29	0,01418658	0,41141091		
	157 - 186	30	0,01418658	0,42559749		
158	158 - 132	8	0,01418658	0,11349266	0,11349266	0,05674633
159	159 - 135	51	0,01418658	0,72351574	1,77332289	0,88666144
	159 - 187	56,5	0,01418658	0,80154195		
	159 - 188	17,5	0,01418658	0,2482652		
160	160 - 135	7,5	0,01418658	0,10639937	0,10639937	0,05319969
161	161 - 136	35	0,01418658	0,49653041	1,98612164	0,99306082
	161 - 189	80	0,01418658	1,13492665		
	161 - 190	25	0,01418658	0,35466458		
162	162 - 137	75,5	0,01418658	1,07108702	2,74794115	1,37397057
	162 - 191	77,5	0,01418658	1,09946019		
	162 - 192	40,7	0,01418658	0,57739393		
163	163 - 137	106	0,01418658	1,50377781	1,50377781	0,7518889
164	164 - 140	179	0,01418658	2,53939838	3,41896653	1,70948327
	164 - 193	58	0,01418658	0,82282182		
	164 - 194	4	0,01418658	0,05674633		
165	165 - 140	66	0,01418658	0,93631449	6,0505777	3,02528885
	165 - 172	139	0,01418658	1,97193505		
	156 - 174	32,5	0,01418658	0,46106395		
	156 - 195	189	0,01418658	2,68126421		
166	166 - 114	160	0,01418658	2,2698533	3,3622202	1,6811101
	166 - 141	58	0,01418658	0,82282182		
	166 - 193	19	0,01418658	0,26954508		
167	167 - 141	205,5	0,01418658	2,91534283	6,39814898	3,19907449
	167 - 196	81	0,01418658	1,14911323		
	167 - 197	128	0,01418658	1,81588264		

	167 - 223	36,5	0,01418658	0,51781028		
168	168 - 142	152	0,01418658	2,15636063	9,97316793	4,98658396
	168 - 198	205	0,01418658	2,90824954		
	168 - 199	346	0,01418658	4,90855776		
169	169 - 144	8	0,01418658	0,11349266	1,04980715	0,52490358
	169 - 148	59	0,01418658	0,8370084		
	169 - 200	7	0,01418658	0,09930608		
170	170 - 145	40	0,01418658	0,56746332	3,14942145	1,57471073
	170 - 201	99	0,01418658	1,40447173		
	170 - 202	83	0,01418658	1,1774864		
171	171 - 146	56,5	0,01418658	0,80154195	4,62482609	2,31241305
	171 - 150	190	0,01418658	2,69545079		
	171 - 203	79,5	0,01418658	1,12783336		
172	172 - 165	139	0,01418658	1,97193505	3,97224327	1,98612164
	172 - 173	44	0,01418658	0,62420966		
	172 - 148	39	0,01418658	0,55327674		
	172 - 200	58	0,01418658	0,82282182		
173	173 - 149	88	0,01418658	1,24841931	3,48989945	1,74494972
	173 - 172	44	0,01418658	0,62420966		
	173 - 174	114	0,01418658	1,61727047		
174	174 - 150	74	0,01418658	1,04980715	5,82359237	2,91179618
	174 - 165	32,5	0,01418658	0,46106395		
	174 - 173	114	0,01418658	1,61727047		
	174 - 203	190	0,01418658	2,69545079		
175	175 - 151	174	0,01418658	2,46846546	2,81603675	1,40801837
	175 - 204	5	0,01418658	0,07093292		
	175 - 205	19,5	0,01418658	0,27663837		
176	176 - 151	207	0,01418658	2,9366227	3,91549694	1,95774847
	176 - 205	64	0,01418658	0,90794132		
	176 - 206	5	0,01418658	0,07093292		
177	177 - 152	185,5	0,01418658	2,63161117	6,24209657	3,12104828
	177 - 207	5	0,01418658	0,07093292		
	177 - 208	61	0,01418658	0,86538157		
	177 - 209	188,5	0,01418658	2,67417092		
178	178 - 153	56,5	0,01418658	0,80154195	0,80154195	0,40077097
179	179 - 153	77	0,01418658	1,0923669	1,0923669	0,54618345
180	180 - 155	107	0,01418658	1,51796439	2,93236673	1,46618336
	180 - 210	9	0,01418658	0,12767925		
	180 - 211	90,7	0,01418658	1,28672309		
181	181 - 155	65,5	0,01418658	0,92922119	0,92922119	0,4646106
182	182 - 156	5	0,01418658	0,07093292	0,07093292	0,03546646
183	183 - 156	12	0,01418658	0,170239	0,170239	0,0851195
184	184 - 157	12	0,01418658	0,170239	0,170239	0,0851195
185	185 - 157	29	0,01418658	0,41141091	0,41141091	0,20570546
186	186 - 157	30	0,01418658	0,42559749	1,3477254	0,6738627
	186 - 212	14	0,01418658	0,19861216		

	186 - 213	6	0,01418658	0,0851195		
	186 - 214	45	0,01418658	0,63839624		
187	187 - 159	56,5	0,01418658	0,80154195	0,80154195	0,40077097
188	188 - 159	17,5	0,01418658	0,2482652	0,2482652	0,1241326
189	189 - 161	80	0,01418658	1,13492665	2,17054722	1,08527361
	189 - 215	20	0,01418658	0,28373166		
	189 - 216	53	0,01418658	0,7518889		
190	190 - 161	25	0,01418658	0,35466458	0,35466458	0,17733229
191	191 - 162	77,5	0,01418658	1,09946019	1,09946019	0,5497301
192	192 - 162	40,7	0,01418658	0,57739393	1,91093275	0,95546637
	192 - 217	40	0,01418658	0,56746332		
	192 - 218	54	0,01418658	0,76607549		
193	193 - 164	58	0,01418658	0,82282182	1,15620652	0,57810326
	193 - 218+	4,5	0,01418658	0,06383962		
	193 - 166	19	0,01418658	0,26954508		
194	194 - 164	4	0,01418658	0,05674633	0,97887423	0,48943712
	194 - 218+	58	0,01418658	0,82282182		
	194 - 219	7	0,01418658	0,09930608		
195	195 - 165	189	0,01418658	2,68126421	3,71688478	1,85844239
	195 - 203	43	0,01418658	0,61002307		
	195 - 220	30	0,01418658	0,42559749		
196	196 - 221	81	0,01418658	1,14911323	4,49714685	2,24857342
	196 - 222	60	0,01418658	0,85119499		
	196 - 167	176	0,01418658	2,49683863		
197	197 - 167	128	0,01418658	1,81588264	6,19953682	3,09976841
	197 - 223	70	0,01418658	0,99306082		
	197 - 224	239	0,01418658	3,39059336		
198	198 - 168	205	0,01418658	2,90824954	2,90824954	1,45412477
199	199 - 168	346	0,01418658	4,90855776	4,90855776	2,45427888
200	200 - 169	7	0,01418658	0,09930608	0,99306082	0,49653041
	200 - 172	58	0,01418658	0,82282182		
	200 - 225	5	0,01418658	0,07093292		
201	201 - 170	99	0,01418658	1,40447173	3,92968352	1,96484176
	201 - 226	111	0,01418658	1,57471073		
	201 - 227	67	0,01418658	0,95050107		
202	202 - 170	83	0,01418658	1,1774864	2,10670759	1,0533538
	202 - 228	34	0,01418658	0,48234383		
	202 - 229	31,5	0,01418658	0,44687737		
203	203 - 171	79,5	0,01418658	1,12783336	4,43330722	2,21665361
	203 - 1174	190	0,01418658	2,69545079		
	203 - 195	43	0,01418658	0,61002307		
204	204 - 175	5	0,01418658	0,07093292	0,07093292	0,03546646
205	205 - 175	19,5	0,01418658	0,27663837	2,39043925	1,19521963
	205 - 176	5	0,01418658	0,07093292		
	205 - 230	7	0,01418658	0,09930608		
	205 - 231	137	0,01418658	1,94356189		

206	206 - 166	5	0,01418658	0,07093292	0,07093292	0,03546646
207	207 - 177	5	0,01418658	0,07093292	4,25597493	2,12798747
	207 - 232	135	0,01418658	1,91518872		
	207 - 232	160	0,01418658	2,2698533		
208	208 - 177	61	0,01418658	0,86538157	3,24163424	1,62081712
	208 - 233	70	0,01418658	0,99306082		
	208 - 234	97,5	0,01418658	1,38319185		
209	209 - 177	188,5	0,01418658	2,67417092	6,83083977	3,41541988
	209 - 235	210	0,01418658	2,97918245		
	209 - 236	83	0,01418658	1,1774864		
210	210 - 180	9	0,01418658	0,12767925	1,9293753	0,96468765
	210 - 237	118,5	0,01418658	1,6811101		
	210 - 238	8,5	0,01418658	0,12058596		
211	211 - 180	71	0,01418658	1,0072474	1,0072474	0,5036237
212	212 - 186	14	0,01418658	0,19861216	0,19861216	0,09930608
213	213 - 186	6	0,01418658	0,0851195	0,0851195	0,04255975
214	214 - 186	45	0,01418658	0,63839624	1,2626059	0,63130295
	214 - 239	7	0,01418658	0,09930608		
	214 - 240	37	0,01418658	0,52490358		
215	215 - 189	20	0,01418658	0,28373166	0,28373166	0,14186583
216	216 - 180	53	0,01418658	0,7518889	1,39028515	0,69514257
	216 - 241	12	0,01418658	0,170239		
	216 - 242	33	0,01418658	0,46815724		
217	217 - 192	40	0,01418658	0,56746332	0,56746332	0,28373166
218	218 - 192	54	0,01418658	0,76607549	1,75913631	0,87956815
	218 - 193	4,5	0,01418658	0,06383962		
	218 - 194	58	0,01418658	0,82282182		
	218 - 222	7,5	0,01418658	0,10639937		
219	219 - 194	7	0,01418658	0,09930608	3,79491098	1,89745549
	219 - 220	32	0,01418658	0,45397066		
	219 - 221	170	0,01418658	2,41171913		
	219 - 222	58,5	0,01418658	0,82991511		
220	220 - 195	30	0,01418658	0,42559749	2,90824954	1,45412477
	220 - 219	32	0,01418658	0,45397066		
	220 - 226	143	0,01418658	2,02868139		
221	221 - 196	60	0,01418658	0,85119499	4,14957556	2,07478778
	221 - 219	170	0,01418658	2,41171913		
	221 - 226	62,5	0,01418658	0,88666144		
222	222 - 219	58,5	0,01418658	0,82991511	3,43315311	1,71657656
	222 - 218	7,5	0,01418658	0,10639937		
	222 - 196	176	0,01418658	2,49683863		
223	223 - 167	36,5	0,01418658	0,51781028	2,22020026	1,11010013
	223 - 197	70	0,01418658	0,99306082		
	223 - 243	50	0,01418658	0,70932916		
224	224 - 197	239	0,01418658	3,39059336	8,58288278	4,29144139
	224 - 244	114	0,01418658	1,61727047		

	224 - 245	252	0,01418658	3,57501894		
225	225 - 200	5	0,01418658	0,07093292	0,07093292	0,03546646
226	226 - 201	111	0,01418658	1,57471073	4,49005356	2,24502678
	226 - 220	143	0,01418658	2,02868139		
	226 - 221	62,5	0,01418658	0,88666144		
227	227 - 201	67	0,01418658	0,95050107	2,97918245	1,48959123
	227 - 246	99	0,01418658	1,40447173		
	227 - 247	44	0,01418658	0,62420966		
228	228 - 202	34	0,01418658	0,48234383	0,48234383	0,24117191
229	229 - 202	31,5	0,01418658	0,44687737	0,44687737	0,22343868
230	230 - 205	7	0,01418658	0,09930608	1,77332289	0,88666144
	230 - 248	25,5	0,01418658	0,36175787		
	230 - 249	92,5	0,01418658	1,31225894		
231	231 - 205	137	0,01418658	1,94356189	1,94356189	0,97178094
232	232 - 207	160	0,01418658	2,2698533	4,2843481	2,14217405
	232 - 207	135	0,01418658	1,91518872		
	232 - 250	7	0,01418658	0,09930608		
233	233 - 208	70	0,01418658	0,99306082	2,14926734	1,07463367
	233 - 251	40	0,01418658	0,56746332		
	233 - 252	41,5	0,01418658	0,5887432		
234	234 - 208	97,5	0,01418658	1,38319185	3,8658439	1,93292195
	234 - 252	128	0,01418658	1,81588264		
	234 - 253	47	0,01418658	0,66676941		
235	235 - 209	210	0,01418658	2,97918245	2,97918245	1,48959123
236	236 - 209	83	0,01418658	1,1774864	4,35528102	2,17764051
	236 - 254	138	0,01418658	1,95774847		
	236 - 255	86	0,01418658	1,22004615		
237	237 - 210	118,5	0,01418658	1,6811101	4,66029255	2,33014628
	237 - 256	180	0,01418658	2,55358496		
	237 - 257	30	0,01418658	0,42559749		
238	238 - 210	8,5	0,01418658	0,12058596	0,12058596	0,06029298
239	239 - 214	7	0,01418658	0,09930608	0,09930608	0,04965304
240	240 - 214	37	0,01418658	0,52490358	1,05690044	0,52845022
	240 - 258	8	0,01418658	0,11349266		
	240 - 259	29,5	0,01418658	0,4185042		
241	241 - 216	12	0,01418658	0,170239	0,170239	0,0851195
242	242 - 216	33	0,01418658	0,46815724	1,04980715	0,52490358
	242 - 260	12	0,01418658	0,170239		
	242 - 261	29	0,01418658	0,41141091		
243	243 - 223	50	0,01418658	0,70932916	6,83083977	3,41541988
	243 - 263	365,5	0,01418658	5,18519613		
	243 - 262	66	0,01418658	0,93631449		
244	244 - 224	144	0,01418658	2,04286797	5,19228942	2,59614471
	244 - 264	137	0,01418658	1,94356189		
	244 - 265	85	0,01418658	1,20585956		
245	245 - 224	252	0,01418658	3,57501894	3,57501894	1,78750947

246	246 - 227	99	0,01418658	1,40447173	1,40447173	0,70223586
247	247 - 227	44	0,01418658	0,62420966	1,65983022	0,82991511
	247 - 266	54	0,01418658	0,76607549		
	247 - 267	19	0,01418658	0,26954508		
248	248 - 230	25,5	0,01418658	0,36175787	1,80878935	0,90439467
	248 - 268	14,5	0,01418658	0,20570546		
	248 - 269	87,5	0,01418658	1,24132602		
249	249 - 230	92,5	0,01418658	1,31225894	2,90824954	1,45412477
	249 - 270	43,5	0,01418658	0,61711637		
	249 - 271	69	0,01418658	0,97887423		
250	250-232	7	0,01418658	0,09930608	0,09930608	0,04965304
251	251 - 233	40	0,01418658	0,56746332	0,56746332	0,28373166
252	252 - 233	41,5	0,01418658	0,5887432	3,0217422	1,5108711
	252 - 234	128	0,01418658	1,81588264		
	252 - 272	43,5	0,01418658	0,61711637		
253	253 - 234	47	0,01418658	0,66676941	3,1919812	1,5959906
	253 - 272	137	0,01418658	1,94356189		
	253 - 273	41	0,01418658	0,58164991		
254	254 - 236	138	0,01418658	1,95774847	1,95774847	0,97887423
255	255 - 236	86	0,01418658	1,22004615	3,53955249	1,76977624
	255 - 274	37	0,01418658	0,52490358		
	255 - 275	126,5	0,01418658	1,79460276		
256	256 - 237	180	0,01418658	2,55358496	9,09359978	4,54679989
	256 - 257	306	0,01418658	4,34109443		
	256 - 257	155	0,01418658	2,19892038		
257	257 - 237	30	0,01418658	0,42559749	6,96561231	3,48280615
	257 - 256	306	0,01418658	4,34109443		
	257 - 256	155	0,01418658	2,19892038		
258	258 - 240	8	0,01418658	0,11349266	0,11349266	0,05674633
259	259 - 240	29,5	0,01418658	0,4185042	0,98596753	0,49298376
	259 - 261	31	0,01418658	0,43978408		
	259 - 276	9	0,01418658	0,12767925		
260	260 - 242	12	0,01418658	0,170239	0,170239	0,0851195
261	261 - 242	29	0,01418658	0,41141091	1,03562057	0,51781028
	261 - 259	31	0,01418658	0,43978408		
	261 - 277	13	0,01418658	0,18442558		
262	262 - 243	66	0,01418658	0,93631449	4,38365418	2,19182709
	262 - 278	137	0,01418658	1,94356189		
	262 - 278	106	0,01418658	1,50377781		
263	263 - 243	365,5	0,01418658	5,18519613	9,54047714	4,77023857
	263 - 280	5	0,01418658	0,07093292		
	263 - 281	157	0,01418658	2,22729355		
	263 - 282	145	0,01418658	2,05705455		
264	264 - 244	137	0,01418658	1,94356189	1,94356189	0,97178094
265	265 - 244	85	0,01418658	1,20585956	1,20585956	0,60292978
266	266 - 274	54	0,01418658	0,76607549	0,76607549	0,38303774

267	267 - 247	19	0,01418658	0,26954508	0,26954508	0,13477254
268	268 - 248	14,5	0,01418658	0,20570546	0,20570546	0,10285273
269	269 - 248	87,5	0,01418658	1,24132602	1,24132602	0,62066301
270	270 - 249	43,5	0,01418658	0,61711637	0,61711637	0,30855818
271	271 - 249	69	0,01418658	0,97887423	0,97887423	0,48943712
272	272 - 252	43,5	0,01418658	0,61711637	3,14232816	1,57116408
	272 - 253	137	0,01418658	1,94356189		
	272 - 283	41	0,01418658	0,58164991		
273	273 - 253	41	0,01418658	0,58164991	3,24872753	1,62436377
	273 - 283	140	0,01418658	1,98612164		
	273 - 284	48	0,01418658	0,68095599		
274	274 - 255	37	0,01418658	0,52490358	2,9366227	1,46831135
	274 - 285	18	0,01418658	0,2553585		
	274 - 286	152	0,01418658	2,15636063		
275	275 - 255	126,5	0,01418658	1,79460276	16,5912089	8,29560447
	275 - 287	124	0,01418658	1,75913631		
	275 - 288	149	0,01418658	2,11380088		
	275 - 289	770	0,01418658	10,923669		
276	276 - 259	9	0,01418658	0,12767925	0,12767925	0,06383962
277	277 - 261	13	0,01418658	0,18442558	0,18442558	0,09221279
278	278 - 262	137	0,01418658	1,94356189	1,94356189	0,97178094
279	279 - 262	106	0,01418658	1,50377781	1,50377781	0,7518889
280	280 - 263	157	0,01418658	2,22729355	2,22729355	1,11364677
281	281 - 263	157	0,01418658	2,22729355	10,8101763	5,40508817
	281 - 290	21	0,01418658	0,29791825		
	281 - 291	584	0,01418658	8,28496454		
282	282 - 263	145	0,01418658	2,05705455	2,05705455	1,02852728
283	283 - 273	140	0,01418658	1,98612164	3,90131036	1,95065518
	283 - 272	41	0,01418658	0,58164991		
	283 - 292	94	0,01418658	1,33353881		
284	284 - 273	48	0,01418658	0,68095599	2,03577468	1,01788734
	284 - 292	70,5	0,01418658	1,00015411		
	284 - 274	25	0,01418658	0,35466458		
285	285 - 274	18	0,01418658	0,2553585	0,2553585	0,12767925
286	286 - 274	152	0,01418658	2,15636063	2,15636063	1,07818032
287	287 - 275	124	0,01418658	1,75913631	1,75913631	0,87956815
288	288 - 275	149	0,01418658	2,11380088	3,78781769	1,89390885
	288 - 295	30	0,01418658	0,42559749		
	288 - 294	88	0,01418658	1,24841931		
289	289 - 275	770	0,01418658	10,923669	11,8316103	5,91580516
	289 - 296	10	0,01418658	0,14186583		
	289 - 297	54	0,01418658	0,76607549		
290	290 - 281	120	0,01418658	1,70238997	4,07154935	2,03577468
	290 - 298	120	0,01418658	1,70238997		
	290 - 299	47	0,01418658	0,66676941		
291	291 - 281	584	0,01418658	8,28496454	8,28496454	4,14248227

Annexe 4 : Etatsdes nœuds avant la restructuration

ID Noeud	Demande (m ³ /h)	Charge	Pression	ID Noeud	Demande (m ³ /h)	Charge	Pression
3	19,16	203,03	19,03	141	7,39	189,67	4,67
5	13,31	203,03	19,03	193	1,66	191,25	7,25
9	16,07	157,88	-26,12	218	1,42	191,41	9,41
14	4,9	157,45	-17,55	222	4,91	191,59	9,59
15	18,21	153,75	-29,25	196	6,45	192,44	5,44
23	12,22	148,88	26,12	167	9,16	190,61	4,61
36	5,56	145,53	-24,47	116	3,41	188,74	26,74
35	1,98	148,85	-27,15	223	3,17	189,51	4,51
24	21,43	135,5	-45,5	197	8,87	189,44	8,44
37	26,84	111,52	-79,48	224	12,2	188,58	23,58
50	4,57	111,42	-54,58	244	7,43	188,5	27,5
51	18,62	104,82	-62,18	264	2,8	188,43	31,43
67	3,13	104,79	-39,21	265	1,72	188,48	26,48
68	2,38	104,81	-67,19	245	5,16	188,54	41,54
26	35,2	218,89	10,89	49	7,38	160,08	-9,92
4	3,56	202,64	15,64	34	4,46	159,69	-9,31
7	0,98	202,64	13,64	48	6,41	159,68	-8,32
8	4,42	202,58	16,58	65	7,25	159,96	-10,04
13	4,59	202,57	13,57	85	10,7	159,46	-9,54
22	0,45	202,57	12,57	86	10,24	159,39	-12,61
6	29,24	179,27	21,27	139	1,7	159,36	-13,64
16	10,01	210,11	28,11	45	17,27	189,09	32,09
10	16,57	208,94	28,94	70	9,9	191,26	14,26
25	11,18	210,04	23,04	93	16,13	189,15	14,15
11	25,39	177,19	20,19	121	9,49	186,03	23,03
19	3,79	188,35	30,35	91	2,15	191,23	21,23

Annexe

31	44,54	189,23	31,23	92	6,87	190,89	17,89
17	14,99	201,63	44,63	118	2,3	190,88	13,88
27	1,27	201,63	43,63	119	2,84	190,84	18,84
28	3,54	201,08	45,08	142	17,52	187,67	24,67
38	12,25	208,25	24,25	168	14,28	187,56	24,56
53	16,8	206,27	23,27	198	4,16	187,49	19,49
71	5,5	205,79	23,79	199	7,02	187,54	19,54
94	5,2	190,01	10,01	147	1,13	187,54	29,54
122	5,75	189,47	13,47	120	24,94	187,54	28,54
39	17,59	212,66	9,66	18	29,46	158,8	-11,2
52	11,69	211,26	11,26	152	14,52	184,84	14,84
69	12,04	210,04	13,04	21	14,56	158,91	-10,09
90	2,98	209,04	15,04	125	12,39	186,39	15,39
145	4,26	205,83	11,83	151	7,95	186,36	16,36
170	4,51	204,09	12,09	175	4,03	185,6	17,6
117	7,86	203,89	16,89	204	0,11	185,6	17,6
95	9,31	196,45	17,45	205	3,42	185,55	17,55
202	3,01	203,99	15,99	176	5,6	185,63	20,63
229	0,65	203,98	14,98	206	0,11	185,63	20,63
228	0,69	203,98	16,98	230	2,54	185,53	16,53
201	5,62	200,01	11,01	248	2,59	185,51	19,51
227	4,27	199,59	13,59	268	0,29	185,51	20,51
247	2,38	199,55	14,55	269	1,77	185,45	16,45
267	0,39	199,55	14,55	249	4,16	185,4	14,4
266	1,1	199,54	13,54	270	0,88	185,39	16,39
246	2,01	199,56	15,56	271	1,4	185,39	20,39
146	6,23	198,69	18,69	153	4,58	186,29	9,29
124	6,59	193,99	14,99	179	1,56	186,28	14,28

Annexe

194	1,4	191,44	11,44	163	2,15	183,29	7,29
164	4,89	191,33	11,33	192	1,66	183,18	-0,82
166	4,81	190,23	6,23	217	0,81	183,18	9,18
43	13,8	181,3	39,3	191	1,57	183,18	12,18
127	3,28	189,77	12,77	218	1,1	183,17	9,17
154	1,61	189,76	17,76	258	0,16	199,67	44,67
155	3,96	169,74	-7,26	239	0,14	199,69	43,69
180	4,19	162,34	-15,66	186	1,94	199,72	42,72
210	2,76	161,89	-14,11	213	0,12	199,72	42,72
237	6,67	156,89	-26,11	212	0,28	199,72	42,72
256	13,02	156,35	-19,65	157	2,36	199,75	42,75
257	9,98	156,47	-26,53	185	0,58	199,74	41,74
181	1,32	169,73	-12,27	184	0,24	199,75	42,75
238	0,17	161,89	-15,11	156	0,54	199,8	39,8
211	1,44	162,33	-19,67	182	0,11	199,8	38,8
128	4,18	196,15	15,15	183	0,24	199,8	39,8
126	8,69	196,64	16,64	177	8,94	141,55	-33,45
41	12,04	200,12	29,12	207	6,1	141,51	-33,49
58	2,11	200,12	34,12	232	6,13	141,42	-40,58
59	4,03	199,98	36,98	250	0,14	141,42	-41,58
60	5,22	199,94	34,94	208	4,64	128,53	-46,47
79	1,87	199,92	29,92	233	3,08	125,3	-48,7
104	0,19	199,92	30,92	251	0,81	125,29	-48,71
103	0,81	199,92	31,92	252	4,32	123,85	-53,15
78	2,94	199,62	36,62	234	5,54	123,88	-54,12
101	1,48	199,62	38,62	253	4,57	122,6	-55,4
132	1,26	199,62	39,62	273	4,65	121,85	-59,15
136	1,65	199,62	40,62	284	2,9	121,21	-61,79

Annexe

106	1,85	199,92	38,92	293	1,42	120,83	-62,17
80	3,46	199,92	37,92	300	1,51	121,28	-61,72
105	2,06	199,89	34,89	272	4,52	122,6	-46,4
133	0,18	199,89	35,89	283	5,59	121,88	-58,12
134	1,01	199,88	32,88	292	4,84	121,29	-61,71
135	2,52	199,86	39,86	307	2,26	120,63	-56,37
160	0,15	199,86	39,86	308	4,91	120,52	-54,48
159	2,54	199,84	46,84	315	0,14	120,52	-54,48
187	1,14	199,84	49,84	316	0,08	120,52	-54,48
188	0,35	199,84	44,84	313	0,06	120,63	-56,37
161	2,84	199,62	45,62	314	0,16	120,63	-55,37
190	0,51	199,62	44,62	209	9,79	125,65	-47,35
189	3,12	199,63	46,63	235	3,98	124,23	-50,77
215	0,41	199,62	46,62	236	6,24	120,08	-46,92
76	1,54	199,9	37,9	254	2,8	120,05	-47,95
99	1,54	199,86	38,86	255	5,07	115,35	-52,65
130	2	199,8	40,8	274	4,2	115,31	-54,69
158	0,16	199,62	40,62	286	3,09	115,28	-49,72
131	0,2	199,62	39,62	285	0,37	115,31	-54,69
102	0,24	199,62	38,62	275	23,77	109,79	-59,21
77	0,24	199,98	37,98	287	2,52	109,77	-60,23
100	0,22	199,9	38,9	288	5,43	107,73	-56,27
129	0,22	199,86	39,86	295	5,38	107,5	-55,5
216	1,99	199,63	45,63	294	1,79	107,71	-56,29
242	1,49	199,64	45,64	318	0,14	107,29	-54,71
261	1,47	199,65	45,65	302	3,91	107,29	-54,71
259	1,41	199,66	44,66	317	1,34	107,28	-53,72
240	1,51	199,67	44,67	304	4,62	107,39	-55,61

Annexe 5 :Etat des conduites avant la restructuration

	D	Débit	Vitesse	Pert Charge Unit.	etat		Diamètre	Débit	Vitesse	Pert Charge Unit.	etat
ID Arc (tuyau)	mm	M3H	m/s		m/km	ID Arc (tuyau)	mm	M3H	m/s		m/km
R1 - 3	150	155,76	2,45	46,9	Ouvert	11 - 19	100	-66,95	2,37	73,41	Ouvert
3 - 5	125	-1,19	0,03	0,01	Ouvert	19 - 31	100	-165,46	5,85	440,48	Ouvert
5 - 9	125	135,91	3,08	92,71	Ouvert	3 - 4	100	14	0,5	3,49	Ouvert
9 - 14	73,6	4,9	0,32	1,77	Ouvert	26 - 31	200	227,27	2,01	22,14	Ouvert
9 - 15	125,0	114,94	2,6	66,58	Ouvert	10 - 17	300	477,99	1,88	11,7	Ouvert
15 - 23	73,5	19,76	1,29	21,18	Ouvert	17 - 27	100	1,27	0,04	0,04	Ouvert
23 - 35	73,6	1,98	0,13	0,37	Ouvert	17 - 28	300	461,73	1,81	10,93	Ouvert
23 - 36	51,4	5,56	0,74	12,24	Ouvert	25 - 38	150	114,73	1,8	26,79	Ouvert
15 - 24	125	76,97	1,74	30,22	Ouvert	38 - 53	150	136,04	2,14	37,49	Ouvert
24 - 37	100	55,54	1,96	53,17	Ouvert	53 - 71	150	67,16	1,06	9,37	Ouvert
37 - 50	100	4,57	0,16	0,44	Ouvert	71 - 94	50	29,94	4,24	287,02	Ouvert
37 - 51	100	24,13	0,85	10,38	Ouvert	94 - 122	125	44	1	10,54	Ouvert
51 - 68	100	2,38	0,08	0,13	Ouvert	25 - 39	200	-116,49	1,03	5,98	Ouvert
51 - 67	100	3,13	0,11	0,22	Ouvert	38 - 52	125	33,56	0,76	6,22	Ouvert
R1 - 26	300	926,87	3,64	43,27	Ouvert	53 - 69	80	-11,24	0,62	7,48	Ouvert
4 - 8	80	9,46	0,52	3,8	Ouvert	52 - 69	250	-533,01	3,02	26,22	Ouvert
4 - 7	100	0,98	0,03	0,02	Ouvert	39 - 52	250	-578,26	3,27	30,64	Ouvert
8 - 13	70	4,2	0,3	1,72	Ouvert	69 - 90	250	509,73	2,88	24,08	Ouvert
8 - 13	70	0,84	0,06	0,11	Ouvert	90 - 145	200	-493,45	4,36	107,07	Ouvert
13 - 22	70	0,45	0,03	0,02	Ouvert	145 - 170	200	313,78	2,77	43,64	Ouvert
3 - 6	150	-123,79	1,95	29,83	Ouvert	117 - 145	200	175,41	1,55	13,85	Ouvert
16 - 26	300	664,4	2,61	22,4	Ouvert	95 - 117	80	39,11	2,16	85,57	Ouvert
10 - 16	300	644,97	2,53	21,12	Ouvert	71 - 95	80	-31,73	1,75	56,64	Ouvert
5 - 10	150	150,41	2,36	43,78	Ouvert	170 - 202	80	4,35	0,24	1,23	Ouvert
16 - 25	100	9,42	0,33	1,7	Ouvert	202 - 228	80	0,69	0,04	0,03	Ouvert
6 - 11	100	52,73	1,87	45,89	Ouvert	202 - 229	80	0,65	0,04	0,03	Ouvert
247 - 267	80	0,39	0,02	0,01	Ouvert	170 - 201	200	304,92	2,7	41,23	Ouvert
227 - 246	80	2,01	0,11	0,3	Ouvert	201 - 227	80	10,15	0,56	6,14	Ouvert
247 - 266	80	1,1	0,06	0,1	Ouvert	227 - 247	80	3,87	0,21	0,99	Ouvert
124 - 146	80	20,8	1,15	24,74	Ouvert	201 - 226	200	-289,15	2,56	37,12	Ouvert
123 - 124	80	18,74	1,04	20,17	Ouvert	148 - 169	150	61,23	0,96	7,82	Ouvert
94 - 123	80	19,26	1,06	21,29	Ouvert	169 - 200	80	-12,47	0,69	9,14	Ouvert
95 - 123	80	31,53	1,74	55,97	Ouvert	172 - 200	80	-14	0,77	11,44	Ouvert
95 - 124	80	29,99	1,66	50,72	Ouvert	200 - 225	80	0,11	0,01	0	Ouvert
117 - 146	125	128,44	2,91	86,75	Ouvert	144 - 169	150	72,21	1,14	10,79	Ouvert
122 - 149	80	-16,57	0,92	15,87	Ouvert	140 - 165	80	13,95	0,77	11,36	Ouvert
123 - 149	80	-24,31	1,34	33,57	Ouvert	140 - 143	100	17,73	0,63	5,71	Ouvert
149 - 150	80	-15,08	0,83	13,21	Ouvert	143 - 144	100	-8,18	0,29	1,3	Ouvert
150 - 171	80	-17,51	0,97	17,67	Ouvert	115 - 144	150	47,57	0,75	4,78	Ouvert
146 - 171	125	-101,41	2,3	54,37	Ouvert	115 - 143	250	-21,86	0,12	0,08	Ouvert
49 - 66	100	-71,19	2,52	86,81	Ouvert	151 - 175	100	15,71	0,56	4,35	Ouvert
34 - 49	100	-26,07	0,92	12,07	Ouvert	175 - 204	100	0,11	0	0	Ouvert

Annexe

34 - 48	100	6,41	0,23	0,8	Ouvert	175 - 205	100	-11,57	0,41	2,43	Ouvert
49 - 65	100	37,74	1,33	21,34	Ouvert	176 - 205	100	-8,28	0,29	1,29	Ouvert
65 - 86	100	11,3	0,4	2,14	Ouvert	151 - 176	100	-13,99	0,49	3,49	Ouvert
65 - 85	100	19,19	0,68	5,82	Ouvert	176 - 206	100	0,11	0	0	Ouvert
85 - 86	100	4,18	0,15	0,35	Ouvert	205 - 230	100	-13,63	0,48	3,32	Ouvert
31 - 45	200	17,27	0,15	0,16	Ouvert	230 - 248	85	4,65	0,23	0,81	Ouvert
53 - 70	100	63,32	2,24	68,86	Ouvert	248 - 268	85	0,29	0,01	0,01	Ouvert
70 - 93	100	39,26	1,39	26,87	Ouvert	248 - 269	85	1,77	0,09	0,66	Ouvert
125 - 153	100	-7,28	0,26	1,01	Ouvert	230 - 249	85	6,44	0,32	1,44	Ouvert
153 - 178	100	1,14	0,04	0,04	Ouvert	249 - 270	85	0,88	0,04	0,04	Ouvert
153 - 179	80	1,56	0,09	0,18	Ouvert	249 - 271	85	1,4	0,07	0,1	Ouvert
12 - 21	100	-14,81	0,52	4,03	Ouvert	82 - 109	100	8,4	0,3	1,33	Ouvert
6 - 12	100	-41,82	1,48	30,42	Ouvert	109 - 137	100	15,17	0,54	4,07	Ouvert
12 - 20	80	3,89	0,21	0,91	Ouvert	137 - 162	100	9,08	0,32	1,54	Ouvert
20 - 33	80	2,71	0,15	0,42	Ouvert	137 - 163	100	2,15	0,08	0,11	Ouvert
33 - 47	70	0,18	0,01	0,01	Ouvert	162 - 191	100	1,57	0,06	0,06	Ouvert
33 - 46	70	1	0,07	0,14	Ouvert	162 - 192	100	3,57	0,13	0,27	Ouvert
20 - 32	70	0,14	0,01	0,01	Ouvert	192 - 217	100	0,81	0,03	0,01	Ouvert
97 - 125	200	-248,9	2,2	26,48	Ouvert	192 - 218	100	1,1	0,04	0,03	Ouvert
75 - 97	200	-274,8	2,43	32,19	Ouvert	30 - 43	100	13,8	0,49	3,4	Ouvert
75 - 98	80	-58,14	3,21	157,31	Ouvert	98 - 127	80	48,4	2,67	109,73	Ouvert
19 - 30	100	94,72	3,35	145,72	Ouvert	127 - 155	80	43,51	2,4	89,05	Ouvert
44 - 62	80	1,76	0,1	0,23	Ouvert	155 - 180	80	38,23	2,11	69,13	Ouvert
30 - 44	200	-59,71	0,53	1,64	Ouvert	180 - 210	80	32,6	1,8	50,65	Ouvert
44 - 64	200	39,63	0,35	0,67	Ouvert	210 - 237	80	29,67	1,64	42,17	Ouvert
64 - 84	80	1,14	0,06	0,11	Ouvert	237 - 257	80	15,87	0,88	13,99	Ouvert
44 - 63	100	11,2	0,4	2,29	Ouvert	256 - 257	80	3,49	0,19	0,79	Ouvert
63 - 81	80	4,22	0,23	1,13	Ouvert	273 - 256	80	-7,13	0,39	3,01	Ouvert
81 - 107	80	0,69	0,04	0,03	Ouvert	256 - 257	80	2,4	0,13	0,4	Ouvert
81 - 108	80	0,79	0,04	0,05	Ouvert	127...154	80	1,61	0,09	0,19	Ouvert
64 - 83	200	35,91	0,32	0,62	Ouvert	155 - 181	80	1,32	0,07	0,13	Ouvert
82 - 110	80	-1,04	0,06	0,09	Ouvert	210 - 238	80	0,17	0,01	0,01	Ouvert
63 - 82	100	-0,1	0	0	Ouvert	180 - 211	80	1,44	0,08	0,15	Ouvert
83 - 111	200	30,81	0,27	0,47	Ouvert	98 - 128	80	4,18	0,23	1,03	Ouvert
83 - 112	80	1,82	0,1	0,24	Ouvert	97 - 126	100	8,69	0,31	1,41	Ouvert
111 - 138	80	1,1	0,06	0,1	Ouvert	28 - 41	200	79,41	0,7	2,84	Ouvert
109 - 111	200	27,59	0,24	0,38	Ouvert	41 - 59	150	36,13	0,57	2,71	Ouvert
79 - 104	51,4	0,19	0,03	0,03	Ouvert	41 - 58	150	2,11	0,03	0,02	Ouvert
79 - 103	80	0,81	0,04	0,05	Ouvert	41 - 6	150	29,13	0,46	1,8	Ouvert
59 - 78	50	2,33	0,33	3,98	Ouvert	60 - 79	80	2,87	0,16	0,55	Ouvert
78 - 101	150	-0,85	0,01	0	Ouvert	132 - 158	51,4	-0,16	0,02	0,03	Ouvert
101 - 132	150	-2,53	0,04	0,02	Ouvert	189 - 216	150	-6,7	0,11	0,12	Ouvert
132 - 136	150	-3,95	0,06	0,05	Ouvert	216 - 242	150	-8,93	0,14	0,2	Ouvert
159 - 187	100	1,14	0,04	0,04	Ouvert	284 - 293	80	16,67	0,92	15,39	Ouvert
159 - 188	51,4	0,35	0,05	0,06	Ouvert	283 - 292	80	10,49	0,58	6,3	Ouvert
136 - 161	150	0,18	0	0	Ouvert	284 - 292	80	4,14	0,23	1,09	Ouvert
161 - 190	51,4	0,51	0,07	0,18	Ouvert	292 - 300	80	1,51	0,08	0,17	Ouvert
161 - 189	150	-3,17	0,05	0,03	Ouvert	293 - 301	100	15,25	0,54	4,11	Ouvert

Annexe 6 : État des Nœuds du Réseau après la restructuration

Nœud	Demande	Charge	Pression	Nœud	Demande	Charge	Pression
ID	M ³ /H	m	m	ID	M ³ /H	m	m
3	19,16	225,66	41,66	150	7,75	224,29	47,29
5	13,31	224,96	40,96	149	6,74	223,9	47,9
9	16,07	219,39	35,39	148	4,32	223,99	54,99
14	4,9	217,63	42,63	172	5,69	223,93	53,93
15	18,21	218,24	35,24	165	8,67	223,95	49,95
23	12,22	214,7	39,7	195	5,32	225,01	45,01
36	5,56	211,35	41,35	174	8,33	224,01	49,01
35	1,98	213,98	37,98	173	4,99	223,92	53,92
24	21,43	216,36	35,36	203	6,45	226,34	42,34
37	26,84	214,29	43,29	220	4,16	225,01	43,01
50	4,57	213,41	47,41	226	6,45	227,63	43,63
51	18,62	204,79	37,79	169	1,49	223,69	54,69
67	3,13	204,19	40,19	200	1,42	223,69	53,69
68	2,38	204,34	32,34	225	0,11	223,66	54,66
26	35,2	226,17	19,17	144	4,03	223,65	53,65
4	3,56	224,41	37,41	143	4,05	223,64	53,64
7	0,98	224,22	35,22	140	9,68	223,85	48,85
8	4,42	224,35	38,35	115	7,64	223,64	53,64
13	4,59	224,29	35,29	87	5,9	223,8	48,8
22	0,45	224,1	34,1	114	8,18	223,84	44,84
6	29,24	223,43	65,43	66	10,88	223,96	41,96
16	10,01	225,39	35,39	88	3,91	223,97	39,97
10	16,57	224,98	44,98	115	5,45	224,19	39,19
25	11,18	225,32	38,32	89	6,68	224	40
11	25,39	223,08	66,08	221	5,94	227,52	42,52
19	3,79	221,94	64,94	219	5,43	224,67	43,67
31	44,54	221,96	63,96	194	1,4	224,6	44,6
17	14,99	220,59	63,59	164	4,89	224,57	44,57
27	1,27	219,85	57,85	166	4,81	224,33	40,33
28	3,54	220,41	64,41	141	7,39	224,3	39,3
38	12,25	225,13	41,13	193	1,66	224,5	40,5
53	16,8	224,94	41,94	218	1,42	224,55	42,55
71	5,5	224,7	42,7	222	4,91	224,62	42,62
94	5,2	224,52	44,52	196	6,45	227,42	40,42
122	5,75	224,35	48,35	167	9,16	227,3	41,3
39	17,59	228,43	25,43	116	3,41	223,87	53,87
52	11,69	228,34	28,34	223	3,17	226,87	41,87
69	12,04	228,25	31,25	197	8,87	226,56	45,56
90	2,98	228,18	34,18	224	12,2	190	25
145	4,26	228,14	34,14	244	7,43	189,56	28,56
170	4,51	228,04	36,04	264	2,8	188,65	31,65
117	7,86	228,15	41,15	265	1,72	189	27
95	9,31	223,15	44,15	245	5,16	189,32	42,32
202	3,01	225,25	37,25	49	7,38	223,3	53,3

Annexe

229	0,65	225,04	36,04	34	4,46	222,4	53,4
228	0,69	225,02	38,02	48	6,41	222,38	54,38
201	5,62	227,83	38,83	65	7,25	223,17	53,17
227	4,27	227,31	41,31	85	10,7	222,37	53,37
247	2,38	226	41	86	10,24	222,04	50,04
267	0,39	225,87	40,87	139	1,7	219,43	46,43
266	1,1	225,67	39,67	45	17,27	220,67	58,67
246	2,01	226,71	42,71	70	9,9	224,54	47,54
146	6,23	227,36	47,36	93	16,13	224,32	49,32
124	6,59	223,43	45,43	121	9,49	221,21	56,21
123	6,7	223,26	45,26	91	2,15	224,07	54,07
171	6,64	226,63	42,63	92	6,87	222,92	49,92
142	17,52	222,33	57,33	118	2,3	222,88	45,88
168	14,28	220,99	56,99	119	2,84	222,4	50,4
198	4,16	220,23	52,23	175	4,03	214,29	46,29
199	7,02	219,29	51,29	204	0,11	214,27	46,27
147	1,13	219,1	55,1	205	3,42	214	46
120	24,94	219,25	59,25	176	5,6	214,6	49,6
18	29,46	223,08	53,08	206	0,11	214,58	49,58
152	14,52	220,68	50,68	230	2,54	213,79	44,79
21	14,56	222,4	53,4	248	2,59	213,49	47,49
125	12,39	220,05	49,05	268	0,29	213,44	48,44
151	7,95	219,92	49,92	269	1,77	211,39	42,39
153	4,58	218,72	41,72	249	4,16	212,68	41,68
179	1,56	218,23	46,23	270	0,88	212,52	43,52
178	1,14	218,51	39,51	271	1,4	212,44	47,44
12	23,12	220,07	41,07	20	1,04	219,71	42,71
33	1,53	219,52	42,52	32	0,14	219,67	43,67
47	0,18	219,47	41,47	43	13,8	214,1	64,1
46	1	219,25	42,25	127	3,28	219,6	42,6
97	17,21	220,04	41,04	154	1,61	219,13	47,13
75	9,01	220,04	41,04	155	3,96	218,27	41,27
98	5,56	219,97	39,97	180	4,19	217,86	39,86
30	21,21	221,81	68,81	210	2,76	217,71	41,71
44	7,12	220,96	57,96	237	6,67	216,64	33,64
62	1,76	220,14	55,14	256	13,02	214,12	38,12
64	2,58	220,87	55,87	257	9,98	216,16	33,16
84	1,14	220,54	56,54	181	1,32	217,91	35,91
63	6,88	219,7	57,7	238	0,17	217,66	40,66
81	2,74	218,14	54,14	211	1,44	217,34	35,34
108	0,79	217,88	56,88	128	4,18	218,86	37,86
107	0,69	217,92	53,92	126	8,69	217,93	37,93
82	7,46	219,75	49,75	41	12,04	201	30
110	1,04	219,45	47,45	58	2,11	200,96	34,96
83	3,28	220,72	51,72	59	4,03	200,54	37,54
138	1,1	220,33	48,33	60	5,22	199,91	34,91
112	1,82	220,12	48,12	79	1,87	199,44	29,44
111	2,12	220,64	48,64	104	0,19	199,37	30,37

Annexe

	4,02	220,6	47,6	103	0,81	199,22	31,22
137	3,94	220,52	47,52	78	2,94	199,56	36,56
162	3,94	218,53	43,53	101	1,48	199,56	38,56
163	2,15	220,14	44,14	132	1,26	199,56	39,56
192	1,66	218,09	34,09	136	1,65	199,57	40,57
217	0,81	218	48	106	1,85	199,71	38,71
191	1,57	218,24	47,24	80	3,46	199,72	37,72
218	1,1	217,9	43,9	105	2,06	199,29	34,29
134	1,01	199,04	32,04	133	0,18	199,22	35,22
135	2,52	199,08	39,08	258	0,16	199,5	44,5
160	0,15	199,03	39,03	239	0,14	199,54	43,54
159	2,54	198,75	45,75	186	1,94	199,65	42,65
187	1,14	198,52	48,52	213	0,12	199,59	42,59
188	0,35	198,61	43,61	212	0,28	199,54	42,54
161	2,84	199,55	45,55	157	2,36	199,72	42,72
190	0,51	199,34	44,34	185	0,58	199,47	41,47
189	3,12	199,53	46,53	184	0,24	199,63	42,63
215	0,41	199,37	46,37	156	0,54	199,87	39,87
76	1,54	200,23	38,23	182	0,11	199,82	38,82
99	1,54	200,1	39,1	183	0,24	199,78	39,78
130	2	199,88	40,88	177	8,94	220,02	45,02
158	0,16	199,51	40,51	207	6,1	219,92	44,92
131	0,2	199,48	39,48	232	6,13	219,14	37,14
102	0,24	199,47	38,47	250	0,14	219,1	36,1
77	0,24	200,44	38,44	208	4,64	219,06	44,06
100	0,22	200,14	39,14	233	3,08	218,06	44,06
129	0,22	200,02	40,02	251	0,81	217,8	43,8
216	1,99	199,53	45,53	252	4,32	217,06	40,06
242	1,49	199,53	45,53	234	5,54	217,05	39,05
261	1,47	199,54	45,54	253	4,57	216,04	38,04
259	1,41	199,55	44,55	273	4,65	215,09	34,09
240	1,51	199,56	44,56	284	2,9	213,81	30,81
214	1,81	199,6	43,6	293	1,42	213,31	30,31
241	0,24	199,44	46,44	300	1,51	213,46	30,46
260	0,24	199,4	45,4	272	4,52	216,05	47,05
277	0,26	199,44	45,44	283	5,59	215,21	35,21
276	0,18	199,48	44,48	292	4,84	213,93	30,93
307	2,26	211,89	34,89	301	7,64	212,57	31,57
308	4,91	210,97	35,97	306	8,03	212,21	25,21
315	0,14	210,96	35,96	312	2,42	211,71	31,71
316	0,08	210,96	35,96	311	3,25	207,38	32,38
313	0,06	211,89	34,89	305	0,97	213,06	27,06
314	0,16	211,88	35,88	29	13,53	223,08	48,08

Annexe 7 : États des conduites après la restructuration

Conduite	Diamètres	Demande	Vitesse	Perte de charge	Etat
Arc	mm	m ³ /h	m/s	m/km	
R1 - 3	368	338,57	0,88	1,54	Ouvert
3 - 5	125	63,65	1,44	20,82	Ouvert
5 - 9	125	46,86	1,06	11,45	Ouvert
9 - 14	73,6	10,9	0,71	7,27	Ouvert
9 - 15	125	59,99	1,36	18,54	Ouvert
15 - 23	73,5	16,54	1,08	15,39	Ouvert
23 - 35	73,6	10,98	0,72	7,36	Ouvert
23 - 36	51,4	5,56	0,74	12,24	Ouvert
24 - 37	100	15,83	0,56	4,59	Ouvert
37 - 50	100	14,57	0,52	3,91	Ouvert
37 - 51	100	28,88	1,02	14,73	Ouvert
51 - 68	100	14,38	0,51	3,81	Ouvert
51 - 67	100	14,5	0,51	3,88	Ouvert
R1 - 26	515,4	813,42	1,08	1,5	Ouvert
4 - 8	80	10,45	0,58	4,53	Ouvert
4 - 7	100	14,98	0,53	3,98	Ouvert
8 - 13	70	8,68	0,63	6,17	Ouvert
8 - 13	70	1,77	0,13	0,38	Ouvert
13 - 22	70	10,45	0,75	8,57	Ouvert
3 - 6	300	-230,32	0,91	2,8	Ouvert
16 - 26	458	694,6	1,17	1,99	Ouvert
10 - 16	300	376,05	1,48	7,3	Ouvert
5 - 10	150	7,24	0,11	0,13	Ouvert
16_25	368	318,55	0,83	1,38	Ouvert
6_11	184	128,9	1,35	7,56	Ouvert
11 - 19	184	128,9	1,35	7,56	Ouvert
19 - 31	100	-26,35	0,93	11,82	Ouvert
3 - 4	100	25,43	0,9	11,03	Ouvert
26 - 31	200	83,62	0,74	3,14	Ouvert
10 - 17	300	368,82	1,45	7,03	Ouvert
17 - 27	100	26,26	0,93	11,74	Ouvert
17 - 28	300	258,63	1,02	3,51	Ouvert
25_38	327,2	353,56	1,17	2,94	Ouvert
38_53	327	387,35	1,28	3,49	Ouvert
53 - 71	290,6	338,72	1,42	4,83	Ouvert
71_94	290,6	274,52	1,15	3,29	Ouvert
94_122	290,6	270,02	1,13	3,2	Ouvert
38_52	114,4	-33,79	0,91	6,63	Ouvert
53_69	73,4	-10,21	0,67	6,55	Ouvert
145_170	409	558,04	1,18	2,3	Ouvert
117-145	102,2	-2,08	0,07	0,08	Ouvert
71 - 95	130,8	-58,7	1,21	9,41	Ouvert
170 - 202	80	24,35	1,35	33,68	Ouvert
66 - 87	290,6	-204,82	0,86	1,94	Ouvert

88 -114	80	-6,05	0,33	2,29	Ouvert
66 - 88	100	2,79	0,1	0,17	Ouvert
88 - 115'	100	-12,75	0,45	3,02	Ouvert
89 - 115'	327,2	274,98	0,91	1,86	Ouvert
66 - 89	409,2	271,57	0,57	0,62	Ouvert
221_226	409	478,72	1,01	1,74	Ouvert
219 - 220	73,4	13,37	0,88	10,59	Ouvert
219 - 221	80	-17,03	0,94	16,74	Ouvert
194 - 219	100	23,74	0,84	10,05	Ouvert
164 - 194	100	21,06	0,74	7,97	Ouvert
140 - 164	100	14,74	0,52	4	Ouvert
114 - 166	80	7,06	0,39	3,06	Ouvert
115'_141	368	-293,18	0,77	1,19	Ouvert
141 - 166	51	-0,68	0,09	0,39	Ouvert
166 - 193	80	-12,55	0,69	9,26	Ouvert
193 - 218'	80	-12,78	0,71	9,59	Ouvert
218' - 222	80	-12,92	0,71	9,79	Ouvert
196 - 222	80	-16,6	0,92	15,92	Ouvert
196_221	409	-455,75	0,96	1,59	Ouvert
167_196	409	-432,7	0,91	1,45	Ouvert
89 - 116	80	3,41	0,19	0,78	Ouvert
167_223	163,6	-121,92	1,61	12,03	Ouvert
197 - 223	125	32,82	0,74	4,39	Ouvert
167 - 197	100	18,29	0,65	5,83	Ouvert
224 - 244	125	28,95	0,66	3,88	Ouvert
244 - 265	80	10,72	0,59	6,56	Ouvert
244 - 264	80	10,8	0,6	6,65	Ouvert
224 - 245	125	22,16	0,5	2,79	Ouvert
49_66	150	-69,54	1,09	6,61	Ouvert
34_49	80	-28,84	1,59	27,81	Ouvert
34 - 48	100	14,41	0,51	3,69	Ouvert
49 - 65	100	40,7	1,44	24,7	Ouvert
65 - 86	100	16,23	0,57	4,23	Ouvert
65 - 85	100	24,47	0,87	9,26	Ouvert
85 - 86	100	10	0,35	1,7	Ouvert
31 - 45	200	57,27	0,51	1,51	Ouvert
53_70	184	58,85	0,61	1,84	Ouvert
70 - 93	100	14,69	0,52	2,85	Ouvert
93 - 121	66	9,49	0,77	12,56	Ouvert
92 - 118	90	12,3	0,54	3,44	Ouvert
92 - 119	90	12,84	0,56	3,72	Ouvert
115 - 142	327,2	455,26	1,5	4,67	Ouvert
142 - 168	102	29,18	0,99	8,84	Ouvert
168 - 198	100	14,16	0,5	3,7	Ouvert
168 - 199	90	15,02	0,66	4,91	Ouvert
120_147	102,2	-15,13	0,51	2,71	Ouvert
120_144	73,4	-9,93	0,65	6,24	Ouvert