

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Diagnostic et conception d'un réseau d'alimentation en eau potable par la modulation de pression.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0021-11

APA Citation (توثيق APA):

Mahboub, Abdellatif (2011). Diagnostic et conception d'un réseau d'alimentation en eau potable par la modulation de pression[Mem Ing, ENSH].

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
« ARBAOUI Abdallah »

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Option : Conception des Systèmes d'Alimentation en Eau Potable

THEME

**DIAGNOSTIC ET CONCEPTION D'UN RESEAU
D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE PAR LA
MODULATION DE PRESSION: APPLICATION
A L'ETAGE DE BOLOGHINE**

Présenté par :

M^r. MAHBOUB Abdellatif.

promoteur:

M^r. BOUKHELIFA Mustapha.

Devant le Jury composé de :

Président : M^r B. SALAH

Examineurs :

M^{me} W.MAHMOUDI

M^r A.HACHEMI

M^{me} S.BELLABAS

Mr M.BOUZIANE

Invité :

Mr N.SILHADI

Octobre 2011

بسم الله الرحمن الرحيم

إهداء

لك الحمد ربي على عظيم فضلك وكثير عطائك

أما بعد:

- إنه لا يسعني في هذا المقام المبارك إلا أن أهدي ثمرة هذا العمل المتواضع إلى:
- فضاء المحبة و بحر الحنان، ريحانة الدنيا وبهجتها: أمي الغالية حفظها الله.
- الذي علمني أن الحياة كفاح ونضال: أبي العزيز حفظه الله.
- الأعمدة التي أظل ارتكز عليها للصمود إخوتي ،
- إلى الزهرة الفتية والمبتهجة زوجتي العزيزة.
- إلى من تشرف بحمل كتاب الله في صدره أخي الصغير: هارون حفظه الله.
- المعادلة التي ترسم منحنى حياتي، أصدقائي : رضا، أسامة، أيوب، عيسى . . .
- إلى كل من علمني حرفا .
- إلى كل أساتذة و طلبة و عمال المدرسة الوطنية العليا للري.
- من حمل هذه الرسالة وانتفع بها بعدي.

والسلام.

Remerciement

Je remercie Allah de m'avoir prêté vie, santé et volonté pour achever ce travail.

Tout d'abord Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur **N. SILHADI**, chef de centre de modulation de pression à **SEAAL**, de m'avoir confié ce sujet et de l'aide précieuse qu'il m'a toujours apporté jusqu'à l'achèvement de ce travail. Leurs insignes observations et suggestion ont été d'un grand apport pour son aboutissement. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sincères reconnaissances.

Je souhaite exprimer ma s'incère reconnaissance à **Mr A.GUESMIA** pour son accompagnement attentif et productif tout au long de ce travaille, il à réussi à m'inculper les principes d'un travail efficace et organisé.

J'adresse mes vifs remerciements à mon promoteur **Mr M. BOUKHLIFA**, enseignant à l'Ecole National d'Hydraulique, pour avoir accepté de juger ce travail. Je tiens également à remercier Monsieur **B.SALAH** de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance, mais aussi je remercie Madame **W.MAHMOUDI**, et Madame **S.BELLABS**, Monsieur **A.HACHEMI** et Monsieur **M.BOUZIANE**, d'avoir toujours été agréables avec moi et d'avoir bien voulu examiner mon projet de fin d'études.

C'est avec un énorme plaisir que je formule ma gratitude, et mes remerciements à Monsieur **MAHFOUDI et BOUCHBOU**, avec lesquels j'ai effectué mon stage, et que je n'oublierai jamais.

En fin, je souhaite montrer ma gratitude et ma reconnaissance à tous mes professeurs du l'ENSH, et aussi le bureau d'étude **SOGREAH**.

J'ai voulu limiter mes remerciements à mon père **M. BACHIR**, pour m'avoir suivi et guidé dans toutes mes études, mais aussi lors de mon cursus d'ingénieurs, à ma mère pour son assistance avertie et ses sens des responsabilités, à toute ma grande famille et à mes amis (e).

MERCI.

عانت الجزائر من سوء تسيير الموارد المائية الصالحة للشرب. و من اجل تحسين شبكة توزيع المياه، أنشئت مؤسسة سيال لمهام من أهمها تلبية حاجيات العاصمة المائية خلال 24 /24 ساعة. للعلم فإن شبكة توزيع المياه للعاصمة قديمة جدا، و عملها المستمر يؤدي إلى ترسبات كبيرة للماء بسبب ارتفاع ضغطها ليلا. الحل المقترح هو تعديل الضغط. يتمحور عملنا هذا في تنميط احد طوابق التوزيع (بولوغين) و التي لم تجرى فيها عملية التعديل بعد وذلك بمساعدة احد برنامج *EPANET*، و هذا من اجل معرفة سلوك الشبكة بعد إجراء هذه العملية، و كذلك جلب تحاليل تقنية.

كلمات مفاتيح : شبكة، تنميط، تعديل، برنامج

Résumé

Alger à souffert d'un mauvais service de l'eau. La société SEAAL a été créée pour en fournir un bon service. Parmi ses missions est l'alimentation continue (*H 24*) de la ville d'Alger. Le réseau d'Alger est très ancien et une alimentation continue rend les fuites très importantes à cause des fortes pressions de nuit. La solution envisagée est la modulation de la pression. Notre travail consiste à faire une modélisation, à l'aide du logiciel *EPANET*, de l'un des étages de distribution (Bologhine) dont la modulation n'est pas en marche. Et cela pour voir le comportement du réseau après la mise en marche de la modulation et apporter des analyses en terme technique.

Mots clés : Réseau, modélisation, *EPANET*, Modulation.

Abstract

Algiers has suffered from a bad service of water. Company SEAAL was created to provide a good service of it. Among its missions is continued drinkable water supplying (*H 24*) for the city of Algiers.

The network of Algiers is very old and a continuous supplying makes the leaks very significant because of the high pressures in the night. The solution considered is the modulation of the pressure. Our work consists in making a modeling, using the software *EPANET*, of one of the stages of distribution (Bologhine) where the modulation Isn't going on. And that to see the behavior of the network after the starting of the modulation and to bring analyses in technical term.

Key words: Network, Modeling, *EPANET*, Modulation.

SOMMAIRE

Chapitre : I

Étude bibliographique sur la modulation de pression et les réseaux d'alimentation en eau potable.

1. INTRODUCTION GENERAL :	1
1. INTRODUCTION :	3
2. INTERETS DE LA MODULATION DE PRESSION :	4
2.1 Qu'est-ce que la modulation de pression ?	4
2.2 Les différents types de modulation de pression	6
2.3 Pourquoi réguler la pression ?	7
2.4 Où réguler la pression ?	7
2.5 Impact sur la pression et respect du confort de l'abonné	9
2.6 Méthode pour l'amélioration du rendement de réseau	10
2.7 Des avantages à court-terme et long-terme	11
3. FONCTIONNEMENT D'UN RESEAU D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	12
3.1 Introduction	12
3.2 Fonction d'un système d'alimentation en eau potable	12
3.3 L'adduction	13
4. CONCLUSION	20

Chapitre : II

Présentation de la zone d'étude et description du réseau de la ville de Bologhine.

1. INTRODUCTION :	21
2. DESCRIPTION DE SECTEUR D'ETUDE	21
2.1 Situation géographique	21
2.2 Situation Topographique	22
2.3 Situation géologique et sismique	22
2.4 Situation climatologique :	22
2.4.1. Le climat :	22
2.4.2. La température :	23
2.4.3. Hygrométrie :	23
2.4.4. Pluviométrie :	23
2.4.5. Les vents :	23

2.5 Etude d'évolution de la population :	24
2.6. Demande en eau :	25
3. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES ET DU	26
FONCTIONNEMENT ACTUEL DE L'ETAGE DE BOLOGHINE.....	26
3.1. Les ouvrages de stockage de l'étage de Bologhine.....	26
3.2 Volume de stockage :	27
3.3 Les Canalisations.....	28
4. CONCLUSION	29

Chapitre : III

Équipement et Étude de Faisabilité d'un Projet de Modulation de Pression.

1. EQUIPEMENT ET DESCRIPTION DES APPAREILS DE REGULATION DE	30
PRESSION.....	30
1.1 Stabilisateur de pression.....	30
1.1.1 Présentation du stabilisateur de pression aval	30
1.1.1.2 Circuit - pilote de réduction de pression.....	32
1.1.2 Principe de fonctionnement du stabilisateur de pression aval.....	32
1.1.2.1 Cas où la vanne n'est pas encore équipée du pilote de régulation :	32
1.1.2.2 Cas où la vanne est équipée du pilote de régulation :	33
1.1.3 Comment dimensionner un stabilisateur de pression :	35
1.1.4 Installation et maintenance. [Extrait du catalogue CLA-VAL].....	37
1.2 Modulateur de pression :	38
1.2.1 Principe d'un système de modulation de pression.	38
1.2.2 Présentation du modulateur de pression.....	39
1.2.3 Fonctionnement et dimensionnement.....	39
2. ETUDE DE FAISABILITE :	41
2.1 Identification et dessin des zones à réguler	41
2.2 Étude hydraulique :	41
2.2.1 Objectifs de l'étude hydraulique	41
2.2.2 : différentes étapes de l'étude hydraulique :	41
3. CONCLUSION	45

Chapitre : IV

La Modélisation du réseau sur le logiciel Epanet.

1. INTRODUCTION.....	46
2. PRESENTATION DU LOGICIEL EPANET.....	46
2.1. Qu'est ce que EPANET.....	46
2.2. Historique.....	46

2.3 Potentialités du Logiciel.....	47
2.4. Principe hydraulique régissant les calculs du logiciel :	47
2.4.1. Les lois de base du calcul	47
2.4.2. Le calcul des pertes de charges	48
□ Le calcul des pertes de charges Linéaire	48
□ Le calcul des pertes de charges singulières	49
2.4.3. Spécificités du logiciel	49
2.5. Capacités pour la Modélisation Hydraulique	50
2.6. Capacités pour la Modélisation de la qualité de l'Eau	50
3. CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE DE L'ETAGE DE BOLOGHINE :	51
3.1. Fonctionnement du réseau de Bologhine	51
3.2. Saisie du réseau	52
3.3. demande aux nœuds	54
4. VARIATION JOURNALIERE DE LA CONSOMMATION :	55
4.1. Les catégories de consommation.....	55
4.2. Courbe de modulation	58
5. CALAGE DU MODELE	59
5.1. Principe du calage	59
5.2. Paramètres de calage	59
5.3. calage et validation du débit.....	62
5.3.1. modification du profil de consommation.....	63
5.3.2. modification des demandes aux nœuds	64
5.4. calage et validation des pressions.....	65
6. VALIDATION DU MODELE.....	70
7. CONCLUSION	71

Chapitre : V

Conception d'un réseau d'AEP sur la base de la modulation de pression.

1. INTRODUCTION.....	72
2. PROJET DE CONTROL DE PRESSION DU RESEAU DE BOLOGHINE.....	72
2.1 Les vannes de régulation.	73
2.2 la régulation dans EPANET (commandes)	77
2.2.1les commandes simples	77
2.2.2Les commandes élaborées	79
3. RESULTATS DES SIMULATIONS DE FONCTIONNEMENT AVANT ET APRESLA MODULATION DE PRESSION.....	80
3.1. fonctionnement avant le contrôle de pression (modulation)	80
3.2. fonctionnement après modulation de pression	82

3. 3.analyse des différent scénarios defonctionement possibles.....	84
3.3.1.une vanne 250mm	84
3.3.2.une vanne 250mm + une vanne 150mm.....	86
3.3.3.une vanne 250mm + deux vannes 150mm.	87
3.3.4. deux vannes 150mm.	88
3.4.Scenarios de la régulation de pression.....	89
3.4.1 Point de sortie de la vanne de modulation.....	89
3.4.2 point critique.	89
4 .SIMULATION DES SCENARIOS DES PERTES PHYSIQUE SOUS EPANET	90
4.1Utilisation du FAVAD :	90
4.2 Indentification du point moyen à l'aide du modèle EPANET.....	91
4.3 Résultats des simulations avant et après modulation de pression :	92
4.4 Scénarios de la régulation de pression sur le débit de fuite :.....	93
5 . IMPACT DE LA MODULATION DE PRESSION A L'ETAGE DE DISTRIBUTION BOLOGHINE :	94
6. CONCLUSION	96
CONCLUSION GEGERAL.....	97
ANNEXE(1).....	97
ANNEXE(2).....	99
ANNEXE(3).....	100
ANNEXE(4).....	102
ANNEXE(5).....	104

TABLE DES ILLUSTRATIONS

ABREVIATIONS:

AEP: Alimentation en Eau Potable.

SEAAL: Société des Eaux et d'Assainissement d'Alger.

ENSH: Ecole Nationale Supérieure D'Hydraulique.

FAVAD: provient de l'anglais « Fixed and Variable Area Discharge Paths ».

TABLEAUX:

Tableau I.1 : différence entre la régulation et la modulation de pression.....	4
Tableau I.2: critères permettant l'identification des zones prioritaire à réguler.....	8
Tableau II.1: Relevé météorologique d'Alger.....	23
Tableau II.2 : évaluation de la population de l'étage de Bologhine.....	24
Tableau II.3 :L'évolution des besoins en eau de l'étage de Bologhine entre 2009 et 2015.	25
Tableau II.4:caractéristiques de réservoir de Bologhine.....	27
Tableau II.5: Linéaires de canalisations par diamètre.....	28
Tableau III.1 : Ordre de débit, vitesse selon le diamètre de l'appareil.....	36
Tableau III.2: retour sur investissement d'un projet de modulation de pression.....	44
Tableau IV.1: débit total de production journalier (moyenne de plusieurs jours).....	56
Tableau IV.3: profil de consommation domestique modifié.....	63
Tableau IV.4: statistique de calage pour le débit après calage.....	65
Tableau IV.5:Statistiques de calage pour la pression.....	69
Tableau V.1: Résultats de calcul des consignes de pression injectées dans le Modulo, d'une vanne de modulation de pression.....	74
Tableau V.2: profil horaire de régulation de la vanne stabilisatrice aval (1) de 250 mm laquière.....	76
Tableau V.3: profil horaire de régulation (consigne) de la vanne stabilisatrice aval (2) de 150 mm Laquière.....	76
Tableau V.4: profil horaire de régulation (consigne) de la vanne stabilisatrice aval (3) de 150 mm laquière.....	76
Tableau V.5: exemple de commande simple appliqué à notre modèle.....	78
Tableau I.1 : différence entre la régulation et la modulation de pression.....	4
Tableau I.2: critères permettant l'identification des zones prioritaire à réguler.....	8
Tableau II.1: Relevé météorologique d'Alger.....	23

Tableau II.2 : évaluation de la population de l'étage de Bologhine.....	24
Tableau II.3 :L'évolution des besoins en eau de l'étage de Bologhine entre 2009 et 2015...	25
Tableau II.4:caractéristiques de réservoir de Bologhine.....	27
Tableau II.5: Linéaires de canalisations par diamètre.....	28
Tableau III.1 : Ordre de débit, vitesse selon le diamètre de l'appareil.....	36
Tableau III.2: retour sur investissement d'un projet de modulation de pression.....	44
Tableau IV.1:débit total de production journalier (moyenne de plusieurs jours).....	56
Tableau IV.3: profil de consommation domestique modifié.....	63
Tableau IV.4: statistique de calage pour le débit après calage.....	65
Tableau IV.5:Statistiques de calage pour la pression.....	69
Tableau V.1: Résultats de calcule les consignes de pression injectées dans le Modulo, d'une vanne de modulation de pression.....	74
Tableau V.4: profil horaire de régulation (consigne) de la vanne stabilisatrice aval (3) de150 mm laquière.....	76
Tableau V.2: profil horaire de régulation de la vanne stabilisatrice aval (1) de 250 mm laquière.....	76
Tableau V.3: profil horaire de régulation (consigne) de la vanne stabilisatrice aval (2) de150 mm Laquière.....	76
Tableau V.5: exemple de commande simple appliqué à notre modèle.....	78
Tableau V.6: donnees de dimensionnement de vanne de modulation 250mm.....	85
Tableau V.7: pressions moyennes (points moyennes 1et2) simulés avant et après modulation de pression.....	93
Tableau V.8: impacts simulés de la modulation de pression à l'étage de distribution Bologhine.....	95

FIGURES:

Figure I.1 : bénéfices de la réduction de pression.....	5
Figure I.2:Les différents types de modulation de pression.....	6
Figure I.3: variation de la pression en fonction du temps.....	8
Figure I.4: variation du débit en fonction du temps.....	8
Figure I.5 : Diagramme d'économie d'eau	10
Figure I.6 : Diagramme de réduire le volume des fuites/la pression.....	10
Figure I.7 : Diagramme de réduire le volume.....	11
Figure I.7:Le processus de production et distribution de l'eau.....	12

Figure I.8 : Exemple de courbe caractéristique d'une pompe.....	15
Figure I.9 : courbe de consommation au jour de pointe.....	17
Figure I.10 : Exemple de courbe de volume d'un réservoir.....	18
Figure I.11 : Représentation schématique d'un réseau d'alimentation en eau potable.....	19
Figure II.1: plan de situation géographique de la ville de laquière.....	21
Figure II.2: l'accroissement des populations pour différents horizons.....	24
Figure II.3:plan de l'étage Bologhine.....	26
Figure II.4:courbe de marnage du réservoir Bologhine.....	28
Figure III.2: Vanne de stabilisation de pression aval.....	30
Figure III.1 : Vanne de stabilisation de pression aval.....	30
Figure III.3.A: La vanne de	31
Figure II.3.B: La vanne de base	31
Figure III.4 : La vanne de base avec son circuit pilote.....	32
Figure III.4: La vanne de base en fonctionnement.....	32
Figure III.6 : Le pilote régulateur fermé.....	34
Figure III.8 : Le pilote régulateur ouvert	34
Figure III.9: La vanne de base en équilibre.....	35
Figure III.10 : Installations de la vanne de stabilisation de pression aval dans un réseau de distribution.....	37
Figure III.11 : principe d'un système de modulation de pression.....	38
Figure III.12: montre un exemple dans la pratique de modulation de pression.....	39
Figure III.13:montre La plage de modulation de pression.....	40
Figure III.14: dessin de la frontière Kouba 97.....	43
Figure III.15: Vanne de modulation Kouba117.....	43
Figure IV.1 : environnement d' <i>EPANET</i>	46
Figure IV.2:schéma illustratif de la loi des mailles dans un réseau d'eau potable.....	48
Figure IV.3: modèle du réseau Bologhine élaboré par <i>SOGREAH</i> sous <i>PICCOLO</i>	53
Figure IV.4: modèle obtenue de l'étage Bologhine sous <i>EPANET</i>	53
Figure IV.5: Enregistreur De Pression.....	54
Figure IV.6: Débitmètre.....	54
Figure IV.8:Répartition de la consommation des abonnés sur les différents nœuds.....	55
Figure IV.7: principe de la théorie du service en route.....	55
Figure IV.8 : courbe de Débit Total de Production Journalier Moyenne.....	57
Figure IV.9 : courbe de graphique de consommation.....	57
Figure IV.10: profil Gros Consommateur GC et Diffuse DIF.....	58
Figure IV.11: profil Domestique DOM.....	59

Figure IV.12: Positionnement des points de mesure de pression.....	60
Figure IV.13: Débit mesuré Le 25-03-2011 à la sortie du réservoir de Bologhine.....	61
Figure IV.14: Comparaison des débits mis en réseau calculés et mesurés.....	62
Figure IV.15: Diagramme de corrélation du débit avant le calage.....	62
Figure IV.16: profil de consommation ; original et modifié.....	63
Figure IV.17: Profil de la consommation globale.....	64
Figure IV.17: Comparaison des débits, avec les nouvelles consommations aux nœuds.....	64
Figure IV.18: diagramme de corrélation pour le débit après calage.....	65
Figure IV.19 : résultats obtenus avant le calage de pression.....	66
Figure IV.20 : résultats obtenus après le calage de pression.....	68
Figure IV.21 : Diagramme de corrélation pour la pression après calage.....	69
Figure V.1: vanne stabilisatrice aval dans <i>EPANET</i>	73
Figure V.2: pression de sortie de la vanne et la pression nécessaire du point critique.....	75
Figure V.3: Editeur de commandes d' <i>EPANET</i>	78
Figure V.4: comportement du réseau aux heures creuses [00 :00] avant modulation de pression.....	80
Figure V.5 : pressions supérieurs à 90 m aux heures creuses [02 :00] avant la modulation de pression.....	81
Figure V.6: comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.....	81
Figure V.7: pressions supérieurs à 80 m à l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.....	82
Figure V.8: comportement du réseau à l'heure creuse [02 :00] après modulation de pression.....	82
Figure V.9: pressions supérieurs à 60 m après modulation de pression.....	83
Figure V.10: comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression.....	83
Figure V.11: pressions supérieurs à 80m à l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression.....	84
Figure V.12: dimensionnement d'une vanne de modulation de pression via logiciel CLA-VAL SIZING SOFTWARE.....	85
Figure V.13: variation de la pression au point critique après modulation de pression avec une seule vanne ; 250mm.....	86
Figure V.14: variation de la pression au point critique après modulation de pression avec deux vannes : 250et 150mm.....	86
Figure V.15: variation de la pression au point critique après modulation de pression avec trois vannes : 250et deux 150mm.....	87
Figure V.16 : variation de la pression au point critique après modulation de pression avec deux vannes de 150mm.....	88
Figure V.17: variation de la pression a la sortie de la vanne de modulation (1) Bologhine avant et après modulation.....	89
Figure V.18: variation de la pression au point critique avant et après modulation de pression.....	89

Figure V.19 : relations entre la pression (P) et le débit de fuite (Q) en fonction de la valeur de N1.....	90
Figure V.20 : influence du type de matériau et de la section de fuite sur la valeur de N1.....	91
Figure V.21: variation de la pression au point moyen1 avant et après modulation de pression.....	92
Figure V.22: variation de la pression au point moyen 2 avant et après modulation de pression.....	92
Figure V.23 : variation du débit de fuites en fonction de la pression au point moyen pour un réseau gravitaire.....	93
Figure V.24:Impacts de la modulation de pression sur la pression au Point critique.....	95
Figure V.25:Impacts de la modulation de pression sur le volume mis-en Distribution et le débit de fuites.....	96

Introduction générale

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Elle a pour objectif de regrouper les connaissances et le savoir-faire disponibles sur la modulation de pression. Une attention spécifique sera portée sur les impacts de la modulation de pression sur le débit des fuites, le taux de casses, le rendement de réseau et la consommation.

Une bonne formation d'ingénieur doit toujours être finalisée par un stage de fin d'études qui a pour but la concrétisation des acquis pédagogiques dispensés lors de tout le cursus. Ce stage de plus de deux mois, que nous avons effectué au sein de l'Entreprise de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), représente une première expérience professionnelle de référence pour un futur ingénieur.

Parmi les buts pour lesquels la SEAAL a été créée, est d'assurer un bon service d'alimentation en eau potable (le **H 24**). Dès le début de sa mission, SEAAL a été confrontée à plusieurs problèmes qui se posent en plusieurs points : Une démographie galopante, une urbanisation mal contrôlée, un réseau vétuste, qui fuie et pour partie mal connu, une gestion administrative laborieuse et une consommation incontrôlée.

Bien qu'encore peu utilisée, la modulation de pression est une technique qui a beaucoup évolué ces dernières années et se développe rapidement aujourd'hui dans beaucoup de pays. Elle met en œuvre des technologies évoluées qui permettent une analyse fine du réseau afin d'optimiser au mieux la gestion de la pression dans un contexte donné.

Les quantités d'eau mobilisées pour l'alimentation en eau potable de ville d'Alger sont théoriquement suffisantes pour garantir une alimentation 24/24 heures de l'ensemble de l'agglomération, la quasi totalité des quartiers Algérois ne reçoivent pas l'eau en continue (24/24h). Cet état de fait s'explique par les problèmes engendrés par une distribution continue 24/24 heures.

En effet, partout où il existe de fortes variations de pression (entre le **jour** et la **nuit**) ou de fortes pressions, ces contraintes sévères ou ces changements permanents de conditions hydrauliques engendrent non seulement un grand nombre de fuites, mais provoquent également une fatigue mécanique des canalisations, se traduisant par une réduction de leur durée de vie.

Une bonne gestion de la pression hydraulique du réseau peut donc apporter des bénéfices significatifs

- sur la réduction des pertes en eau (économie d'eau),
- sur la durée de vie des réseaux (réduction du stress, de la fatigue du réseau lié aux variations jour/nuit) et cela quelques soient les matériaux utilisés,
- pour le confort de l'abonné (niveau de pression adapté, même aux points critiques si la pression est régulée en fonction de la consommation).

La modulation de pression à la demande consiste à installer à l'entrée d'un secteur une vanne de réduction de pression asservie à un modèle de consommation :

L'objectif étant de fournir au consommateur à tout moment de la journée la pression minimale compatible avec une bonne qualité de service. Il s'agit de la méthode de gestion de la pression la plus avantageuse car elle prend en compte toutes les heures creuses de consommation. La plupart des réseaux peuvent en bénéficier si l'amplitude de cette modulation est supérieure ou égale à 15 m sur 24 h.

La solution stratégique, comme nous allons le voir à travers les chapitres qui suivent, et de faire une régulation de la pression en fonction de la demande, donc de moduler la pression, sur les zones à difficultés.

L'intérêt donc de ce mémoire consiste à essayer d'élaborer le modèle hydraulique de l'étage de distribution de Laquière à l'aide du logiciel *EPANET*, et de regrouper les connaissances dans le but de faire la modulation de pression, simuler les impacts et les scénarios possibles avant et après la mise en service d'un projet de modulation de pression.

En premier lieu au **chapitre I** ; il était nécessaire de faire une étude bibliographique sur la modulation de pression; ce qu'est une modulation de pression, ses intérêts et ses impacts dans un réseau de distribution, et ensuite d'appréhender le métier des réseaux de distribution d'eau potable.

Le chapitre II a pour but de présenter l'étage de Laquière (Bologhine), ses caractéristiques et la description du réseau de distribution de ce dernier.

Le chapitre III consiste à présenter d'une part ; les différents équipements d'un projet de modulation de pression, aussi l'étude de faisabilité d'un projet de modulation de pression qui se base essentiellement sur l'étude hydraulique du réseau.

Le chapitre IV consiste à modéliser le comportement des pressions en procédant à une élaboration et un calage du modèle de l'étage de distribution Bologhine sous le logiciel *EPANET*, à partir des essais et campagnes de mesures effectués sur terrain.

En fin le **chapitre V** permettra de présenter les différents résultats des simulations et les interprétations des scénarios de régulation de pression dans *EPANET*, avant et après modulation. Et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre : I

Étude bibliographique sur la modulation de pression et les réseaux d'alimentation en eau potable.

1. INTRODUCTION :

La pression et ses variations sont des facteurs qui contribuent à la détérioration du réseau tout comme le vieillissement, la corrosivité de l'eau et l'agressivité du sol. Une fois l'état structurel du réseau fragilisé, le niveau de pression et ses variations provoqueront une casse.

La modulation de pression a souvent été considérée, à tort, comme une technique relativement rustique, essentiellement destinée à réduire les fuites dans les réseaux très dégradés.

Pourtant, partout où il existe de fortes variations de pression (entre le **jour** et la **nuite**) ou de fortes pressions, ces contraintes sévères ou ces changements permanents de conditions hydrauliques engendrent non seulement un grand nombre de fuites, mais provoquent également une fatigue mécanique des canalisations, qui se traduit par une réduction de leur durée de vie.

Une bonne gestion de la pression hydraulique du réseau peut donc apporter des bénéfices significatifs sur : la réduction des pertes en eau (donc une économie d'eau) ; la durée de vie des réseaux (réduction du stress, de la fatigue du réseau lié aux variations **jour/nuite**) et cela quel que soient les matériaux utilisés ;

Le confort de l'abonné (niveau de pression adapté, même aux points critiques si la pression est régulée en fonction de la consommation).

2. INTERETS DE LA MODULATION DE PRESSION :

La réduction de la pression constitue l'une des solutions pour un bon fonctionnement du réseau de distribution. En effet, la diminution de cette dernière aura pour conséquences : la diminution de débit de fuites ainsi qu'à l'augmentation de la durée de vie des conduites

Il existe deux méthodes pour réduire la pression d'entrée dans un réseau de distribution la régulation et la modulation de pression:

Le tableau ci-après explique la différence qui existe entre la régulation et la modulation de pression.

Tableau I.1 : différence entre la régulation et la modulation de pression
[Document technique. SEAAL.2010].

Réduction de pression	
Régulation de pression	Modulation de pression
<i>Vanne de régulation de pression</i>	<i>Vanne de modulation de pression</i>
<i>Consigne d'entrée constante</i>	<i>Consigne d'entrée variable selon la demande</i>
<i>On régule (diminue) Lorsque la variation de la pression sur 24h n'est pas très importante</i>	<i>On module lorsque la variation de la pression sur 24h dépasse les 20m et que le débit moyen soit le double que celui de nuit.</i>

2.1 Qu'est-ce que la modulation de pression ?

La modulation de pression à la demande permet de maintenir à tout moment la pression à un niveau aussi bas et constant que possible à la valeur minimale nécessaire et suffisante à la satisfaction des besoins des consommateurs.

En d'autres termes, la modulation de pression consiste à installer à l'entrée d'un secteur une vanne de réduction de pression asservie à un modèle de consommation :

L'objectif étant de fournir au consommateur à tout moment de la journée la pression minimale compatible avec une bonne qualité de service. Au préalable, les secteurs où sa mise en œuvre se justifie auront été déterminé (campagnes de mesure, sectorisation, définition des points critiques, étude des profils de consommation, historique des casses...).

Pour résumer, il s'agit de réduire au maximum les pressions d'entrée d'un système tout en maintenant des pressions de service satisfaisantes aux points critiques de distribution.

A ce propos, il ne faut pas confondre la modulation de pression avec la réduction de pression, qui consiste simplement à installer un réducteur de pression à l'entrée d'un secteur et qui, pour pouvoir satisfaire les demandes de pointes, délivre une pression presque toujours supérieure à celle réellement nécessaire.

Grâce à la modulation, le système fournit au contraire la pression qui permet de satisfaire la demande de pointe habituelle (été) ou exceptionnelle (incendie), uniquement lorsque celle-ci est vraiment nécessaire. Par conséquent, la pression est toujours inférieure à ce qu'elle était avant la mise en œuvre de la modulation.

Les principaux bénéfices de la modulation sont :

- de réduire le débit de toutes les fuites (petites, grandes, visibles ou non) sans avoir à les identifier, et donc d'économiser l'eau produite (de l'ordre de 5 à 20% du volume distribué selon les expériences déjà réalisées) ;
- de réduire la fréquence des casses et donc :
 - de diminuer les coûts de réparation et d'intervention ;
 - de prolonger la vie du réseau en réduisant le niveau de stress subi par les canalisations. Les investissements liés au renouvellement peuvent donc être différés.

La figure ci-dessous illustre les bénéfices de la réduction de la pression :

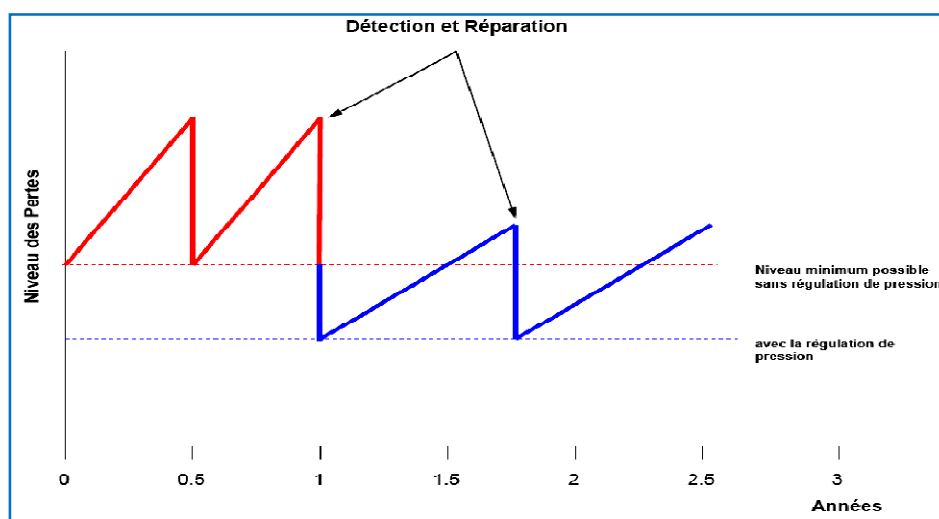


Figure I.1 : bénéfices de la réduction de pression. [Document technique. SEAAL.2010].

2.2 Les différents types de modulation de pression

Il existe plusieurs types de modulation :

- ❖ régulation nuit / jour
- ❖ régulation par tranche horaire
- ❖ régulation à la demande.

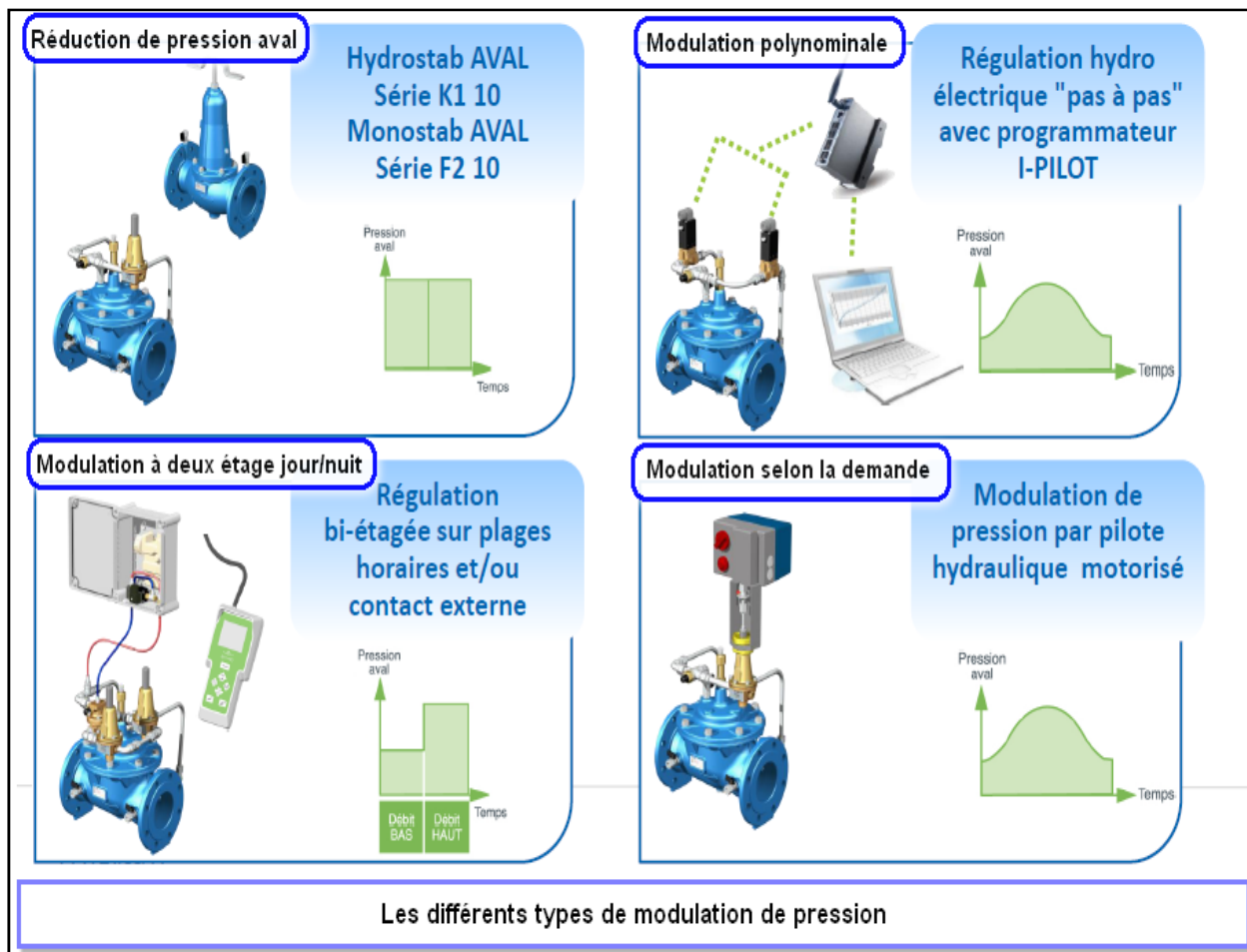


Figure I.2: Les différents types de modulation de pression

Avec la modulation de pression, entre la pointe de consommation de jour et la nuit, la pression peut être réduite de 15 à 20m, en moyenne, souvent quel que soit le réseau.

Par exemple, pour un immeuble de 8 étages, la capacité de modulation sera de 9 à 10 m.

- Perte de charge par étage : 1m
- Perte de charge au compteur à : 2 m
- Perte de charge à la pointe = $8 \times 1 + 2 = 10$ m (lié à la variation de la demande)

2.3 Pourquoi réguler la pression ?

Le pic de consommation représente généralement au maximum 5% à 10% de la journée. Le reste du temps, la pression délivrée au réseau est souvent excessive

La perte de charge est négligeable une fois le pic de consommation passé. Par ailleurs, le confort de l'abonné ne nécessite pas la même pression en pied d'immeuble en permanence.

En effet :

La pression dans un réseau de distribution a deux effets opposés :

- ❖ positif : elle assure une pression suffisantes aux étages supérieurs et aux points les plus loin du réseau en heure de pointe.
- ❖ Négatif : elle provoque des casses de conduite (fuites sur réseau).

La pression disponible à l'entrée d'un réseau à l'heure de pointe doit être égale à la somme de la pression nécessaire au point critique (Point du haut du réseau ou le plus éloigné hydrauliquement) et de la perte de charge créée pour l'alimenter à ce moment de forte demande.

La pointe est un phénomène très aigu, mais presque transitoire, et la période de forte demande dure peu. Comme la perte de charge varie au carré de la vitesse de l'eau, la pression au point critique, souvent à peine suffisante à la pointe, est excessive dès après la pointe, et le réseau est surchargé la plupart du temps.

La modulation à la demande est la méthode la plus avantageuse car elle prend en compte toutes les heures creuses de consommation. La pression n'est pas seulement régulée pendant les 7h de la nuit mais aussi pendant environ 15h par jour de faible consommation.

2.4 Où réguler la pression ?

La plupart des réseaux peuvent bénéficier de la modulation de pression suivant la demande, si l'amplitude de cette pression est supérieure ou égale à 15 m sur 24 h.

Les critères permettant l'identification des zones prioritaire à réguler sont représentés dans le tableau suivant :

Eléments géographiques	Données opérationnelles
<ul style="list-style-type: none"> ● morphologie du terrain (dénivelé) ● pression d'exploitation ● entrées d'alimentation possibles ● frontières naturelles ● étude du type d'habitat (HLM, immeubles, maison) 	<ul style="list-style-type: none"> ● zones fragiles (nombre de casse et fréquence) ● variations de pression « jour / nuit » importantes ● zones où le rapport du débit de nuit sur le débit moyen est élevé (pertes significatives) ● étude de la sectorisation existante ● minimum de pression contractuelle requis

Tableau I.2: critères permettant l'identification des zones prioritaire à réguler [Document technique. SEAAL.2010]

La plupart des réseaux peuvent bénéficier de la modulation de pression, si l'amplitude de cette modulation est supérieure ou égale à 20m sur 24 h.

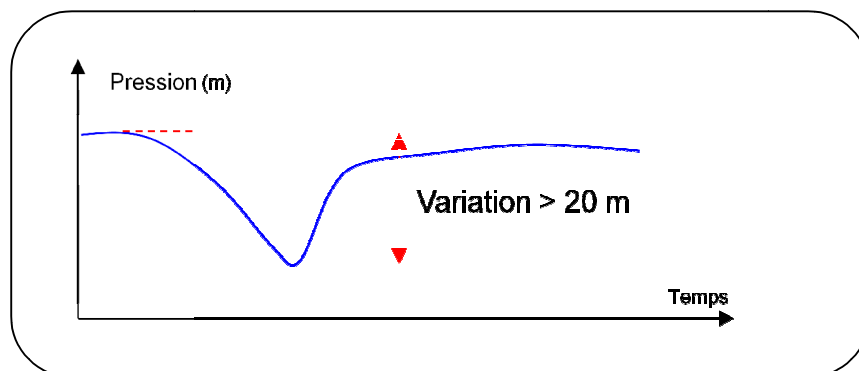


Figure I.3: variation de la pression en fonction du temps. [Document technique. SEAAL. 2010]

Ou bien :

$$Q_{moyen} = 2 * Q_{nuit}$$

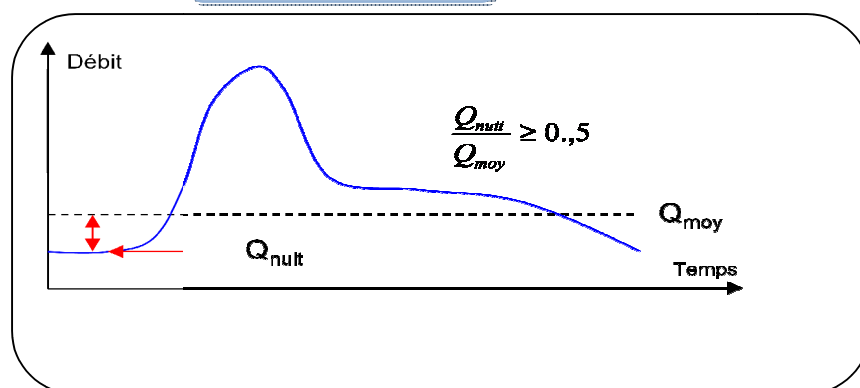


Figure I.4: variation du débit en fonction du temps. [Document technique. SEAAL.2010]

2.5 Impact sur la pression et respect du confort de l'abonné

Avec la modulation de pression à la demande, l'abonné conservera un niveau de pression quasi-constant et stable tout au long de la journée.

Tous les bénéfices obtenus par cette méthode se font pendant les heures de faible consommation.

La nuit, la consommation de l'abonné est quasi-nulle. La perte de charge sur le réseau devient nulle également et le niveau de confort de l'abonné peut être abaissé.

En pratique, la perte de charge sur le réseau en fonction de la consommation peut être mesurée par des enregistreurs de pression pendant les jours de plus forte consommation (exemple: vendredi, samedi).

Toutefois si le compteur est équipé avec un réducteur de pression en partie privative, l'impact de la modulation de pression sera négligeable.

2.6 Méthode pour l'amélioration du rendement de réseau

-Amélioration du rendement de vos réseaux par l'abaissement de la pression

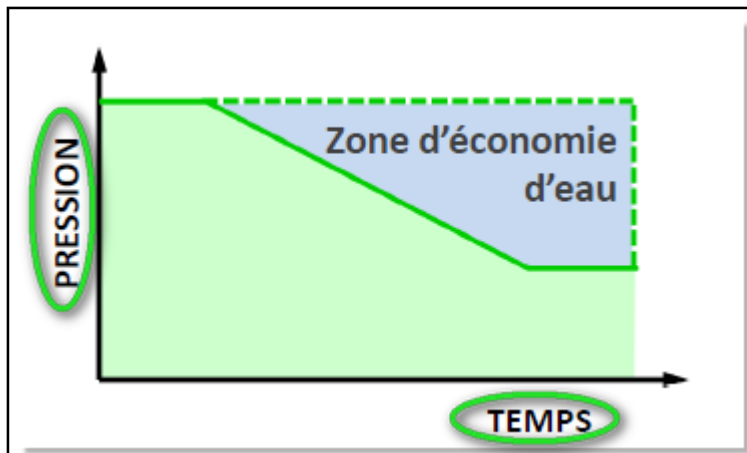


Figure I.5 : Diagramme d'économie d'eau [Document technique. SEAAL.2010].

Le diagramme ci dessus montre la zone d'économie d'eau réalisable en produisant un abaissement de la pression (zone bleu).

Elle représente, en fonction du temps, un abaissement de la pression possible pendant une période de basse de consommation.

-Amélioration du rendement de vos réseaux par l'abaissement de la pression (réduire le volume des fuites)

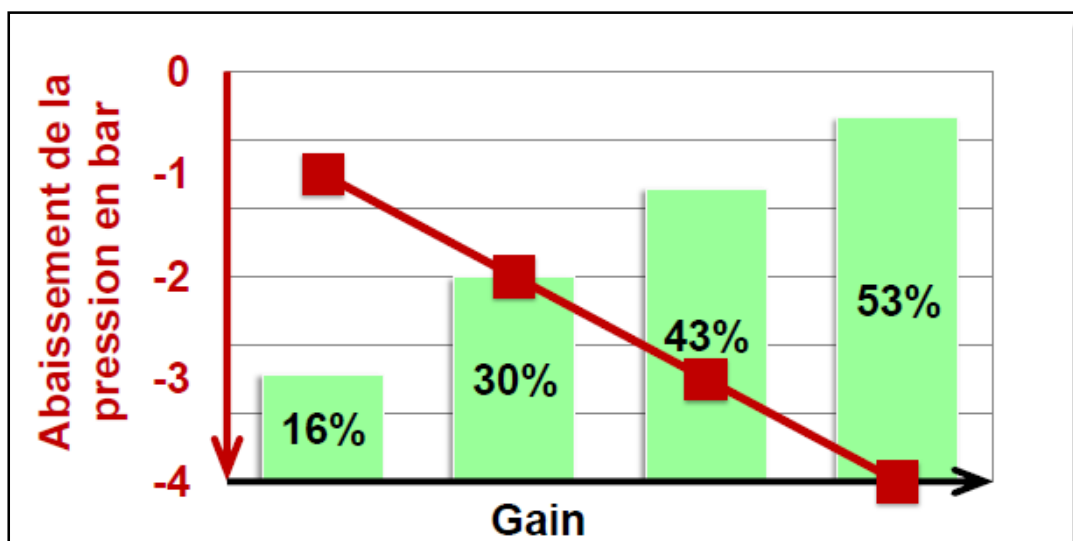


Figure I.6 : Diagramme de réduire le volume des fuites/la pression [Document technique. SEAAL.2010].

Exemple:

Il suffit d'abaisser la pression initiale de 2(bar) pour réduire le volume des fuites de 30% !

-Amélioration du rendement de vos réseaux Evaluation du volume des fuites

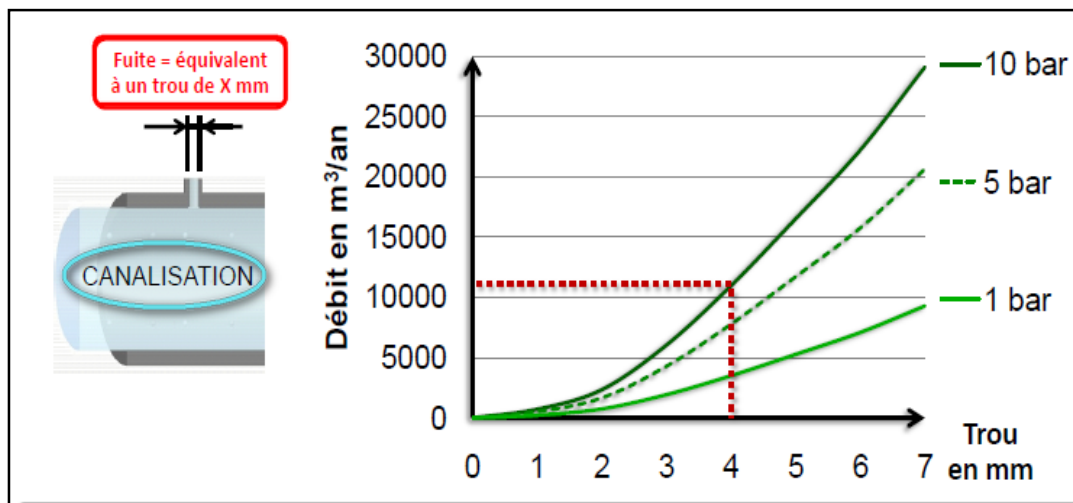


Figure I.7 : Diagramme de réduire le volume [Document technique. SEAAL.2010].

Exemple:

Le volume d'une fuite annuelle de 4 mm à une pression de 10(bar) est de 11000 m³ soit l'équivalent de 4 piscines olympiques!

2.7 Des avantages à court-terme et long-terme

Le retour sur investissement est généralement rapide, de l'ordre de 1 à 3 ans si l'on prend en compte les économies d'eau réalisées et la réduction des coûts de détection et réparation de fuites, et cela malgré l'impact sur les ventes d'eau.

Sur le long-terme, la durée de vie des réseaux est prolongée ; les investissements liés au renouvellement peuvent être différés de l'ordre de 5 à 10 ans.

Dès lors que ces 3 effets sont pris en compte (économie d'eau, réduction du nombre d'interventions et renouvellement différé), la mise en place de système de modulation de pression se trouve aisément justifiée.

3. FONCTIONNEMENT D'UN RESEAU D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

3.1 Introduction

Il s'agit à travers ce chapitre de décrire le fonctionnement hydraulique d'un réseau en eau potable. L'acheminement de l'eau vers les usagers doit se faire en qualité et quantité satisfaisante. L'alimentation en eau dépend de la nature de l'usage : domestique, commercial, industriel, administratif. La consommation est variable selon les jours de la semaine et les heures de la journée. Il existe des périodes de pointe dans la journée qui correspondent à une demande maximale en eau. On distingue aussi le jour de pointe dans l'année qui correspond à une consommation maximale.

3.2 Fonction d'un système d'alimentation en eau potable

L'Alimentation en Eau Potable comprend l'ensemble des opérations d'approvisionnement de la population en eau potable, depuis le prélèvement du milieu naturel jusqu'à l'utilisateur. Elle cherche à répondre à deux objectifs :

a. Production d'une eau de qualité, à partir d'une eau brute qui nécessite généralement un traitement.

b. La distribution de l'eau produite, à travers un ensemble d'installations et de réseaux afin de répondre à la demande des consommateurs de manière satisfaisante (taux de service). On distingue plusieurs étapes dans le processus de production et de d'acheminement de l'eau. La première étape est celle de *Captage*, qui consiste à recueillir les eaux souterraines ou de surfaces de la source. Vient ensuite l'étape d'*Adduction* qui permet de transférer l'eau de la zone de captage jusqu'à proximité de la zone de distribution. Avant d'être distribuée, l'eau doit subir des traitements ce qui permet de transformer l'eau brute en eau potable. L'eau est ensuite acheminée vers les zones de stockage afin de réguler le débit dans le réseau et prévenir une pénurie d'eau en cas de défaillance ou forte demande. L'eau est distribuée à travers un réseau d'Alimentation Eau Potable aux usagers.

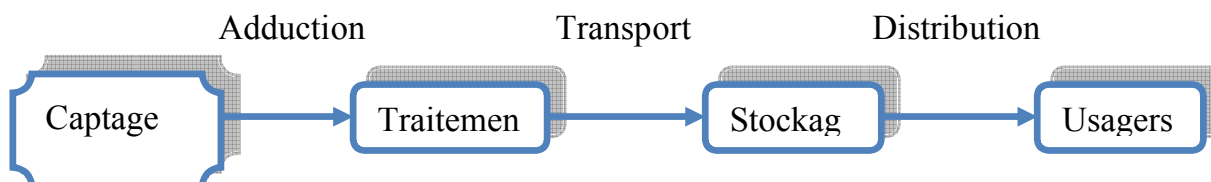


Figure I.7: Le processus de production et distribution de l'eau.

3.3 L'adduction

En fonction de la position de la source d'eau, on distingue deux types d'adduction [Dupont, 1979] :

a. Adduction gravitaire

Dans une adduction gravitaire, le point de captage se situe à une altitude supérieure à celle du réservoir de desserte de l'agglomération.

L'adduction gravitaire se présente également lorsqu'un bassin d'accumulation intermédiaire reçoit, dans un premier temps, l'eau refoulée par une usine et que, dans un deuxième temps, l'eau se trouve évacuée par gravité jusqu'au réservoir de la ville, situé à un niveau plus bas.

Cette disposition, commandée par la configuration des lieux ou par la conception même de l'installation, constitue une adduction mixte refoulement-gravitaire.

b. Adduction par refoulement

Dans une adduction par refoulement, le captage se situe à un niveau inférieur de celui du réservoir d'accumulation.

Les eaux du captage sont relevées par une station de pompage dans cette conduite de refoulement

C. Le réseau de distribution

A partir du réservoir, l'eau est distribuée dans un réseau de canalisations sur lesquelles les branchements seront piqués en vue de l'alimentation des abonnés.

Les canalisations devront en conséquence présenter un diamètre suffisant, de façon à assurer le débit maximal avec une pression au sol compatible avec la hauteur des immeubles.

La distribution de l'eau s'effectue à l'aide de réseaux enterrés constitués de conduites et de canalisations sous pression qui comprennent des :

- conduites et pièces spéciales ;
- appareils de robinetterie : vannes, clapets ;
- appareils de mesure : compteurs, débitmètres ;
- appareils de fontainerie : bouches d'incendie.

Les zones de stockage comprennent généralement des réservoirs à grande capacité. La liaison entre les abonnés est assurée à l'aide des conduites. La jonction entre conduites constitue des nœuds. L'écoulement de l'eau s'accompagne d'une perte d'énergie en raison des frottements avec les parois internes des conduites et des organes hydrauliques que comporte le réseau.

Cette dissipation d'énergie est traduite par le phénomène de perte de charge.

La structure d'un réseau d'AEP dépend de la localisation des abonnés, de leur importance et du niveau de demande à assurer. La structure traduit les dimensions des conduites, la capacité des réservoirs, le nombre de pompes et la puissance fournie.

La structure d'un réseau tient compte d'éléments géographiques tels que : la dispersion des abonnés, la présence d'obstacles naturels, la présence de routes, chemin de fer, jardins, d'autres réseaux enterrés.

Tous ces éléments vont permettre au service de l'eau de définir des caractéristiques propres à chaque composant du réseau afin d'assurer son bon fonctionnement. Ces caractéristiques sont détaillées dans ce qui suit :

3.3.1. Les conduites

Les conduites permettent l'acheminement de l'eau d'un point à un autre point du réseau. Une conduite est un segment de tuyau ou canalisation délimitée par deux points de consommation d'eau appelés *noeuds*. Chaque conduite est caractérisée par :

- a. un noeud initial et un noeud final,
- b. une longueur donnée L,
- c. un diamètre d,
- d. un coefficient de rugosité C traduisant la perte de charge,
- e. un état : ouvert ou fermé

L'écoulement de l'eau s'effectue du noeud disposant de la pression la plus élevée vers le noeud dont la pression est plus faible. La rugosité traduit la résistance de la conduite à l'écoulement de l'eau. Les parois internes des conduites au contact de l'eau créent un phénomène de friction qui s'accompagne de perte d'énergie due au frottement créant ainsi une perte de charge linéaire.

On distingue entre les conduites en fonction :

a. De leur rôle dans le réseau

Le transport de l'eau vers les zones de stockage nécessite des conduites de diamètre important

(300-800 mm). Pour la distribution les conduites sont de diamètres inférieurs (80-250 mm) et enfin les branchements qui sont de plus faible diamètre (40-60 mm) qui permettent d'acheminer l'eau jusqu'aux abonnés à partir des conduites de distribution.

b. la nature du matériau constituant la conduite

Plusieurs conduites sont disponibles présentant des caractéristiques physiques et mécaniques distinctes. Le Tableau I.1 présente certains types de conduite.

La fonte (alliage de fer et de carbone) apparaît comme le matériau le plus utilisé dans la confection des canalisations. On distingue entre les fontes grises (dites fontes anciennes) et les fontes ductiles. Cette distinction est relative à la disposition du graphite (carbone) dans la matière, rendant la fonte ductile moins fragile. La fonte ductile est donc plus adaptée, car elle présente les propriétés suivantes :

- a. bonne résistance mécanique (traction, chocs) ;
- b. résistance aux attaques du sol, fluides, solides transportés, aux variations de pression et de température.

Certaines conduites de longueur fictive peuvent contenir des dispositifs hydrauliques spécifiques : pompes, vannes, coudes, stabilisateur de pression, autres appareils de mesure. Ils représentent des points singuliers :

3.3.2 Les pompes

Une pompe est un dispositif permettant de fournir de l'énergie au liquide. Le fonctionnement de la pompe est relié généralement à un réservoir. Le démarrage et l'arrêt de la pompe sont fonction du niveau du réservoir ou des plages horaires spécifiques. Une pompe peut être caractérisée soit par une puissance constante (énergie), fournie à l'eau au cours du temps indépendamment du débit et de la hauteur de refoulement, ou par une courbe caractéristique qui décrit la relation entre la hauteur de refoulement et le débit fournie à l'aide d'une fonction

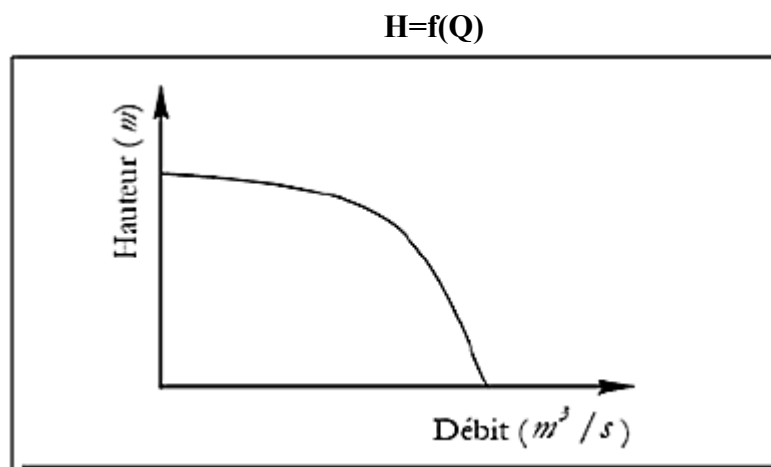


Figure I.8 : Exemple de courbe caractéristique d'une pompe

Une pompe est définie par :

- le noeud sur lequel elle est indexée (en général un réservoir) ;
- la puissance absorbée par l'eau ou sa courbe caractéristique ;
- les seuils d'arrêt et de démarrage du réservoir à partir desquels la pompe s'arrête ou démarre ;
- les plages horaires de fonctionnement et d'arrêt.

3.3.3 Les vannes

Certaines conduites de longueur fictive comporte des vannes qui permettent de limiter la pression ou le débit en des points précis du réseau. Les vannes sont caractérisées par :

- les noeuds d'entrée et de sortie ;
- le diamètre ;
- la consigne de fonctionnement et l'état de la vanne ;
- coefficient de perte de charge singulière.

Une vanne peut être ouverte ou fermée, le fonctionnement de la vanne est fonction de consignes relatives à un noeud indexé généralement en rapport avec la pression. L'écoulement de l'eau à travers la vanne s'accompagne d'une perte d'énergie exprimée par la perte de charge singulière :

$$H_s = c \frac{v^2}{2g}$$

Où, H_s : perte de charge singulière en mètres ; c : coefficient de perte de charge singulière propre à la vanne ; v : vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite supportant la vanne en m/s ; g : gravité en m/s^2 .

3.3.4. Les noeuds

Les noeuds représentent des points de jonction entre les conduites. Ils correspondent à des points d'entrée ou de sortie d'eau. Il existe deux catégories de noeuds :

3.3.4.1 Les noeuds à débit fixe

Ces noeuds se caractérisent par une cote au sol connue et un débit connu (demande), l'inconnue est la pression au noeud qui doit être calculée. Ils correspondent à des points de consommation dans le réseau. Ces noeuds peuvent décrire la consommation d'un ou de plusieurs abonnés de même type. On distingue entre les abonnés selon le type de consommation : domestique, industrielle, administrative. La consommation au noeud exprimée par la demande peut être constante ou variable. Selon la nature des abonnés, la demande est décrite par une courbe de consommation.

a. La courbe de consommation ou de modulation

La courbe de consommation décrit pour un type d'abonné (domestique, industriel, commerce, administration) l'évolution de la demande en eau tout au long de la journée. La consommation journalière est tributaire des heures de la journée. Pour une consommation maximale, on identifie le jour de pointe dans

l'année et une heure de pointe dans la journée. Pour une journée donnée, on calcule la consommation moyenne, pour chaque période t. Le multiplicateur de la demande μ_t à partir de la consommation Q_t est calculé tel que :

$$\mu_t = \frac{Q_t}{Q}$$

$$Q_{\text{moy}} = \frac{\sum_{t=1}^{24} Q_t}{24}$$

Où

La Figure I.9, Représente la courbe de consommation au jour de pointe, K_2 représente le coefficient de pointe horaire qui correspond au multiplicateur de la demande à l'heure de pointe.

Tableau I.3 coefficients de consommation

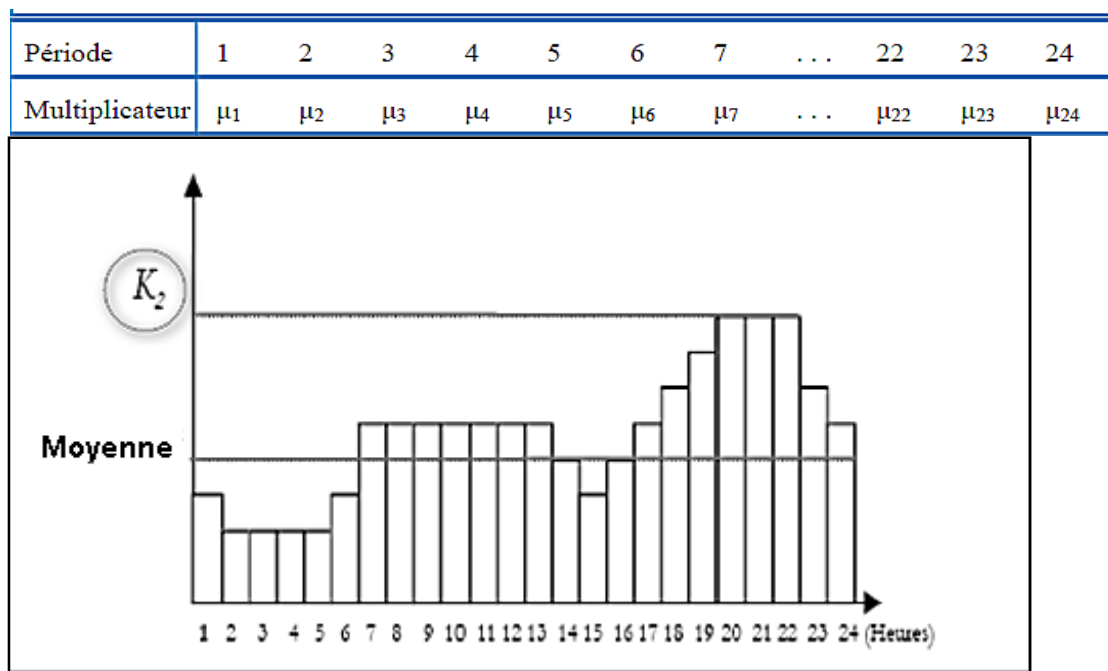


Figure I.9 : courbe de consommation au jour de pointe

b. Le coefficient de pointe journalier

Le coefficient de pointe journalier K_j représente le rapport entre le volume maximal consommé en une journée et le volume moyen journalier consommé sur l'année :

$$K_j = \frac{\text{Consommation du jour de point e (m }^3 \text{)}}{\text{Consommation du jour moyen (m }^3 \text{)}}$$

c. Le coefficient de pointe horaire

Le coefficient de pointe horaire, K_h , représente le rapport entre la consommation à l'heure de pointe et la consommation moyenne de la journée de pointe.

$$K_h = \frac{\text{Consommation de l'heure de pointe (m}^3 \text{)}}{\text{Consommation moyenne du jour de pointe (m}^3 \text{)}}$$

d. Le rendement d'un réseau

Le rendement d'un réseau noté η exprime le rapport entre la quantité produite au cours d'une année donnée et la quantité facturée (vendue). Le rendement du réseau permet de déterminer le volume d'eau non facturé (arrosage, poteaux incendie, pertes).

$$\eta = \frac{\text{volume facturé (m}^3/\text{an)}}{\text{volume produit (m}^3/\text{an)}}$$

4.3.4.2 Les nœuds à charge fixe

Ceux sont des nœuds où la charge est fixée ou dont la cote piézométrique de l'eau est connue.

Il peut s'agir d'un réservoir dont le niveau d'eau varie en fonction du temps au sol ou sur tour, d'un poteau à incendie ou d'une bêche de pompage dont le niveau reste inchangé. Pour ces nœuds le débit doit être calculé.

a. Les réservoirs

Les réservoirs sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau peut varier au cours du temps. Cette variation est décrite par la courbe de volume, qui pour un point de stockage (Réservoir, château d'eau) définit la relation entre le niveau d'eau et le volume qu'il contient. Cette relation tient compte de la forme géométrique du point de stockage. Les caractéristiques d'un réservoir sont :

- L'altitude du radier qui correspond à un niveau zéro de l'eau.
- Le diamètre du réservoir ou sa courbe de volume
- Les niveaux : initial, minimal et maximal de l'eau

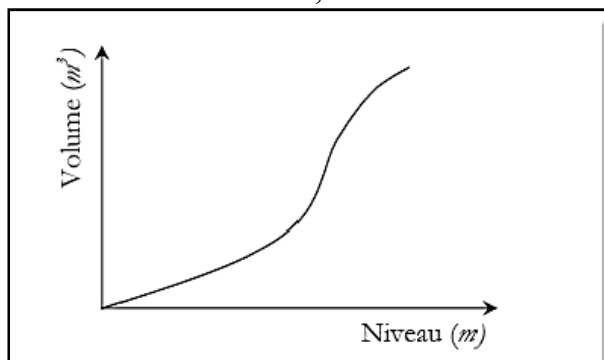


Figure I.10 : Exemple de courbe de volume d'un réservoir

b. Les bâches

Ces noeuds sont des points de stockage à capacité infinie, il représente des sources externes d'approvisionnement en eau (pompage, lac, fleuve). Les bâches sont caractérisées par un niveau d'eau fixe.

3.3.5. Topologie du réseau d'AEP

La topologie du réseau est la représentation schématique des différents noeuds d'un réseau et de leurs liaisons physiques (conduites, pompes, vannes). La disposition des noeuds et des conduites dépend de la localisation des abonnés, présence de routes, obstacles naturels, présence d'autres réseaux. En termes de topologie, on distingue :

a. Les réseaux ramifiés

Ce type de réseau se présente selon une structure arborescente à partir du noeud à charge fixée assurant la mise sous pression. Cette configuration est justifiée par la dispersion des abonnés.

Cependant, ce type de topologie réduit la fiabilité du réseau dans le cas d'une rupture d'une conduite, privant en eau les utilisateurs en aval du point de rupture. Elle caractérise généralement les réseaux de distribution d'eau en milieu rural.

b. Les réseaux maillés

Comportant un certain nombre d'antennes en boucle et pouvant assurer la distribution en eau, cette configuration caractérise les réseaux de distribution d'eau en milieu urbain où il existe une concentration des abonnés. La présence de boucle ou de maille réduit les risques de coupure en cas de rupture de conduites, car assurant une redondance dans l'acheminement de l'eau et limitant l'impact d'une rupture sur la desserte en eau. Dans la réalité, les deux configurations coexistent dans un même réseau. En milieu rural, le réseau sera formé par plus d'antenne et ramifications, alors qu'en milieu urbain on constatera plus de mailles.

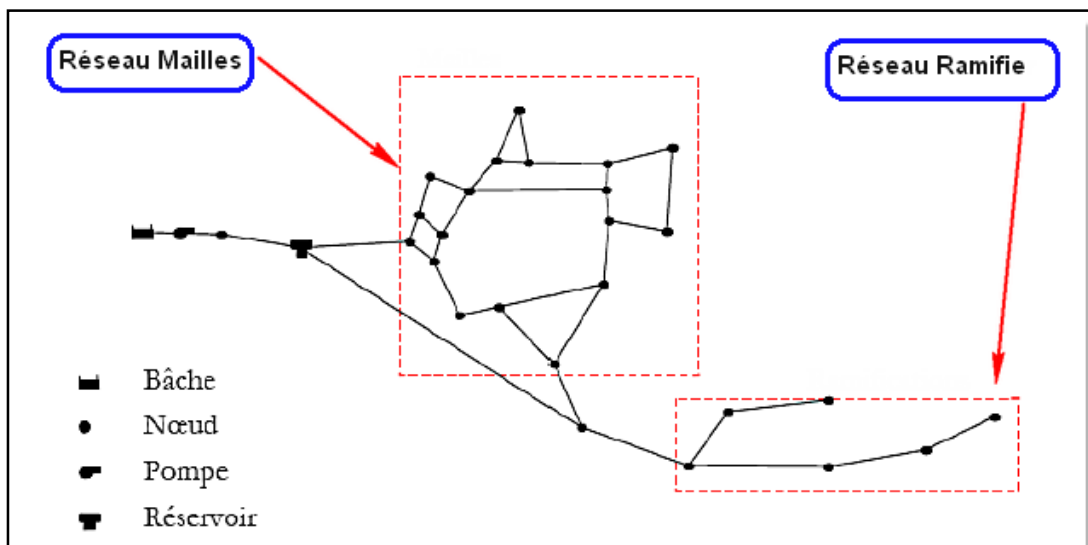


Figure I.11 : Représentation schématique d'un réseau d'alimentation en eau potable.

4. CONCLUSION

La modulation de pression au cœur d'Alger était la condition obligatoire pour alimenter les algérois en H24.

L'instauration de cette modulation de pression est fortement bénéfiques car elle a permis une excellente gestion et maîtrise en terme d'exploitation des réseaux, mais aussi une meilleure maintenance préventive des éventuelles anomalies dans les réseaux de distribution.

Les impacts constatés après cette réduction de pression dans les différents étages de distribution modulés d'Alger sont très positifs sur le taux de casse des conduites, le nombre et la fréquence d'apparition des fuites ainsi que sur l'importante réduction du volume des pertes physiques.

Chapitre : II
Présentation de la zone d'étude et description du
réseau de la ville de Laquière (Bologhine)

1. INTRODUCTION :

La description de la situation de la zone d'étude, nous permet d'assurer une bonne prise en charge et, de mener à bien notre travail. Pour cela, on la fait de point de vue géographique, topographique, géologique, climatique, démographique et hydraulique.

2. DESCRIPTION DE SECTEUR D'ETUDE

2.1 Situation géographique

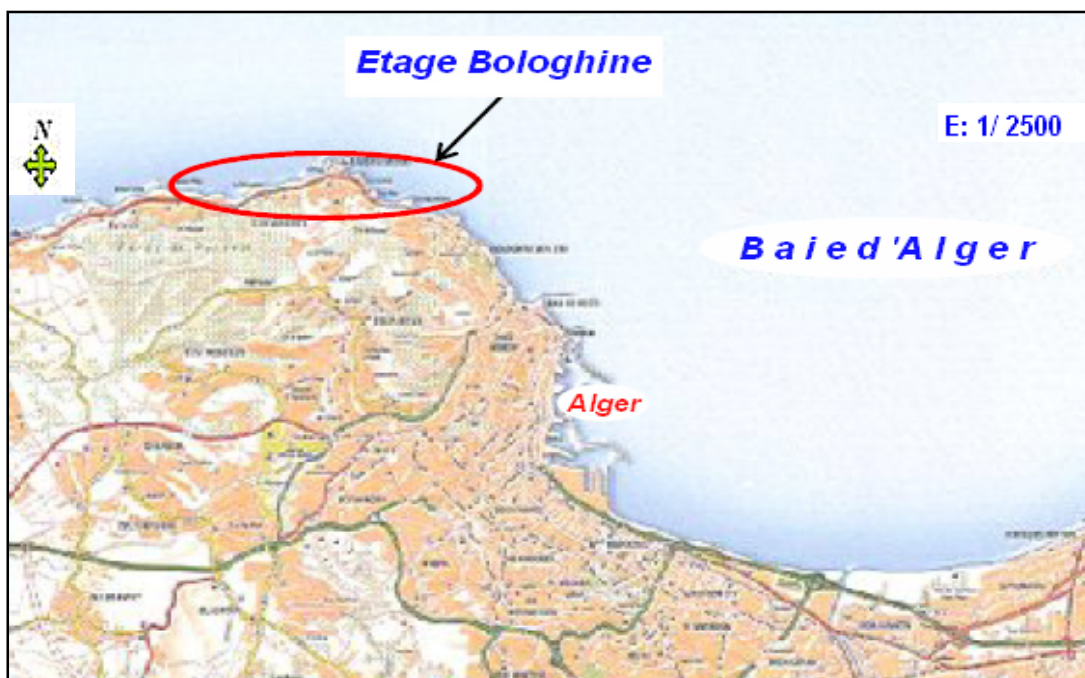


Figure II.1: plan de situation géographique de la ville de laquière

La ville de Laquière (Bologhine) se trouve dans le nord-ouest de la wilaya D'Alger, Elle est constituée par les trois (03) communes suivantes :

- **BOLOGHINE**
- **RAÏS HAMIDOU**
- **HAMMAMET**

Figure : plan de situation géographique de la ville de laquière

L'Etage de Bologhine est limitée :

- L'étage Bordj Boulila en Amont.
- Les étage Dazy et Forêt de Bainem en aval.

2.2 Situation Topographique

La wilaya d'Alger représente le site où nous aurons fait l'étude présentée par ce mémoire, a des coordonnées Lambert 36°46'35'' N et 03°03'31'' E

La région concernée par notre étude constituée de plaines et de collines du Sahel algérois, avec du terrain généralement accidenté a des côtes altimétriques variable entre 0 à 200m NGA, qui donnent un terrain accidenté avec des pentes considérablement fortes présentant une pente moyenne de 5%.

2.3 Situation géologique et sismique

Alger est bâtie sur les contreforts des collines du Sahel algérois, qui représente la limite de la plaine de la MITIDJA. Cette dernière est une vaste plaine d'Algérie du Nord qui couvre une superficie de 1300Km² ; soit 100Km de longueur et une largeur variant entre 8 et 18 Km, avec une altitude de 100m en moyenne, et repose sur des épaisse des formations des roches sédimentaires, l'application des mesures parasismiques est prise en compte dans les futures constructions.

Alger est une zone sismique sensible, menacée par plusieurs failles (Khaïr al Dine, Zemmouri, Sahel, Chenoua, Blida, Thenia). Le dernier séisme important date du 2003 de Boumerdès (faille Zemmouri), et a coûté la vie à 20 000 personnes. Cependant plusieurs quartiers ont été touchés par ce séisme.

Depuis le tremblement de terre du 29 Octobre 1989, cette région est étudiée avec attention et, la carte des isoséistes montre que tout le Sahel d'Est en Ouest possède une forte magnitude. Donc notre zone d'étude se trouve dans la zone territoriale où l'intensité sismique est non négligeable, car elle se situe au dessus de la faille tectonique qui sépare le continent Africain du continent Européen

Les sols dangereux à hauts risques sismiques sont :

- Les alluvions épaisses et molles où une nappe phréatique est plus profonde.
- Les sols à poussées sableuses, limoneuses, saturés d'eau.
- Les marnes et argiles, peuvent poser des problèmes lorsqu'ils sont gorgés d'eau.

Et pour éviter les conséquences sismiques, doit être que les études de génie civil doivent prendre en considération cette particularité.

2.4 Situation climatologique :

2.4.1. Le climat :

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

La wilaya d'Alger bénéficie d'un climat méditerranéen et subit par sa situation géographique de double influence de la mer et de la montagne. Elle est connue par ses longs étés chauds et secs. Les hivers sont doux et humides.

2.4.2. La température :

A cause que notre région d'étude est située dans une plaine, la bonification des effets de la mer méditerranée est moins bonne. Les températures estivales sont plus élevées, il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août. Elle est à l'environ de 30°C au maximum, et à l'environ de 6°C au minimum. Avec une température moyenne annuelle de 18°C.

2.4.3. Hygrométrie :

La variation annuelle de l'humidité relative est moyennement faible, de Mai en Septembre la moyenne n'atteint pas 70%, et l'air est légèrement sec.

Les données météorologiques de notre zone d'étude sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Tableau II.1: Relevé météorologique d'Alger.

mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	juin	juil.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température min.moy.(°C)	7	8	9	9	12	15	17	19	14	11	6	7	11,5
Température max.moy.(°C)	16	17	18	20	23	26	27	29	26	23	16	16	17,2
Précipitations (mm)	112	84	74	41	46	15	1	5	41	79	130	137	764
Nombre de jours avec pluie	12	8	5	6	3	3	2	2	3,2	2	10	14	70
Vitesse de vent (m/s)	2,9	3,2	3,1	3,7	2,8	3,5	3,2	3,3	3,3	3	2,9	3	3,13

2.4.4. Pluviométrie :

La valeur de la pluviométrie moyenne annuelle de jours de pluie est de 764mm/an répartie pendant deux saisons (hiver et printemps). La neige est rare, mais pas impossible et les pluies verglaçantes ne sont pas rares. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes.

2.4.5. Les vents :

Les vents locaux sont prédominant Ouest et Nord-Ouest avec quelques vents nord-est. Le maximum de force des vents se situe au cours de l'hiver et le minimum à la fin de l'été. Les vents adoucissent le climat durant la saison chaude, le sirocco est arrêté par le contrefort du djebel chréa (Atlas Blidéen).

2.5 Etude d'évolution de la population :

Le réseau d'alimentation en eau potable de la région est conçu, en tenant compte de la croissance démographique et l'évolution de la population dans le temps.

Le nombre d'habitants dans le futur est estimé par la formule suivante :

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

P_n: population à l'horizon future ; **P₀** : population de l'année de référence ;

n : nombre d'années séparant l'année de référence et l'année de l'horizon et

α: taux d'accroissement.

Tableau II.2 : évaluation de la population de l'étage de Bologhine.

Année	2009	2011	2015	2020	2025	2030
Taux d'accroissement % / an	1,88	1,81	1,72	1,10	1,10	1,20
Population Habitant	61867	62668	63525	64 623	65754	69795

La population de l'étage de Bologhine s'élève à 61867 habitant en 2009 et devrait atteindre 62668 en 2011 en raison de la livraison d'un important programme de logement puis croître jusqu'à environ 69795 en 2030 comme le montre la courbe. Ci-dessous.

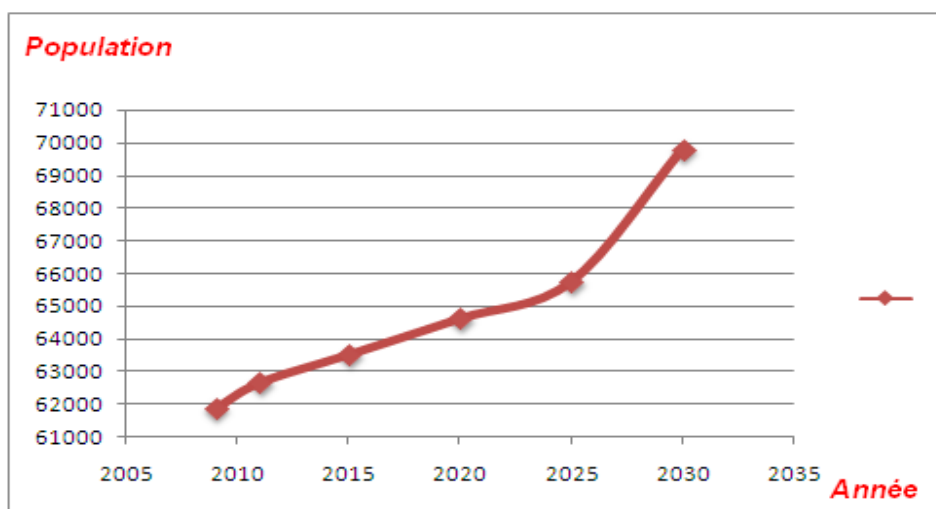


Figure II.2: l'accroissement des populations pour différents horizons

2.6. Demande en eau :

L'évolution des besoins en eau entre 2009 et 2015 est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

Année	2009	2011	2015
Population	61867	62668	63525
Demande en eau domestique m3/j	9 159	9436	9 138
Demande en eau diffuse m3/j	2 748	2840	2 742
Demande en eau des grands consommateurs m3/j	638	630	604
Rendement de réseau %	63	66	66,5
Demande en eau totale m3/j	12545	12906	12484

Tableau II.3 : L'évolution des besoins en eau de l'étage de Bologhine entre 2009 et 2015 [*Document technique. SEAAL.2010*].

3. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES ET DU

FONCTIONNEMENT ACTUEL DE L'ETAGE DE BOLOGHINE

La figure ci-dessous montre le plan de l'étage Bologhine :

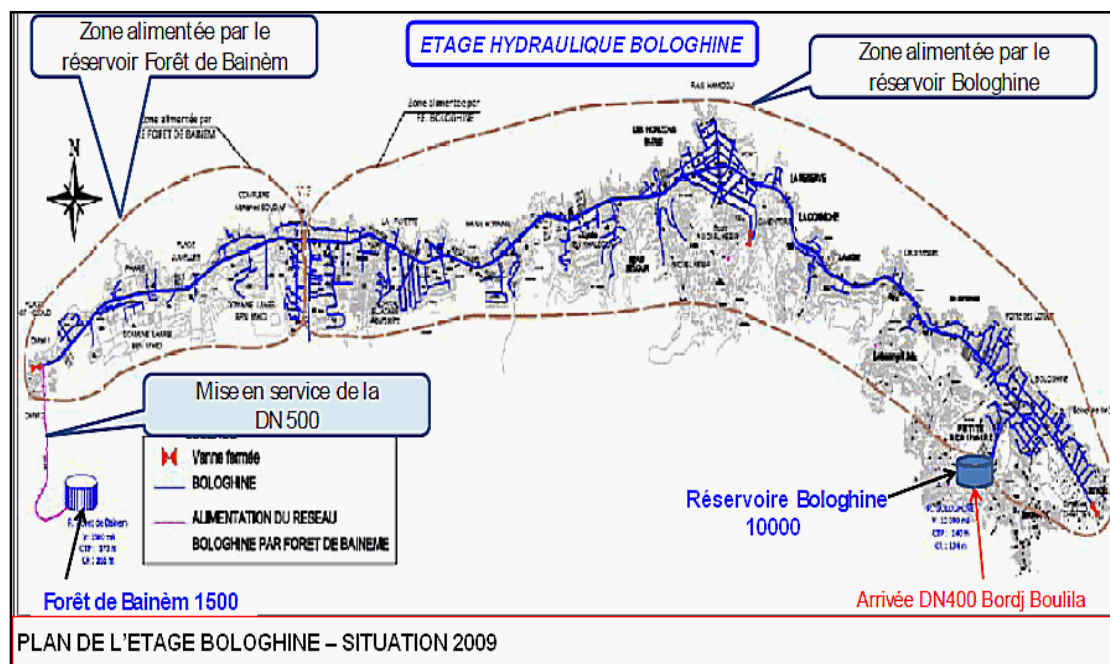


Figure II.3: plan de l'étage Bologhine [Document technique. SEAAL.2009]

3.1. Les ouvrages de stockage de l'étage de Bologhine

Les réservoirs d'eau potable jouent un rôle prépondérant pour :

- maintenir la pression dans les réseaux,
- assurer l'approvisionnement en eau pendant les heures de pointe,
- assurer un stockage de secours (de quelques heures) en cas d'arrêt de la production.

Le réservoir de Bologhine (10 000 m³, CTP = 140 mNGA, CR = 134 mNGA) est actuellement alimenté gravitairement par le réservoir de Bordj Boulila via une conduite en DN400. Le réseau peut être alimenté en totalité via une conduite DN500F (en cours de réalisation) par le réservoir de Forêt de Bainèm (1500 m³, CTP = 170 mNGA, CR = 165 mNGA) alimenté par la station de Bellevue (SP4 Ain Benian) via une conduite DN500F.

Le réservoir de Bologhine assure une distribution gravitaire vers les zones littorales des communes de Bologhine, Raïs Hamidou et Hammamet par 2 conduites principales en parallèle maillées dès le départ du réservoir :

- Une conduite DN600F/DN500/DN400,
- Une conduite en DN300/DN200.

Les usagers desservis par cet étage se situent globalement entre les altitudes 9 mNGA et 120 mNGA

Le tableau ci-après résume les caractéristiques de réservoir de Bologhine.

Etage	Commune	Réservoir de tête	Capacité de stockage (m ³)	CR (Mnga)	CTP (mNGA)	Côte Max desservie (mNGA)	Côte Min desservie (mNGA)
Bologhine	Bologhine, Hammamet, Rais Hamidou	Bologhine	RE10000	134	140	110	09

Tableau II.4:caractéristiques de réservoir de Bologhine [*Document technique. SEAAL.2009*].

Pour soulager le réservoir de Bologhine, une partie du réseau côté Ouest sera alimenté par le réservoir Forêt de Bainèm 1500 m³ et la partie Est alimentée par le réservoir Bologhine 10 000 m³ avec la possibilité d'alimenter tout le réseau par l'un des deux réservoirs en cas de problème.

Pour avoir la même charge du réservoir Bologhine dans le réseau alimenté par le réservoir de forêt de Bainèm, j'ai proposé d'installer un stabilisateur aval sur la DN500F qui sort du réservoir Forêt de Bainèm.

3.2 Volume de stockage :

La capacité de stockage du réservoir est de 10 000 m³. Elle permet d'assurer une autonomie d'alimentation de 23 heures lorsqu'on alimentera la partie Ouest du réseau par le réservoir de Forêt de Bainem (on soulagera le réservoir de Bologhine de 2 200 m³/j).

Le marnage du réservoir est de 3 m. Le volume stocké au minimum pendant la journée du réservoir Bologhine s'élève à 5 000 m³ soit 50 % du total.

La courbe de marnage du réservoir est représentée sur les figures ci-dessous :

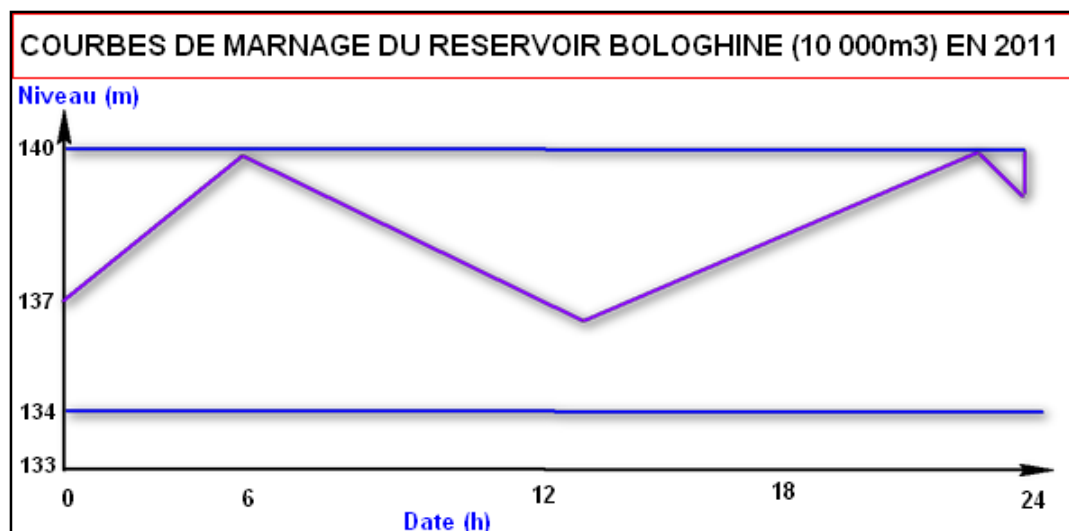


Figure II.4: courbe de marnage du réservoir Bologhine.

Pour conserver la charge de réservoir de Bologhine, j'ai proposé d'installer une vanne altimétrique sur la DN400F qui entre du réservoir Bologhine, cette vanne permet de maintenir le niveau d'eau dans le réservoir constant et joue aussi un rôle de trop plain.

3.3 Les Canalisations

Notre réseau d'étude est structuré par un ensemble de conduites de diamètres entre 600 et 80mm, qui permettent l'apport en eau dans divers endroits du réseau.

Le réseau de distribution existant est de type mixte. Il est très ancien (1922) et sous dimensionner. Il y a eu rénovation de quelques tronçons entre 2006 et 2011. L'ensemble des diamètres représentent 70,89 km de canalisations (distribution, adduction, refoulement eau souterraine, refoulement, conduites abandonnées), plus de 15,61 km de diamètre 200 mm.

Les linéaires de canalisations par diamètre sont représentés dans le tableau ci-après

Diamètres (mm)	Linéaire (km)	Pourcentage (%)
<100	13,22	18,65
100	30,88	43,56
200	15,62	22,03
300	1,72	2,42
400	7,62	10,74
500	1,12	1,57
600	0,73	1,03

Document technique. SEAAL.2011]

4. CONCLUSION

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les données de base de la zone concernée de point de vue topographie, géologie, démographie ainsi que la situation hydraulique, dans le chapitre ce qui suit et après la modélisation du réseau sur le modèle Epanet,

Chapitre : III

Équipement et Étude de Faisabilité d'un Projet de Modulation de Pression.

1. EQUIPEMENT ET DESCRIPTION DES APPAREILS DE REGULATION DE PRESSION

1.1 Stabilisateur de pression

1.1.1 Présentation du stabilisateur de pression aval

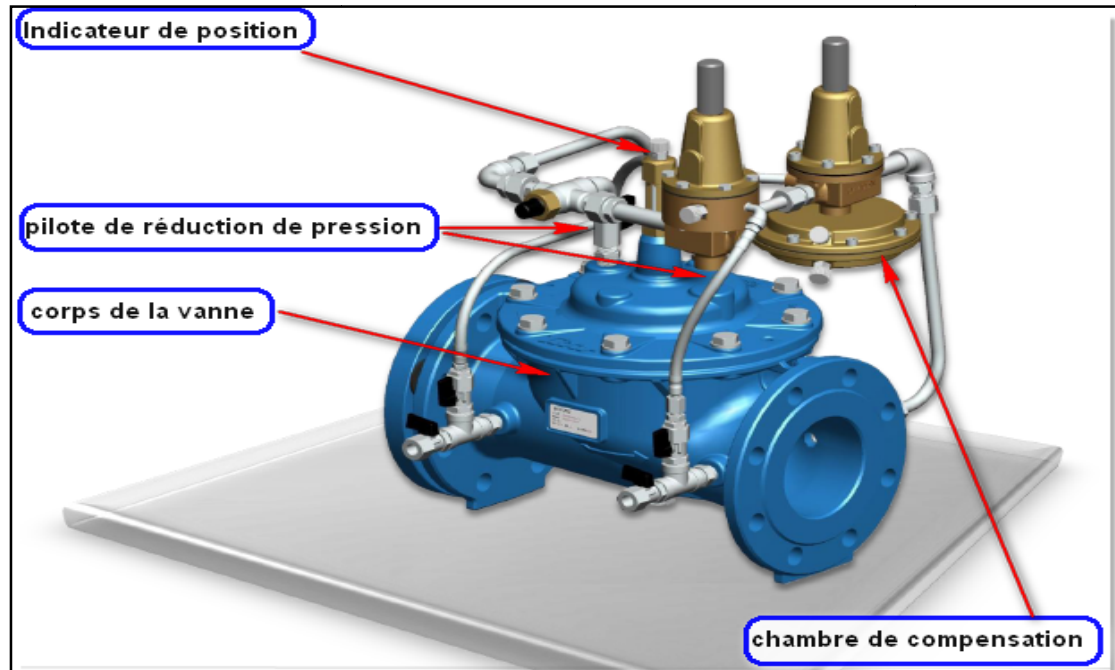


Figure III.1 : Vanne de stabilisation de pression aval.

Cet appareil permet de stabiliser une pression d'entrée variable en une pression de sortie inférieure et constante. Il réduit la pression d'une adduction gravitaire et stabilise la pression entre deux réseaux de pressions différentes.

Au moyen d'une perte de charge que l'appareil est capable de créer, la pression à l'amont est diminuée pour atteindre la consigne de pression qu'on désire imposer pour le réseau en aval.

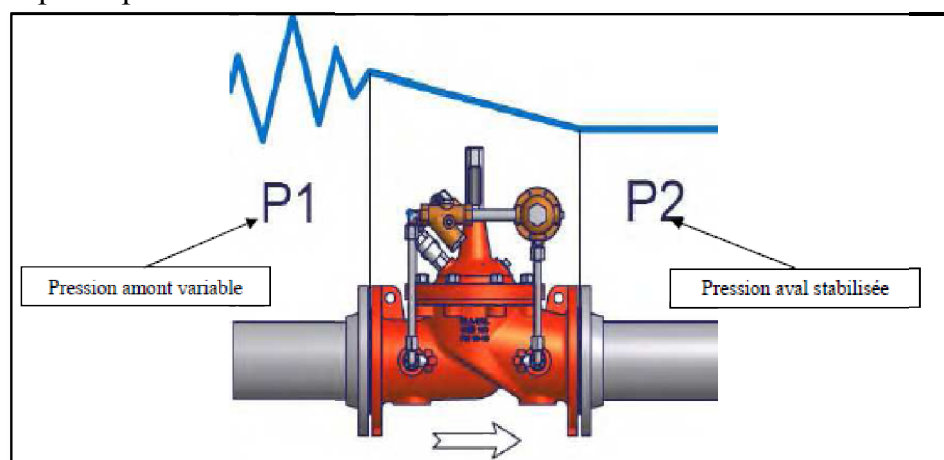


Figure III.2: Vanne de stabilisation de pression aval

Un stabilisateur aval est composé essentiellement de deux éléments principaux :

- la vanne de base à membrane.
- le circuit pilote.

1.1.1.1 La vanne de base :

Le corps de la vanne de base est séparé de son chapeau par la membrane. Ces deux parties ne sont en communication que par le circuit pilote. On peut noter trois zones distinctes de pressions :

- Pression amont
- pression dans la chambre de commande
- pression aval

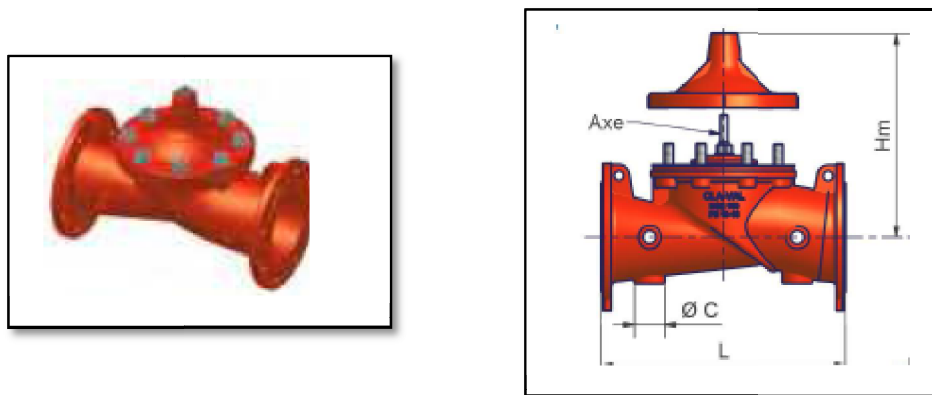


Figure III.3.A: La vanne de

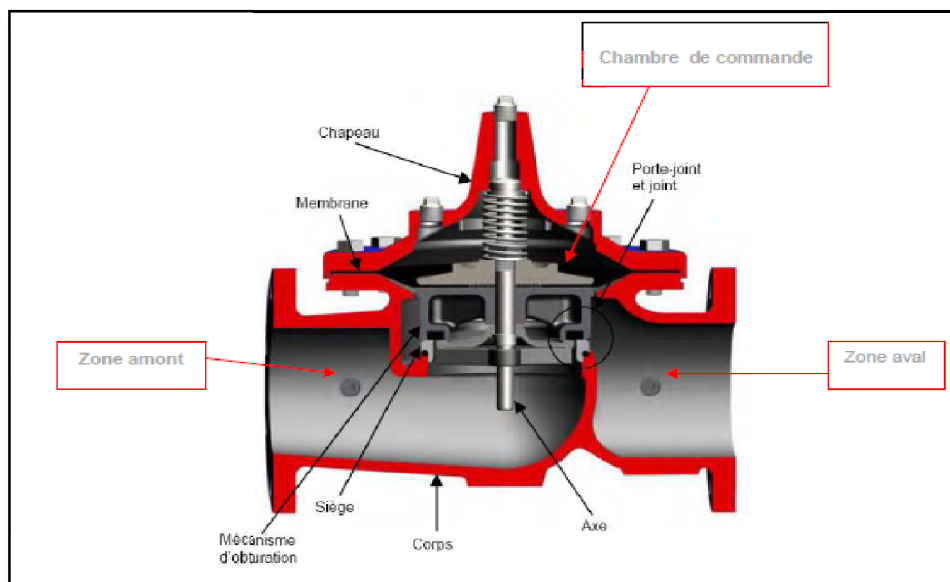


Figure II.3.B: La vanne de base

1.1.1.2 Circuit - pilote de réduction de pression

C'est un circuit extérieur composé d'une tubulure de petit diamètre et du pilote de réduction de pression. Ce dernier est installé sur la tubulure aval du circuit pilote. Notons que sa dimension reste la même quelque soit le diamètre de la vanne de base. Il est doté d'un orifice variable et sa conception diffère selon la grandeur à régler (*pression amont, aval, différentielle, niveau d'eau.....*)

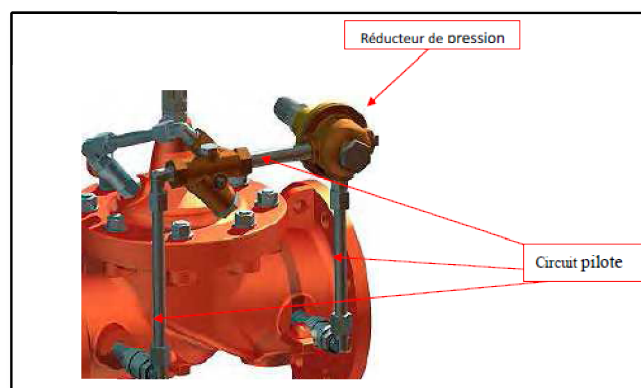


Figure III.4 : La vanne de base avec son circuit pilote

1.1.2 Principe de fonctionnement du stabilisateur de pression aval

On va montrer la différence entre le cas d'une vanne simple et d'une vanne de régulation.

1.1.2.1 Cas où la vanne n'est pas encore équipée du pilote de régulation :

- fonctionnement en vanne

a) - La pression de la chambre de commande est mise à la pression atmosphérique :

La pression d'entrée P_e est plus élevée que la pression P_c dans la chambre de commande de la vanne de base $P_c < P_e$. La chambre de commande se vide. La vanne reste grande ouverte quelque soit le débit

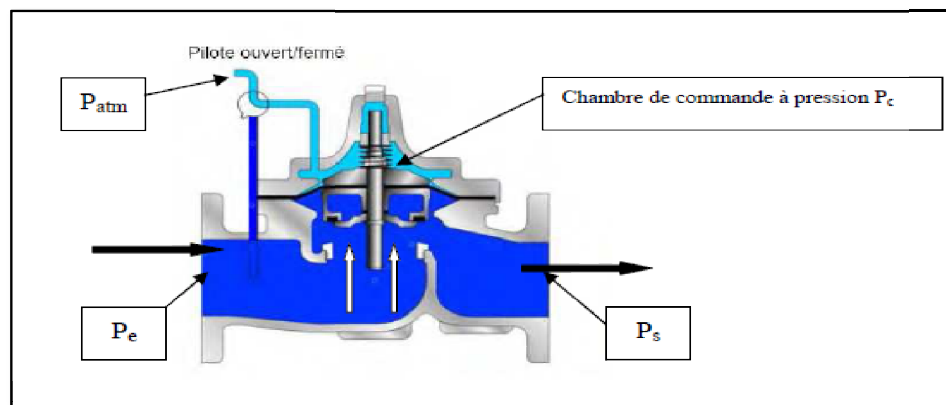


Figure III.4: La vanne de base en fonctionnement

b) La chambre de commande est à la pression amont du réseau :

On établit une communication entre la zone amont et la chambre de commande au moyen d'une tubulure. La pression d'entrée P_e est égale à la pression P_c dans la chambre de commande de la vanne. La surface pressée de la partie supérieure étant plus grande que celle du bas. Par conséquent, la vanne se ferme hermétiquement car la force de pression exercée par le bas sur le siège de la vanne de base est inférieure à la force pressante appliquée sur ce siège par le haut (est ajoutée à la force de pression de l'eau, le poids du mécanisme d'obturation).

Force de pression = (pression) x (surface pressée)

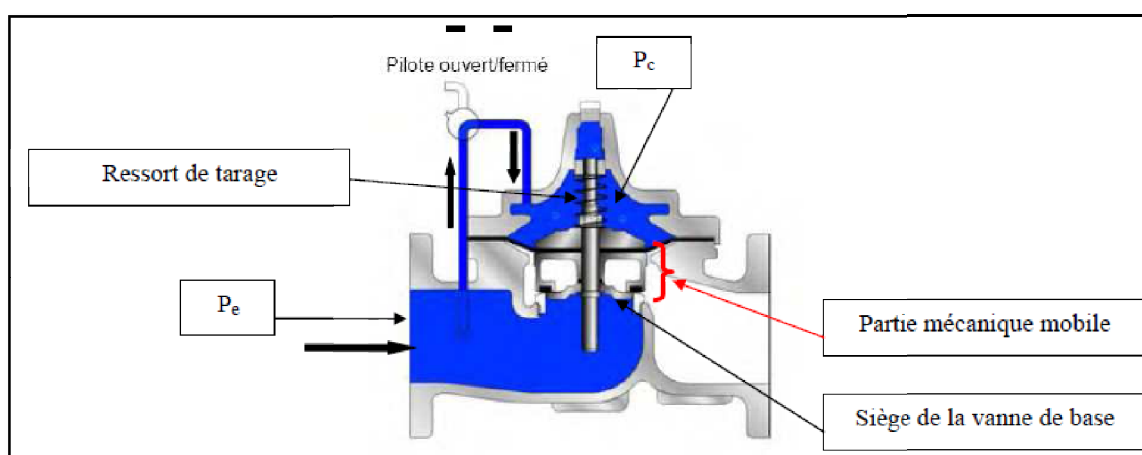


Figure III.5 : La vanne de base en fonctionnement

1.1.2.2 Cas où la vanne est équipée du pilote de régulation :

- Fonctionnement en régulateur

L'ouverture ou la fermeture de la vanne de base est commandée par le pilote de régulation : la vanne de base suit les mouvements du pilote.

Le réducteur de pression est réglé selon la consigne aval. Ainsi il mesure en permanence la pression aval. Dès que cette dernière devient supérieure à la consigne, le pilote se ferme, il n'y a plus d'eau qui circule vers son aval.

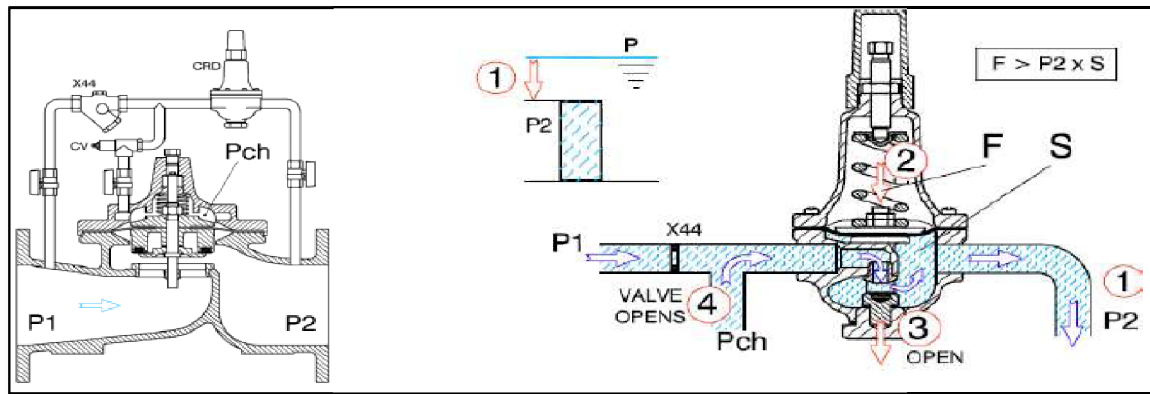


Figure III.6 : Le pilote régulateur fermé

Par conséquent l'eau, dans le circuit pilote est dirigé dans la chambre de vanne. On revient au cas (2-1-2-1 b) ci-dessus : la force pressante du bas vers le haut au niveau du siège est faible par rapport à celle du haut vers le bas. La vanne de base se ferme à son tour.

Dans le cas contraire, le pilote s'ouvre, la chambre de vanne se vide, la vanne de base s'ouvre.

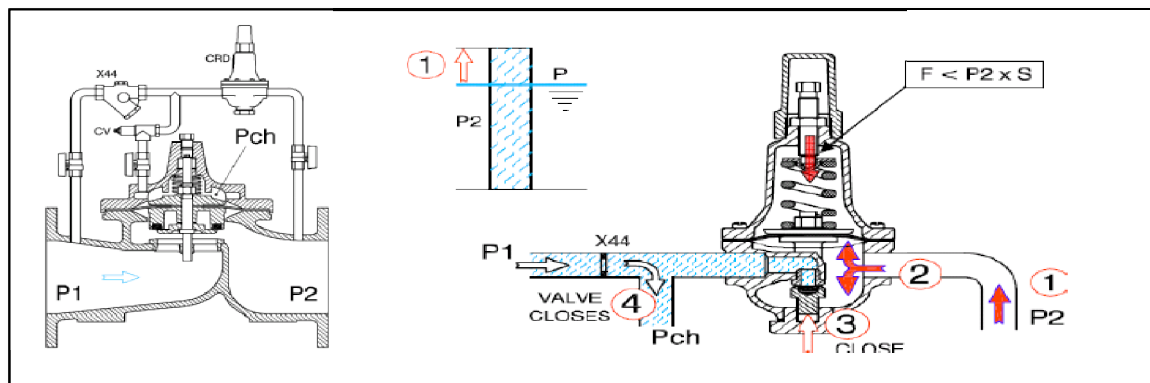


Figure III.8 : Le pilote régulateur ouvert

Pch : pression de la chambre de commande

P1 : pression amont du réseau

P2 : pression aval du réseau

S : surface

CRD : le réducteur de pression

X44 : Filtre

Valve closes : la vanne est fermée

Close : fermé

Valve opens : la vanne est ouverte

Open : ouvert

Mais un certain volume d'eau emmagasiné dans la chambre de commande détermine une ouverture partielle verrouillée de la vanne. Lorsque la vanne est dans un état stable : l'eau ne sort et n'entre pas dans la chambre de commande, le pilote de réduction de pression fixe une position d'équilibre.

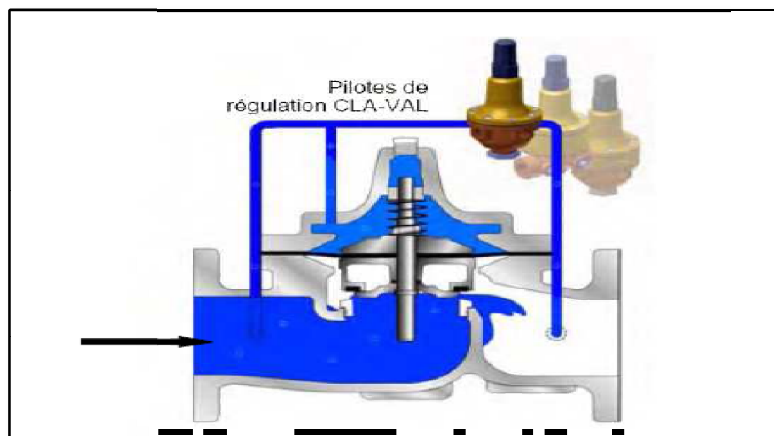


Figure III.9: La vanne de base en équilibre.

1.1.3 Comment dimensionner un stabilisateur de pression :

C'est une opération très délicate qui nécessite une grande précision sur les données de dimensionnement. Une erreur de donnée peut amener à un choix erroné et donc au dysfonctionnement du matériel et peut entraîner de graves conséquences sur le réseau.

Pour dimensionner les stabilisateurs de façon très précise, il est nécessaire de réaliser une enquête sur le mode d'alimentation des immeubles de grande hauteur, mentionnant leur cote au sol et leur nombre d'étages, complétée par une campagne de mesure/enregistrement simultanés des pressions aux interconnexions et en pied des immeubles critiques identifiés pendant l'étude. On connaîtra ainsi précisément la perte de charge acceptable en période de pointe dans les ensembles de régulation, et la réduction de pression possible le reste du temps.

Selon les fournisseurs, les conditions de dimensionnement sont différentes.

Dans le cas de la présente étude, notre dimensionnement des stabilisateurs est basé sur la méthode de la Société CLA VAL. Cette dernière est une Entreprise fabricant essentiellement des vannes de régulation depuis plus de 70ans dans le monde entier dont la maison mère se trouve aux Etats unis. En France elle est basée à Lyon et à Toulouse. Une fiche de quelques produits de CLA VAL est consultable en Annexe (1).

A l'aide d'un logiciel et tout en respectant les conditions ci-après, on définira les gabarits des appareils de régulation de pression.

- **Ouverture de la vanne de base:** il est recommandé d'adopter l'ouverture de la vanne à débit permanent à **70%**, dans les conditions normales d'utilisation. La marge de **15 à 30%** permet d'accepter un débit exceptionnel ponctuel qui pourrait se manifester en une courte période.

- **Les pressions :**

- Pression entrée $< 2 + (6 \times \text{Pression sortie})$: pour éviter les risques de cavitation
- Pression minimale de l'ouverture ou pression à l'amont de l'appareil : 2m. C'est une valeur minimale nécessaire pour que l'ensemble du mécanisme mobile d'obturation puisse fonctionner
- Pression différentielle minimale ou différence de la pression entre amont et aval de l'appareil : 5m (3,5m étant la limite admissible). C'est une valeur minimale, importante pour que le mécanisme d'obturation de la vanne de base puisse se mettre en mouvement ascendant et descendant.

- **Coefficient de débit Kv (m³/h) ou Cv (l/s) ou encore le débit à la température de l'eau à environ 20°** qui engendre une pression de 1bar dans l'appareil. C'est une grandeur caractéristique hydraulique de l'appareil : à débit minimum de fonctionnement, il ne doit pas être inférieur à **3%**.

- **Perte de charge singulière de l'appareil à débit maximal :** pas de règle, cela dépend de la différentielle de pression à disposition.

- **Diamètre, débit et vitesse,** voir tableau ci-après.

Tableau III.1 : Ordre de débit, vitesse selon le diamètre de l'appareil [Source : Catalogue CLA - VAL]

DIAMETRE (mm)	DEBIT SELECTIONNE (l/s)	VITESSE (m/s)	DEBIT MAXIMAL PERMANENT (l/s)	VITESSE (m/s)
200		1 à 3	157	5
250	39 - 147	1 à 3	245	5
300	56 - 212	1 à 3	353	5
350	77 - 289	1 à 3	481	5
400	100 - 377	1 à 3	628	5
500	157 - 589	1 à 3	982	5
600	226 - 848	1 à 3	1414	5
700	307 - 1154	1 à 3	1924	5

1.1.4 Installation et maintenance. [Extrait du catalogue CLA-VAL]

Il est recommandé de:

- installer la vanne de base horizontalement, le chapeau dirigé vers le haut.
- installer la vanne dans le sens d'écoulement prévu. Celui-ci est indiqué par la plaquette signalétique de l'appareil monté sur la bride d'entrée (et/ou par la flèche d'écoulement placée sur le corps de la vanne de base).
- purger la conduite amont avant l'installation de la vanne de base, afin d'éviter toute présence de corps étranger dans l'appareil.
- prévoir des vannes de barrage à l'amont et/ou à l'aval afin d'isoler l'appareil lors de révision ou contrôle.
- purger la chambre de commande de la vanne de base, ainsi que le circuit-pilote au(x) point(s) haut(s), lors de la mise en eau de l'appareil.

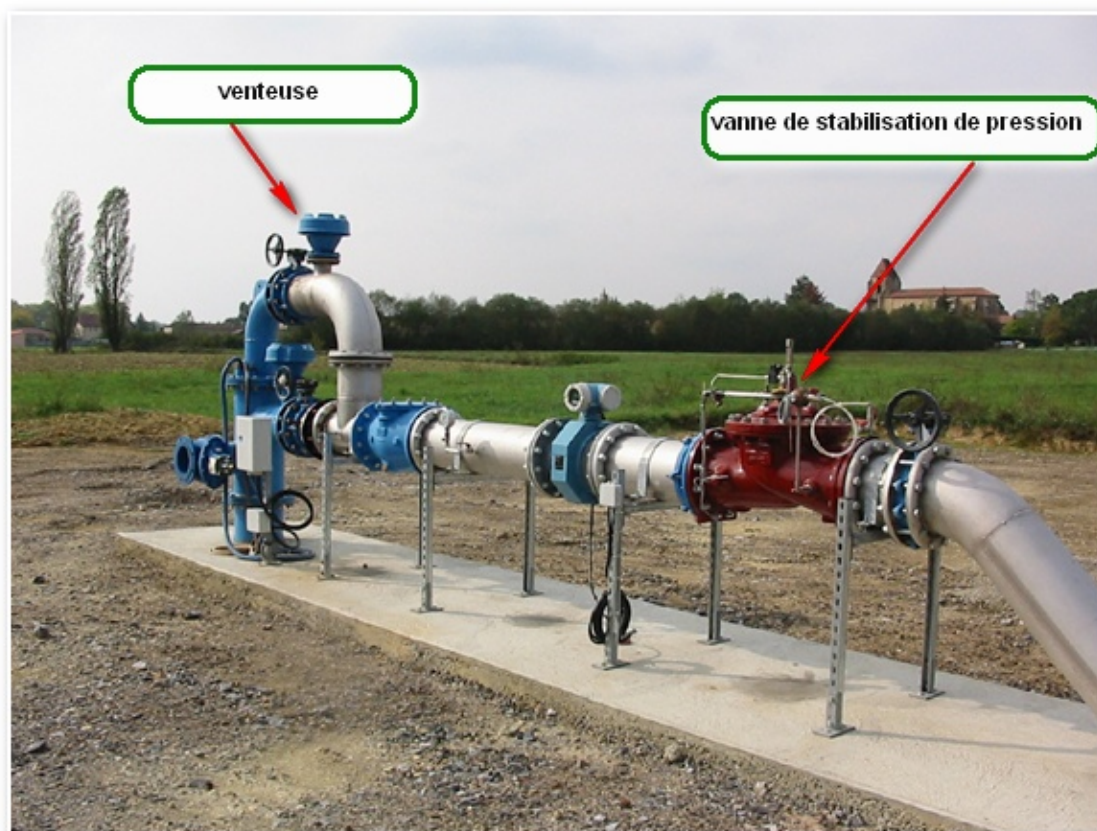


Figure III.10 : Installations de la vanne de stabilisation de pression aval dans un réseau de distribution

Pour plus de détail voir l'annexe (2)

1.2 Modulateur de pression :

1.2.1 Principe d'un système de modulation de pression.

Pour mettre en place un système de modulation de pression, il est nécessaire de disposer de :

- une vanne de régulation hydraulique à pilote ;
- un modulateur permettant le contrôle de la vanne à distance et selon une consigne pré-établie ;
- un appareil de saisie et d'affichage des données.

La figure ci-après en illustre le montage

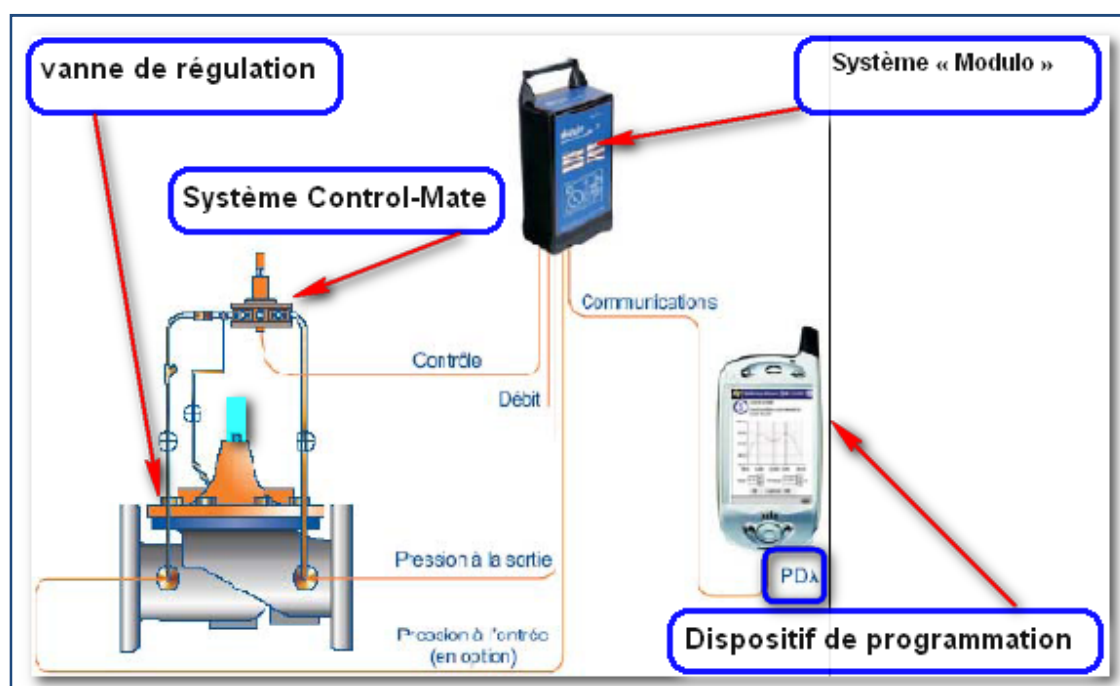


Figure III.11 : principe d'un système de modulation de pression

1.2.1.1 présentation de système « Modulo »

La réduction de la pression dans un réseau de distribution d'eau est une technique prouvée pour la réduction des fuites et de leur fréquence d'apparition.

Modulo 1 est un nouvel équipement électronique de modulation de pression simple à utiliser. Installé sur un pilote d'une Vanne de Régulation existante (PRV), le Modulo 1 est capable de réguler la pression avale en fonction soit d'un profile de Temps, soit du débit.

Modulo 1 intègre un enregistreur 3 voies comprenant une voie débit et deux voies pression.

Les mesures de pression sont effectuées par les capteurs et la donnée est enregistrée pendant que la modulation se fait. Modulo utilise la technologie 'pneumatique'. Ceci permet un contrôle stable et régulier (sans à-coups) de la Vanne sans les problèmes liés aux vannes solénoïdes et filtres utilisés dans d'autres modulateurs de pression.

Les données sont collectées et analysées en utilisant les logiciels TECHNOLOG tel que :

PMAC. Ce logiciel sous Windows est doté d'une base de données puissante permettant l'utilisation de fonction 'simple click' pour analyser et exporter les informations. Pour plus de détail voir l'annexe (2)

1.2.2 Présentation du modulateur de pression

C'est une vanne équipée du pilote de régulation qui permet de compenser les pertes de charge de façon très souple : en période de forte consommation ou le jour (respectivement en période de faible consommation ou la nuit), il est capable d'augmenter (respectivement de diminuer) les pressions dans le réseau.

Il en existe deux types actuellement :

- à commande électronique.
- à commande hydraulique.

1.2.3 Fonctionnement et dimensionnement

Le mode de fonctionnement est identique. Les conditions de dimensionnements se différencient de manière à déterminer sa plage de fonctionnement. Pour une compréhension simple, un exemple ci après :

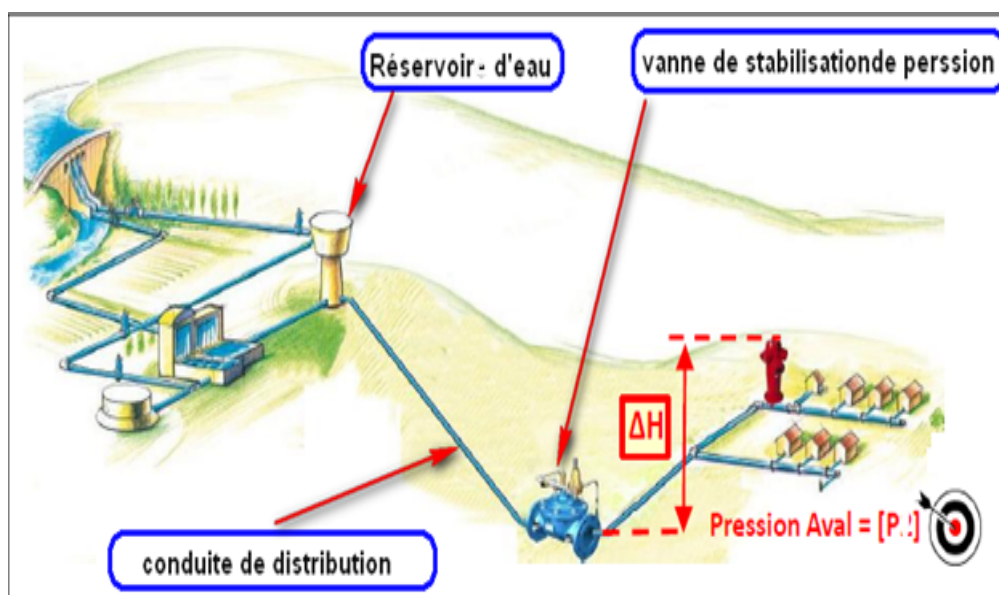


Figure III.12: montre un exemple dans la pratique de modulation de pression

Les donnes :

La différence de cote $\Delta H = 20\text{m}$;

[1,0 bar] = Pression résiduelle

Les pertes de charges linières ΔP :

- $\Delta P_1 = 0.1$ (bar) pour un débit min $Q_1 = 10$ (m^3/h)
- $\Delta P_2 = 0.9$ (bar) pour un débit moye $Q_2 = 30$ (m^3/h)
- $\Delta P_3 = 3.0$ (bar) pour un débit max $Q_3 = 60$ (m^3/h)

Les pressions (min – moye – max) sont :

$P = 2,0 + 1,0 = 3$ (bar) = 30 m H_2O c'est la pression de point critique.

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \Delta H + [1,0 \text{ bar}] + \Delta P_1 = 2 + 0.1 + 1,0 = 3.1 \text{ (bar)} \\ P_2 &= \Delta H + [1,0 \text{ bar}] + \Delta P_2 = 2 + 0.9 + 1,0 = 4.0 \text{ (bar)} \\ P_3 &= \Delta H + [1,0 \text{ bar}] + \Delta P_3 = 2 + 3.0 + 1,0 = 6.0 \text{ (bar)} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{possibilité de la} \\ \text{vanne de modulation} \\ \text{de pression} \end{array}$$

Pour déterminer la plage de fonctionnement. Pour une compréhension simple, un exemple ci après :

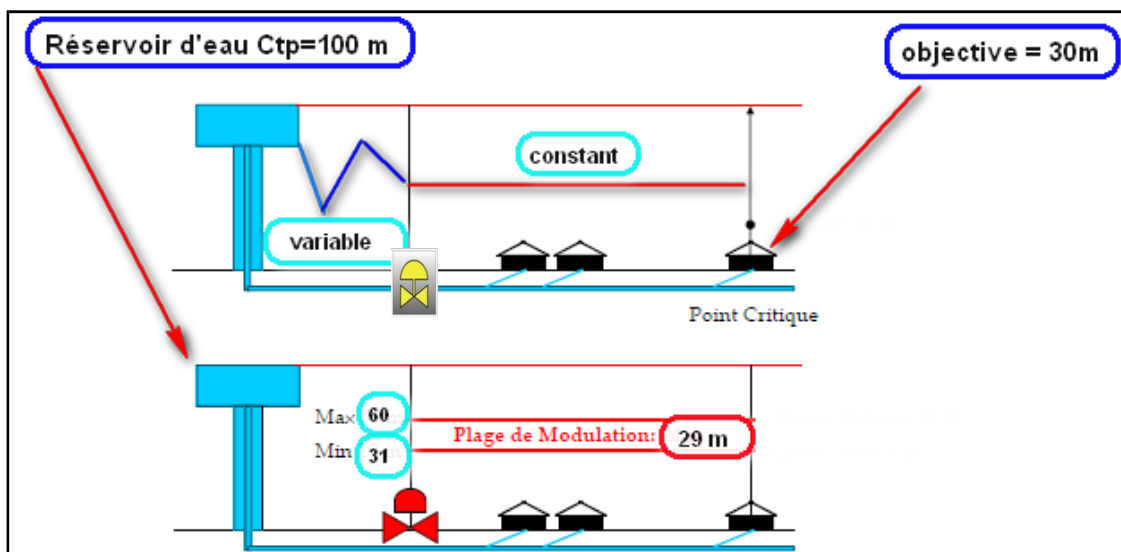


Figure III.13:montre La plage de modulation de pression

- La cote de trop plain de réservoir est de l'ordre 100 m
- Dimensionnement pour le débit de jour : $100 - 60 = 40$ m (réduction de 40 m)
- Dimensionnement pour le débit de nuit : $100 - 31 = 69$ m (réduction de 69 m)
- Donc la plage de modulation sera : $69 - 40 = 29$ m

2. ETUDE DE FAISABILITE :

L'étude de faisabilité d'un projet de modulation de pression se base essentiellement sur l'étude hydraulique du réseau et la définition d'une sectorisation adaptée à la modulation.

2.1 Identification et dessin des zones à réguler

La première étape consiste à identifier les zones du réseau, les plus larges possibles, qui sont susceptibles d'être régulées en pression. (Voir paragraphe 2.4 chapitre I)

2.2 Étude hydraulique :**2.2.1 Objectifs de l'étude hydraulique**

Les objectifs de l'étude hydraulique sont:

- Finaliser le dessin de l'étage : points d'injection (entrées) et frontières ;
- identifier les abonnés critiques ;
- connaître de façon précise les pressions d'entrée nécessaires à la satisfaction de l'abonné critique ;
- détecter les anomalies de fonctionnement sur le réseau : pertes de charge, coups de bélier, mauvaise communication hydraulique;
- dimensionner les vannes de modulation.

2.2.2 : différentes étapes de l'étude hydraulique :**2.2.2.1 Etape1 : campagne de mesure de débits et de pressions.**

Une campagne de mesure / enregistrement simultanée des pressions et débit en entrée de la zone à moduler et de la pression aux points stratégiques de ce réseau doit être réalisée sur 1 ou 2 semaines, sur la base d'un pas de temps d'enregistrement de 15 minutes. Les vannes de frontière principales de l'étage prévu devront être fermées si possible.

Si pendant la campagne de mesure, des enregistrements peuvent être effectués pendant une période de forte consommation (l'aïd par exemple), cela renseignera aussi sur le comportement du réseau en conditions « extrêmes ».

Les mesures de pression doivent être réalisées aux points importants du réseau principal de l'étage prévu :

- Entrées d'alimentation de la zone de modulation,
- Raccordements importants (interconnexion de canalisations),
- Points susceptibles d'être critiques (points les plus élevés, points les plus distants des entrées),
- Point de pression moyenne.

Les gros consommateurs (>100 000 m³/an), jouent un rôle prépondérant dans les campagnes de mesure, en effet la mise en place d'enregistreurs de pression spécifiques doivent être installés près de leurs branchement afin de détecter des éventuelles perturbations qui pourront créer des coups de bélier.

En résumé ; l'intérêt principal de ces campagnes de mesure est de connaître de façon précise les pressions d'entrée nécessaire a la satisfaction de l'abonné. *[Document technique. Suez environnement. 2010].*

2.2.2.2 Etape2 : identification du point critique.

Le point critique peut être différent selon l'heure de la journée :

- la nuit, c'est le point situé à la côte la plus élevée ;
- en période de pointe, ça peut être le point le plus éloigné des entrées du système ou un point installé dans une zone mal alimentée ou défavorisée.
- Par exemple, une canalisation défavorisée peut être une canalisation de petit diamètre ayant une forte densité de population ou encore sur une extension de réseau de petit diamètre en campagne. *[Document technique. Suez environnement. 2010].*

2.2.2.3 :Etape3 : identification du point moyen

L'identification du point moyen n'est pas indispensable à proprement dit pour la mise en œuvre de la modulation de pression. Toutefois, c'est par son calcul qu'une analyse économique de la modulation de pression peut être réalisée. Il est donc fortement conseillé d'en avoir connaissance.

Le point moyen doit être un point représentatif du réseau où la dénivelée est pondérée par la densité de population (exemple : point de côte moyenne ou de côte plus ou moins haute mais présentant une forte densité de population). *[Document technique. Suez environnement. 2010].*

2.2.2.4 Etape 4 : détection des anomalies éventuelles

Les anomalies de fonctionnement du réseau peuvent être :

- des pertes de charges excessives.
- Des coups de bélier.
- Des mauvaises communications hydrauliques.

2.2.2.5 Etape 5 : dessin de la frontière

Le dessin de cette frontière est le résultat d'un compromis entre les deux impératifs suivants :

- Abaisser significativement la côte du point critique ;
- Ne pas trop réduire l'étendue de la zone à alimenter à pression régulée.

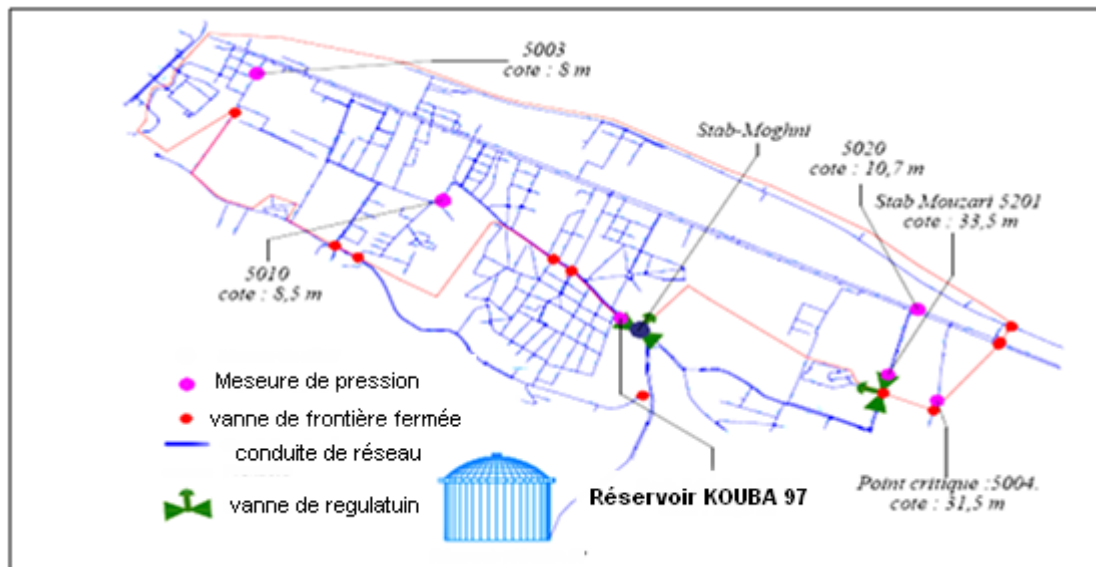


Figure III.14: dessin de la frontière Kouba 97. [Document technique. SEAAL.2010].

2.2.2.6 Etape 6: emplacement et dimensionnement des vannes de modulation

Les vannes de modulation sont généralement installées sur les canalisations de distribution importantes, le plus près possible de leur raccordement aux conduites stratégiques de transport

- Leur dimensionnement doit permettre de respecter les obligations du service au point critique pour la période de pointe des jours de pointe. [Document technique. Suez environnement. 2010].



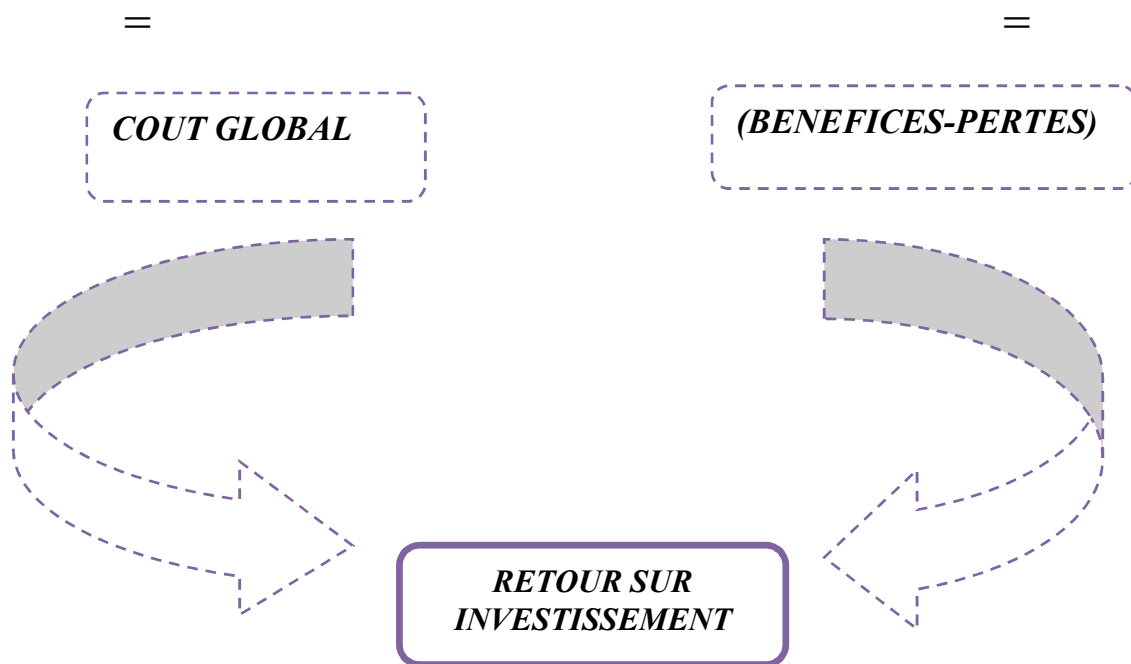
Figure III.15: Vanne de modulation Kouba117. [Document technique. SEAAL.2010].

2.2.2.7 Etape7: estimation des couts et le retour sur investissement

La modulation de pression impactant sur le débit de fuite, le taux de casses et la consommation, le calcul du retour sur investissement doit donc être une synthèse de ces trois effets.

Tableau III.2: retour sur investissement d'un projet de modulation de pression.

<i>Etude</i> +	<i>Diminution du débit de fuite</i> +
<i>Vannes</i> +	<i>Diminution sur la quantité de casse</i> +
<i>Equipements</i> +	
<i>Génie civil</i> +	<i>Impact sur la consommation</i>
<i>Maintenance</i>	



3. CONCLUSION

Une politique efficace de réduction des pertes doit être structurée autour de 3 axes :

1. Mise en place d'une modulation de pression selon la demande
 - pour réduire le débit de toutes les fuites et ralentir l'apparition de nouvelles fuites.
2. Mesures périodiques des débits de nuits par secteur étanche localisé :
 - pour détecter rapidement l'apparition de nouvelles fuites et mesurer les pertes sur le réseau et chez l'abonné.
3. Suivi et Maintenance des appareils de modulation de pression
 - pour réduire et cibler les interventions sur le long terme.

La mise en place d'une modulation de pression ne doit pas s'affranchir d'une politique de renouvellement de branchement et canalisations, ni d'une maintenance de réseau appropriée (vannes de modulation notamment).

Même si la modulation de pression peut donner des résultats très positifs rapidement, le niveau et la fréquence de la maintenance du réseau ne doit pas être diminués. En effet :

1. En cas de diminution de la maintenance :

Pour un système avec réduction de pression : la pression délivrée deviendrait trop faible, ce qui génèrerait des plaintes clients.

pour un système avec modulation de pression selon la demande : les vannes s'ouvriraient peu à peu sans être détectées, la pression délivrée sur le réseau augmenterait, ce qui causerait une augmentation du taux de casses.

2. En cas d'absence de politique de renouvellement :

Les casses auront été différées dans le temps mais progressivement le nombre de casses va augmenter et le gain obtenu sera perdu.

Chapitre : IV
La Modélisation du réseau sur le logiciel Epanet

1. INTRODUCTION

Le modèle hydraulique est un outil très puissant pour l'ingénieur chargé de la gestion du réseau de distribution, en effet, nous pouvons simuler et prévoir des comportements futurs du réseau, mais cela dépend principalement de la représentativité du modèle de la réalité du terrain. Cette représentativité dépend, de ça part, de la finesse ou de la précision de calage du modèle, parce qu'un modèle non calé ou non calibré est purement théorique, donc nous ne pouvons faire confiance aux résultats obtenus par un tel modèle. C'est pour cela que dans ce chapitre, après la détermination du graphique de consommation et l'élaboration du modèle, nous devons procéder à un calage.

2. PRESENTATION DU LOGICIEL EPANET

2.1. Qu'est ce que EPANET

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs.

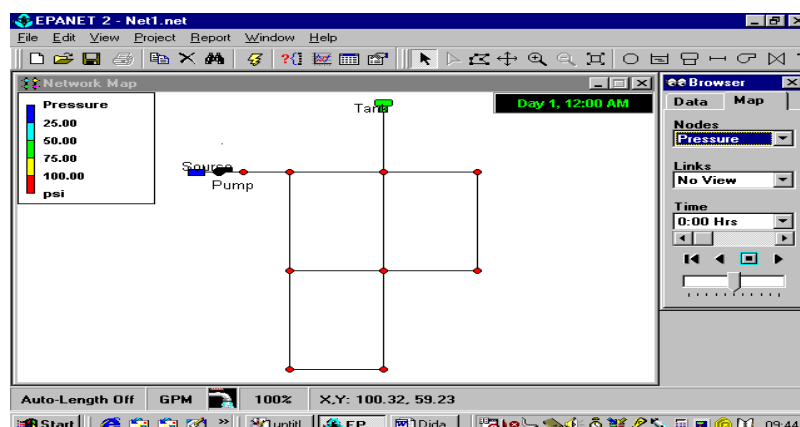


Figure IV.1 : environnement d'EPANET [JOINT.2001]

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.

2.2. Historique

Le logiciel EPANET est né suite à une initiative du Congrès des Etats-Unis qui visait à protéger les ressources naturelles du pays. Dès lors, l'EPA (US Environmental Protection Agency) a été chargée de développer des techniques permettant de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l'eau dans un réseau d'adduction d'eau potable. Depuis 1993, le logiciel est disponible gratuitement pour tous les bureaux d'études qui souhaitent l'utiliser.

Afin d'augmenter la convivialité du logiciel pour les sociétés francophones, la Compagnie Générale des Eaux a financé la version française. Enfin, le logiciel a connu des améliorations depuis sa création. La dernière version date de l'année 2001.

2.3.Potentialités du Logiciel

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, noeuds (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. EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples: définition d'un programme de prélèvement d'échantillons, calage d'un modèle hydraulique, simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance.

EPANET offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau, comme par exemple:

- modifier le régime de pompage ou de marnage des réservoirs,
- utilisation en alternance des différentes ressources du système,
- préciser l'usage des stations de rechloration (ou autres retraitements) en réseau,
- planifier l'entretien et le remplacement de certaines canalisations.

2.4. Principe hydraulique régissant les calculs du logiciel :

2.4.1. Les lois de base du calcul

La loi des nœuds et la loi des mailles constituent la base du calcul hydraulique. La loi des nœuds affirme que le débit entrant dans un nœud est quoiqu'il arrive égal au débit sortant de ce nœud et ce quel que soit le nombre d'entrées et de sorties dans ce nœud. La loi des mailles dites, quant à elle, que la différence de charges DH (égale à la somme de la pression et de la cote au sol au point considéré) entre deux nœuds est égale à la perte de charge entre ces nœuds (figure ci-dessous).

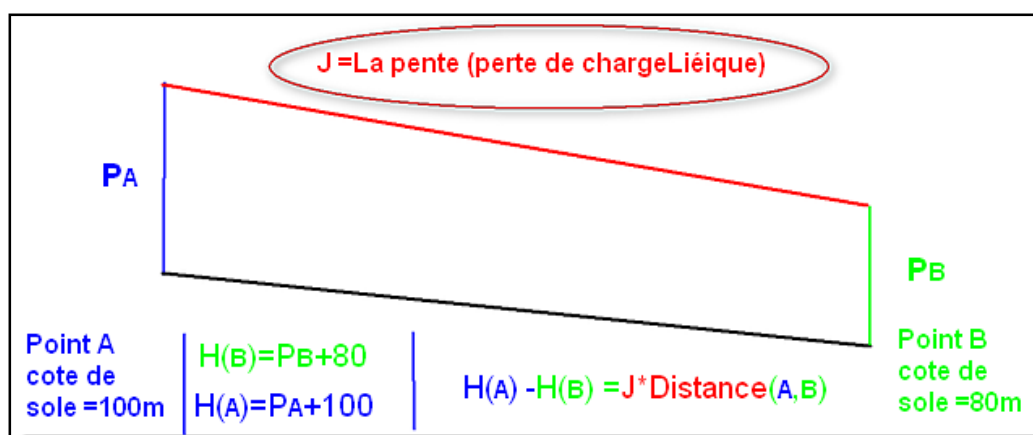


Figure IV.2: schéma illustratif de la loi des mailles dans un réseau d'eau potable

Cependant, pour pouvoir obtenir les charges et débits pour chaque nœud et chaque tronçon, il est nécessaire que certains débits et certaines charges soient préalablement connus. Il s'agit des nœuds à charge fixée (réservoirs, baches) qui imposent la charge de départ et ainsi permet le calcul de la charge à chaque nœud de proche en proche. Il s'agit aussi des nœuds à débit fixé (définition des demandes à chaque nœud) qui permettent de connaître les débits dans les tronçons satisfaisants cette demande. Enfin, l'écoulement se fait du nœud ayant la charge la plus élevée vers le nœud ayant un potentiel de charge moins important. Le calcul des débits et des charges est lié et ne peut se faire indépendamment. Dès lors, il est nécessaire de connaître l'une ou l'autre des données à chaque nœud pour permettre l'aboutissement du calcul.

2.4.2. Le calcul des pertes de charges

➤ Le calcul des pertes de charges Linéaire

Le calcul des pertes de charges linéaires sur le logiciel peut se faire par le biais de trois formules différentes (Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning). La formule de Hazen-Williams est fortement utilisée aux Etats-Unis et présente la particularité de n'être utilisable que pour l'eau et de n'avoir été développée à la base que pour les écoulements turbulents. La formule de Chezy-Manning est plus souvent utilisée pour les canaux à découvert et pour les grands diamètres. Le calcul des pertes de charges linéaires sur le logiciel peut se faire par le biais de trois formules différentes (Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning). La formule de Hazen-Williams est fortement utilisée aux Etats-Unis et présente la particularité de n'être utilisable que pour l'eau et de n'avoir été développée à la base que pour les écoulements turbulents. La formule de Chezy-Manning est plus souvent utilisée pour les canaux à découvert et pour les grands diamètres.

Nous avons choisi d'utiliser la formule de Darcy Weisbach qui traite les écoulements de tout type et pour tout liquide. Les trois formules utilisent l'équation

suivante pour calculer les pertes de charge dans chaque tronçon. :

$$H = \xi * V^2 / 2 g$$

Avec,

h : la perte de charge en unités de longueur,

A : le coefficient de résistance,

q : le débit et **B** : l'exposant du débit.

Les coefficients **A** et **B** varient suivant les formules. Pour la formule de Darcy Weisbach, nous avons :

$$h = A.q^B$$

Avec,

L : longueurs en m du tronçon, **d** diamètre du tuyau en m,

q ; débit en m³/s, **ε** : coefficient de rugosité de la conduite en m.

La rugosité correspond à la hauteur des aspérités à la surface de la paroi intérieure d'une canalisation. Plus cette rugosité est importante, plus la perte de charge croît. La rugosité, représentative de l'état intérieur d'une conduite, croît selon la nature de la canalisation (fonte plus rugueuse que le PVC) et avec l'âge de la canalisation.

➤ Le calcul des pertes de charges singulières

Les pertes de charges singulières représentent la présence ponctuelle d'un obstacle à l'écoulement (vanne partiellement ou totalement ouverte, coude, té ou obstacle non identifié). La formule utilisée est la suivante :

$$A = 0,0827.f. (\epsilon, d, q).d^{-5}.L$$

Avec,

V : vitesse de l'écoulement en m/s,

ξ : coefficient de perte de charges singulières,

g : l'accélération de la pesanteur en m.s⁻².

Le coefficient **ξ** définit la nature de l'obstacle. A titre d'exemple, on affecte un coefficient de perte de charge singulière de 10 pour une vanne à boule entièrement ouverte et 2,5 pour un clapet anti-retour.

2.4.3. Spécificités du logiciel

Le logiciel possède les mêmes fonctionnalités et possibilités que les autres logiciels de modélisation des réseaux d'eau potable tels que Porteau ou Piccolo. Il présente une

convivialité au niveau de son interface qui permet de le rendre assez facilement accessible. Cependant, une formation était nécessaire pour ne pas tomber dans le piège représenté par cette facilité de manipulation des éléments d'Epanet.

On peut également travailler sur un réseau saisi sur Epanet avec le logiciel Piccolo grâce à une passerelle permettant le transfert des fichiers (comme nous avons fait dans notre étude). En termes de calcul, Epanet présente quelques particularités. Par exemple, sur le logiciel Piccolo, il est possible de demander au logiciel de revoir une demande à la baisse tandis que sur Epanet, une demande est toujours desservie à 100%. Dès lors, lorsqu'on obtient des pressions négatives sur un noeud, ceci signifie que la demande n'est pas satisfaite.

2.5. Capacités pour la Modélisation Hydraulique

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace (nous ne 'avons pas utilisé le modèle de qualité dans notre étude). 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 noeuds, chacune avec une caractéristique propre.
- Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).
- Le fonctionnement de station de pompage peut être piloté par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir) ou des commandes élaborées plus complexes.

2.6. Capacités pour la Modélisation de la qualité de l'Eau

En plus des simulations hydrauliques, EPANET peut modéliser la qualité de l'eau; on dispose ainsi des capacités suivantes :

- Modélisation du déplacement d'un traceur pendant la durée de la simulation.

- Modélisation des déplacements et les variations de concentration en plus ou en moins que subit une substance (par exemple un produit secondaire de désinfection, ou du chlore résiduel).
- Modélisation du temps de séjour de l'eau dans le réseau.
- Indication à chaque noeud de la proportion d'eau provenant d'une ressource distincte.
- Modélisation des réactions d'évolution de la qualité de l'eau dans la masse et aux parois. - Utilisation des cinétiques d'ordre n pour calculer les réactions dans la masse d'eau.
- Utilisation des cinétiques d'ordre un ou zéro pour calculer les réactions aux parois des tuyaux.
- Limitations de transfert de masse pour modéliser les réactions aux parois.
- Fixation d'une concentration limite des réactions.
- Utilisation des coefficients de vitesse de réaction globale et des coefficients spécifiques pour certains tuyaux.
- Etablissement d'une corrélation entre les coefficients de vitesse de réaction au niveau de la paroi en fonction de la rugosité du tuyau.
- Introduction d'une substance quelconque à différents emplacements du réseau variant dans le temps en débit massique ou en concentration.
- Mélange d'eau dans les réservoirs : mélange parfait, à flux piston ou en deux compartiments.

En utilisant ces capacités, Epanet peut modéliser des phénomènes en rapport avec la qualité de l'eau comme:

- le mélange d'eau provenant de différentes sources;
- Le temps de séjour de l'eau dans le réseau;
- Diminution du chlore résiduel;
- L'accroissement des sous-produits de la désinfection;
- la diffusion d'un polluant dans le réseau, introduit en certains points.

3. CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE DE L'ETAGE DE BOLOGHINE :

3.1. Fonctionnement du réseau de Bologhine

Avant de modéliser un réseau, il est essentiel de collecter les informations auprès des agents d'exploitation, de se rendre sur le terrain afin de découvrir les particularités du réseau et les organes hydrauliques. Ceci permet de bien cerner les problèmes qui pourront se poser lors de la modélisation ou du diagnostic. Cette étape de découverte du réseau permet également de vérifier qu'il y a bien une correspondance parfaite entre les plans et le fonctionnement réel du réseau. Certaines erreurs ont ainsi pu être

relevées. Par exemple, certains travaux réalisés récemment sur le réseau de Bologhine ne sont pas encore reportés sur les plans, et qui doivent être pris en compte dans la modélisation.

3.2. Saisie du réseau

L'idée d'élaborer un nouveau modèle du réseau de Bologhine sous EPANET constitue une phase très délicate car on était obligé de passer par l'étape de la saisie de toutes les données nécessaires à la modélisation comme ; les longueurs, les diamètres et les rugosités des conduites mais aussi les cotes et les consommations aux nœuds...etc. d'un nombre très important de nœuds et d'arcs, chose qui pouvait se faire mais qui allait prendre beaucoup de temps pour la réalisation.

Nous avons donc pensé essayer de construire ce modèle par une autre méthode plus rapide et efficace qui était d'extraire la base de données de Bologhine d'un logiciel nommé *PICCOLO* vers le logiciel *EPANET*.

En effet *PICCOLO* contient le modèle de tout le réseau d'Alger et surtout il a la possibilité d'avoir un fichier d'entrée sous format texte, avec séparateurs espaces ; ce format peut être obtenu par enregistrement à partir d'un fichier Excel.

PICCOLO a été élaboré par un bureau d'étude nommé *SOGREAH*, ce bureau d'étude travaille en sous-traitance avec la SEAAL.

La figure ci-dessous illustre le modèle élaboré par *SOGREAH* sous le logiciel *PICCOLO* :

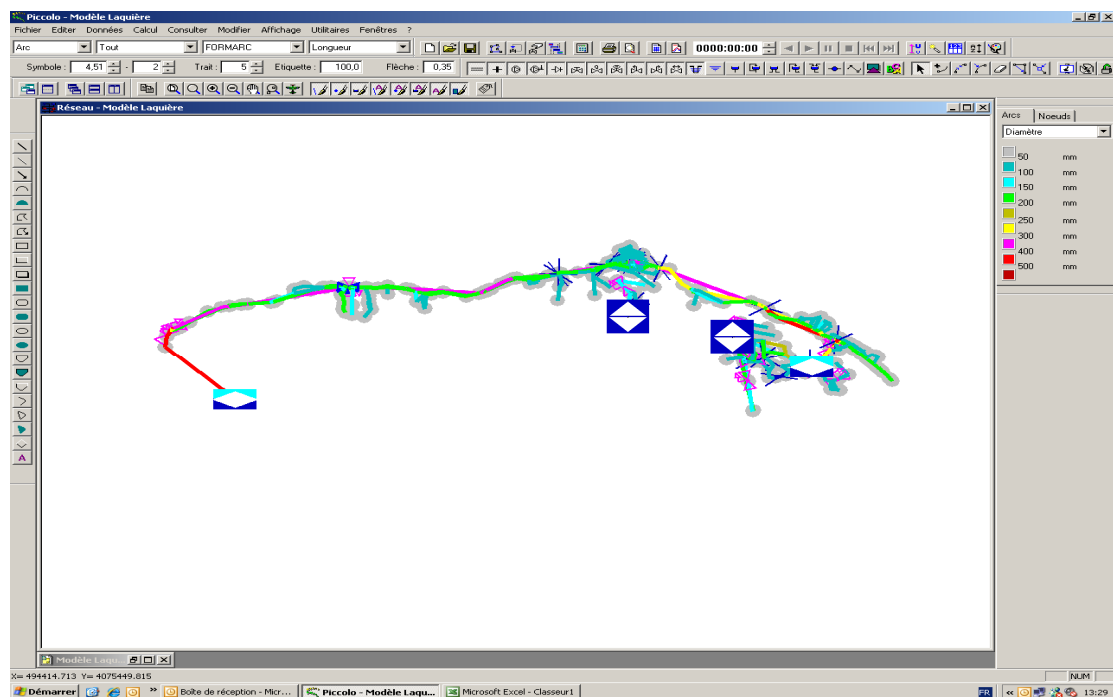


Figure IV.3: modèle du réseau Bolghine élaboré par *SOGREAH* sous *PICCOLO*.
[Document technique. SEAAL.2011].

Pour pouvoir extraire la base de donnée du réseau Bolghine de *PICCOLO* vers *EPANET* il est nécessaire de passer par quelques étapes :

- Création d'un fichier d'entrée à partir d'*EPANET*.
- Ouvrir ce fichier d'entrée sous *EXCEL*.
- Elaboration du programme, d'après la base de données de *PICCOLO*.
- Importation de ce fichier d'entrée.

Nous obtenons ainsi le modèle numérique de l'étage de Bolghine (figure). Ce modèle est composé de plus de 570 noeuds et 620 tronçons avec une longueur totale de canalisation supérieure à 70,9 km.

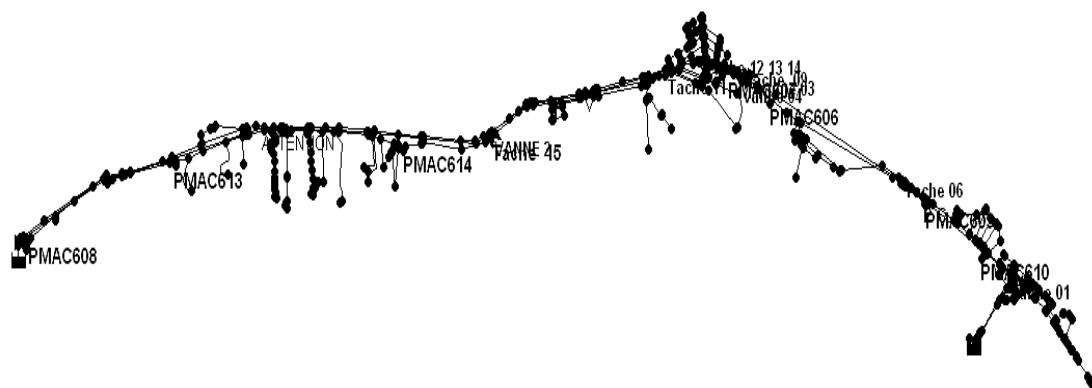


Figure IV.4: modèle obtenue de l'étage Bolghine sous *EPANET*.

Le réseau de Bologhine qui a été fait sur le modèle Piccolo n'est pas à jour. Nous avons du rajouter les tronçons inexistantes sur notre modèle Epanet à l'aide du SIG(ArcGis)et les éléments de la direction de distribution (SEAL) de la ville d'Alger.

Pour faire le calage du modèle, nous avons travaillé seulement sur l'étage de Bologhine, car les mesures (les pressions dans le réseau, marnage et débit de sortie du réservoir) ont été faites que sur cet étage, et c'est pour ce la nous proposons d'installer et de localiser des enregistreurs des pressions (*type Metrolog*).dans différents points du réseau et d'enregistreur de débit a la sortie du réservoir de Bologhine.



Enregistreur de pression (type Metrolog).



Figure IV.6: Débitmètre

Figure IV.5: Enregistreur De Pression

3.3. demande aux nœuds

Une donnée très importante qu'on doit assigner à un nœud est la demande à ce nœud ou bien le débit sortant de ce nœud. En effet c'est une donnée qui influe fortement dans le calcul hydraulique du réseau.

La difficulté réside dans le fait que d'une part, il faut identifier et situer les abonnés géographiquement dans la commune puis leurs attribuer une consommation et d'autre part, il s'agit de les répartir de façon adéquate au niveau de ces nœuds.

Pour répartir les consommations aux nœuds, plusieurs logiques, ou méthodes, peuvent être utilisées, tous dépend du niveau d'information et de données disponibles sur le réseau.

Nous pouvons procéder à un repérage globale (pour les consommateurs domestiques) mais relativement précis ou ponctuel (pour les consommateurs industriels) des abonnés sur le réseau. Pour cela, il faut disposer de divers plans de la commune en question ainsi qu'un listing client spécifiant à la fois la position de l'abonné ainsi que sa consommation annuelle en eau. Dès lors, il s'agit de regrouper les abonnés autour des nœuds et d'inscrire une demande à ces nœuds égale à la moyenne des consommations.

Ce procédé est relativement fastidieux mais nécessaire en vue de l'obtention d'une bonne précision pour le modèle. Les abonnés sont généralement répartis le long des tronçons. Or, il n'existe pas de caractéristique de ces tronçons qui permette de tenir

compte de ces abonnés. Il faut donc les répartir judicieusement sur les deux nœuds constituant les extrémités du tronçon.

La théorie du service en route adaptée dans ces situations est résumée à travers le schéma de la figure suivante :

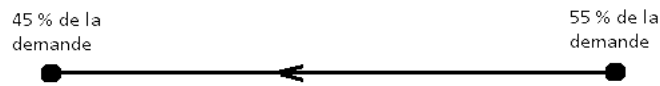


Figure IV.7: principe de la théorie du service en route.

Cette approche n'est valable que si les deux conditions, répartition uniforme des abonnés et sens unique d'écoulement, sont remplies. Si non, nous pouvons simplifier la répartition en raisonnant par rapport au nombre d'habitations situées à proximité des nœuds comme l'indique le schéma de la figure suivante :

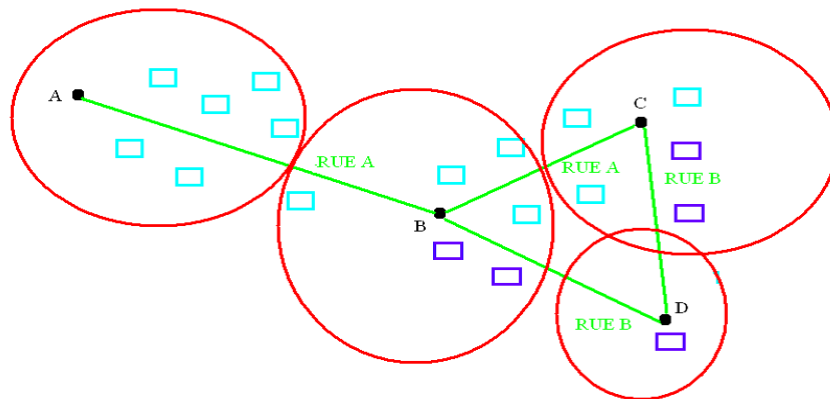


Figure IV.8: Répartition de la consommation des abonnés sur les différents nœuds.

Cette répartition est en fait en choix dans *PICCOLO*, soit par nœud, soit par arcs ; celle choisie par *SOGREAH* est une répartition par arcs. L'ensemble des communes d'Alger sont divisées en districts, chaque district lui est attribuée une ou les différentes catégories de consommations.

4. VARIATION JOURNALIERE DE LA CONSOMMATION :

Le logiciel *EPANET* nous permet de simuler le comportement du réseau sur une journée entière et qui variera selon les variations de consommation de la population.

Dès lors, il est nécessaire de différencier les consommateurs qui ont un comportement différent.

4.1. Les catégories de consommation

Quatre catégories de consommation ont été introduites au modèle *Piccolo* par le bureau d'étude *SOGREAH* :

- consommation domestique (DOM) ;
- consommation administrative (ADM);
- consommation commerciale (COM);
- consommation industrielle (gros consommateurs GC).

Les deux catégories, consommation administrative et commerciale, sont englobées dans une seule catégorie appelée : consommations diffuses (DIF).

Pour déterminer le graphique de consommation il est nécessaire de mesurer le débit total à la sortie du réservoir de Bologhine (débit de production) sur 24 h. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau IV.1: débit total de production journalier (moyenne de plusieurs jours)

Heure	Débit Moyenne mesuré (m ³ /h)	Coef mesuré	pourcentage (%)
00:00	276,1	0,61	2,56
01:00	255,2	0,57	2,36
02:00	246,5	0,55	2,28
03:00	245,4	0,54	2,27
04:00	250,9	0,56	2,32
05:00	277,2	0,62	2,56
06:00	292,8	0,65	2,71
07:00	356,4	0,79	3,30
08:00	476,8	1,06	4,41
09:00	620,7	1,38	5,74
10:00	739,0	1,64	6,84
11:00	744,8	1,65	6,89
12:00	733,3	1,63	6,79
13:00	653,9	1,45	6,05
14:00	533,0	1,18	4,93
15:00	480,9	1,07	4,45
16:00	491,8	1,09	4,55
17:00	486,9	1,08	4,51
18:00	495,4	1,10	4,58
19:00	507,8	1,13	4,70
20:00	486,9	1,08	4,51
21:00	445,8	0,99	4,13
22:00	387,0	0,86	3,58
23:00	321,4	0,71	2,97
	450,25	24	100

D'après le tableau ci-dessus on peut tracer la courbe de débit de production journalier moyenne

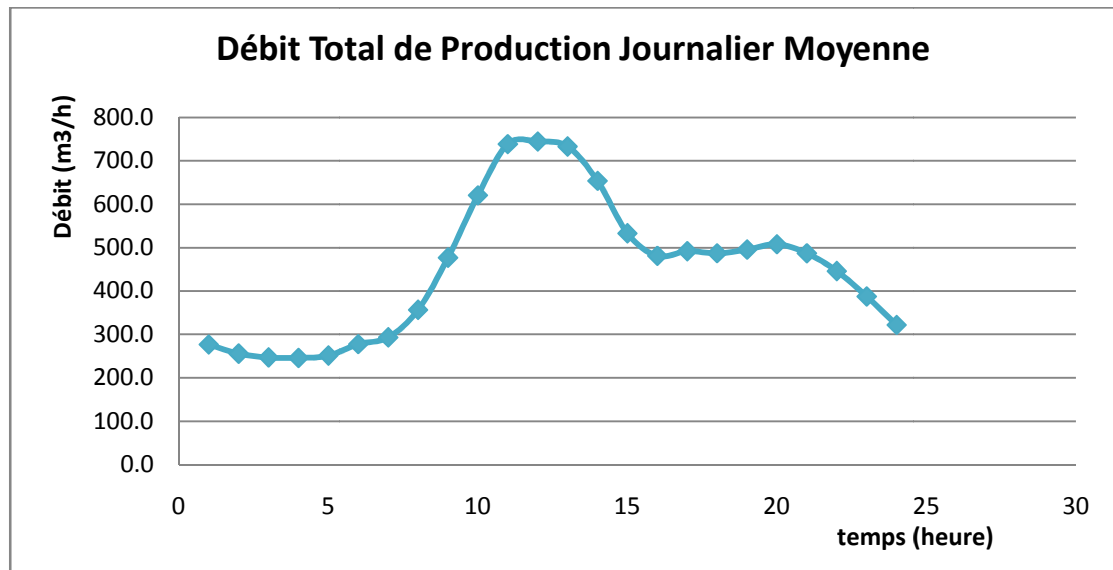


Figure IV.8 : courbe de Débit Total de Production Journalier Moyenne

A partir des résultats du tableau (IV.1) nous obtenons le graphique de consommation le suivante :

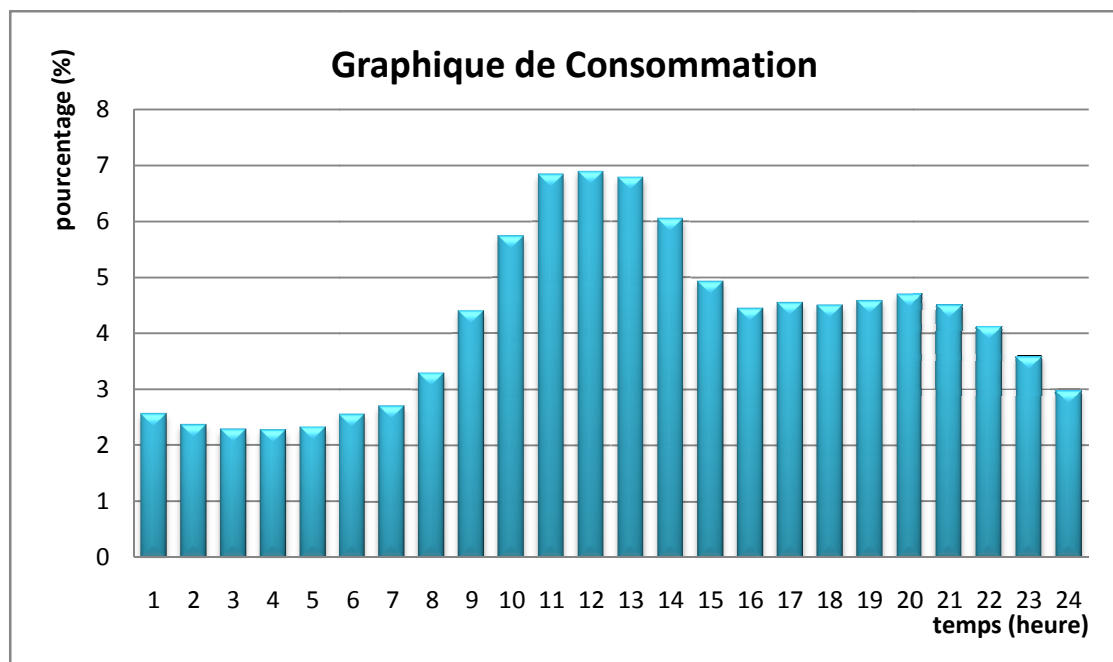


Figure IV.9 : courbe de graphique de consommation

La consommation domestique est évaluée à partir des dotations individuelles, fonction de la typo morphologie de l'habitat.

Pour vérifier la satisfaction des besoins en eau aux consommateurs il est nécessaire de calculer le bilan besoin-ressource

Le débit de production journalier total (calculer pour la moyenne de plusieurs jours) il est d'environ de : 10805,9 m³/jour

Le nombre d'habitants il est d'environ : 62668 habitant

Alors pour calculer la dotation réelle il faut diviser le débit de production total sur le nombre d'habitant

$$10805,9 / 62668 = 0,173 \text{ m}^3/\text{j}/\text{ha} = 173 \text{ l}/\text{j}/\text{hab}.$$

La dotation 150 l/j/hab. d'après la SEAAL.

Donc la dotation réel est: $173 \text{ l}/\text{j}/\text{hab} \geq 150 \text{ l}/\text{j}/\text{hab}$.

4.2. Courbe de modulation

Les courbes de modulation sont les outils qui permettent au logiciel Epanet de calculer les variations journalières de pression et de débit sur l'ensemble du réseau. Associées à chaque catégorie de consommateurs, elles représentent l'évolution de la consommation de la catégorie considérée sur une journée.

Elles se présentent sous la forme de courbes possédant une valeur différente à chaque pas de temps choisi (une heure en générale). Le produit de ces valeurs saisies ou coefficients avec la valeur moyenne de consommation au nœud considéré nous renseigne sur la consommation à cette heure pour ce nœud.

Les figures (Figure IV.10) (Figure IV.11) représentent respectivement les courbes affectées aux catégories grands consommateurs, consommateurs diffuse et domestique.

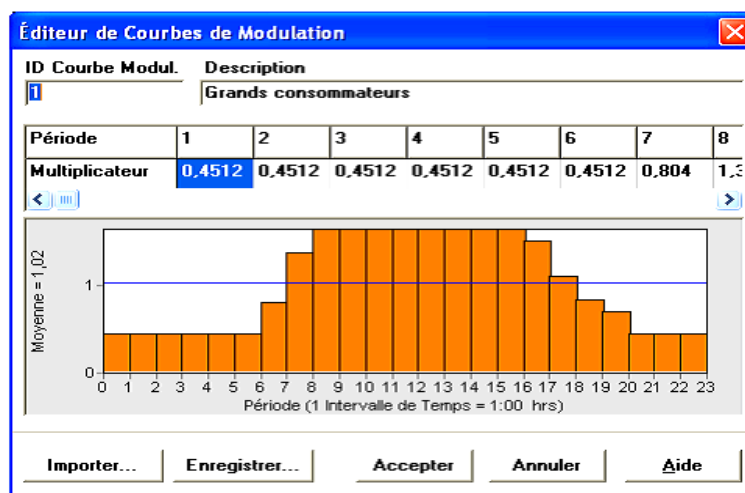


Figure IV.10: profil Gros Consommateur GC et Diffuse DIF.

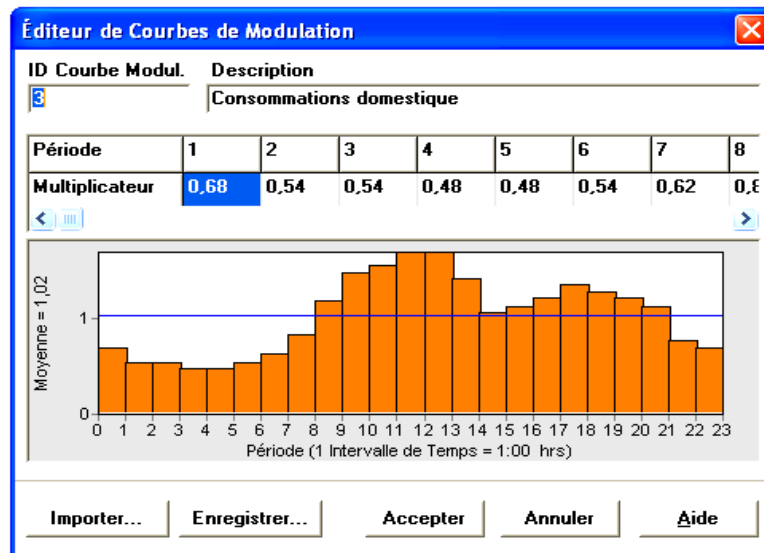


Figure IV.11: profil Domestique DOM.

5. CALAGE DU MODELE

Il existe plusieurs solutions pour caler un modèle, en premier lieu, il s'agit de caler le modèle en débit car ce dernier constitue une condition aux limites pour le modèle.

Et par la suite nous interviendrons sur d'autres paramètres comme la rugosité de la conduite par exemple car ce dernier influe beaucoup sur le débit et la pression.

5.1. Principe du calage

Le calage du modèle est l'étape qui permet de rapprocher le modèle le plus possible de la réalité du terrain. En effet, les premières données citées aux paragraphes précédents décrivent l'architecture du réseau mais ne permettent pas de nous renseigner sur l'état du réseau (vieillesse des conduites, contraintes subies) ainsi que sur les éventuelles erreurs et éléments manquants des plans fournis au début de l'étude. Dès lors, plusieurs mesures sur le terrain sont nécessaires pour confronter ce modèle avec la réalité et le réajuster. Cette étape de calage fait donc office de diagnostic du réseau dans le sens où elle permet de connaître l'état des conduites et de repérer les différents dysfonctionnements.

5.2. Paramètres de calage

Le calage du modèle s'effectue sur deux paramètres :

Les consommations aux nœuds et les rugosités des conduites. Dans un premier temps, il est nécessaire d'ajuster les débits avec les débits connus. Dans un second temps, il s'agit de jouer sur les rugosités des conduites pour s'approcher le plus possible de l'état intérieur de la conduite. En effet, la rugosité mesure les aspérités présentes dans les conduites. Dans notre cas, cette dernière a été fixée à 1 mm. Ceci semble cohérent dans le sens où il est impossible de caler un réseau très précisément sur tous les tronçons mais qu'il se rapprochera plus de la réalité s'il est calé dans sa globalité. La campagne de mesure sur le réseau a pour objectif de définir le volume, débits et pressions dans le temps de façon à caler le modèle numérique destiné à représenter fidèlement le comportement du réseau. A partir des plans du réseau, nous avons réalisé un découpage la zone d'étude en secteurs de distribution les plus homogènes possible. Sur chacun de ces secteurs, un enregistrement en continu et simultané des débits, niveaux du réservoir et pressions (sept points de mesures, figure IV.12) est effectué.

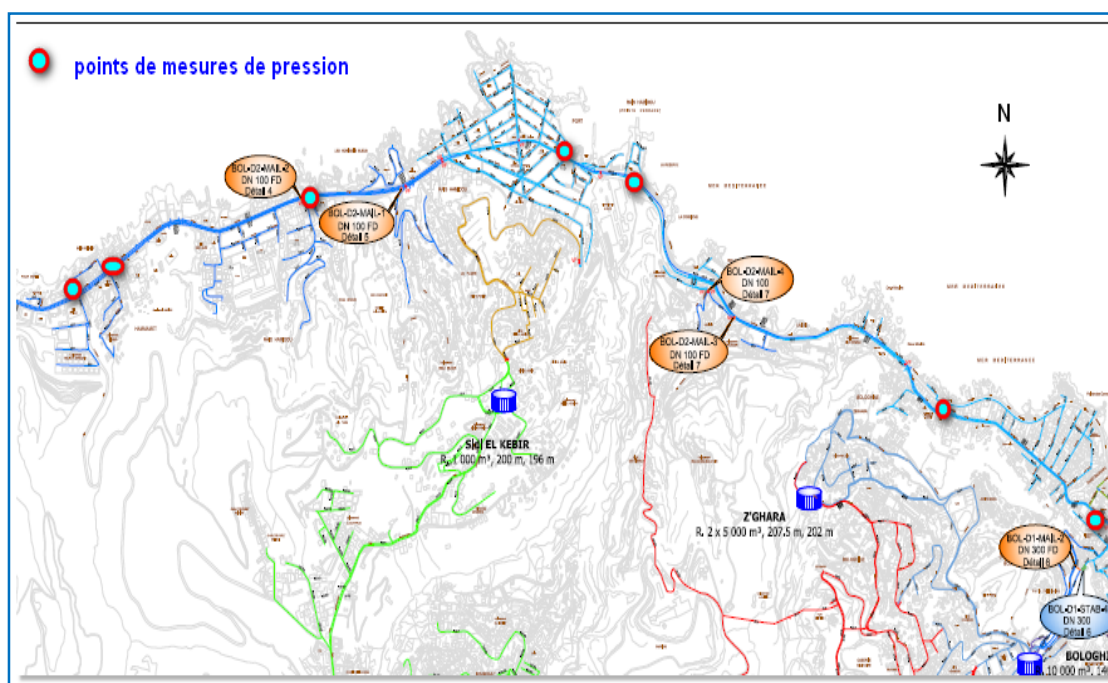


Figure IV.12: Positionnement des points de mesure de pression).

Le pas de temps choisi est de 15 minutes pour le marnage de réservoir ainsi que pour le débit de sortie, et 5 minutes pour la mesure de pression. C'est un pas de temps suffisamment fin pour la comparaison des courbes de consommations qui sont représentées heures par heures et permettent d'avoir une taille des données acceptables. La campagne de mesure s'est déroulée sur un mois (du 25 mars 2011 au 12 avril 2011). Ces données permettent de réaliser la courbe de modulation de la consommation et le calage du modèle numérique.

Le tableau qui résume les données de pression des enregistreurs positionnés à différentes stations se trouve dans l'annexe (3)

Le modèle a été calé par rapport à la journée du 25 Mars 2011 (donnée de mesure de débit voir annexe 3).

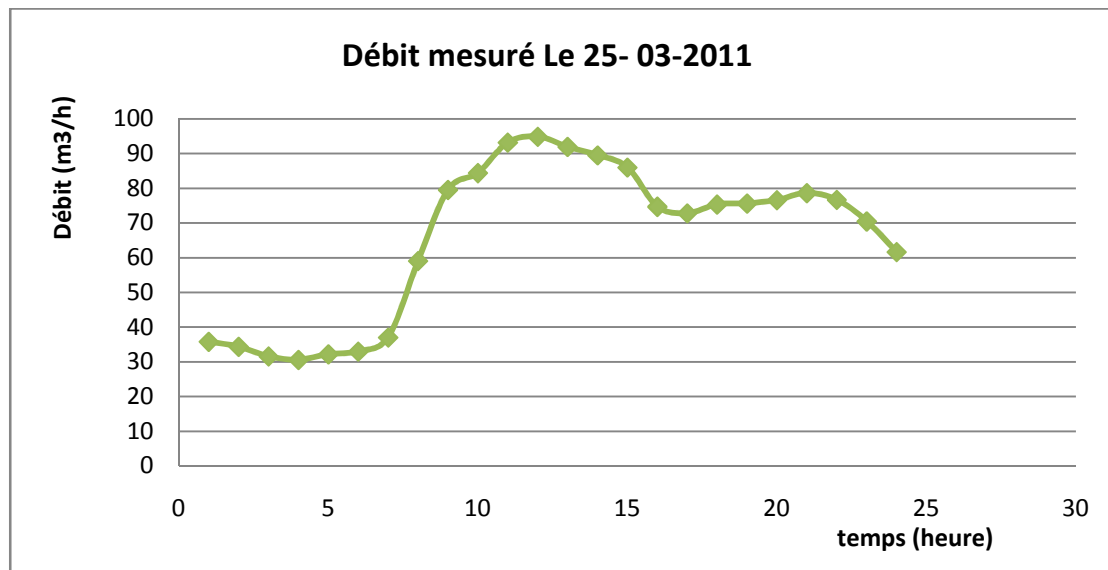


Figure IV.13: Débit mesuré Le 25-03-2011 à la sortie du réservoir de Bologhine.

Le calage peut faire apparaître un certain nombre de différences entre les valeurs simulées et mesurées. Dans un premier temps, la fiabilité des mesures est à vérifier et les points aberrants sont à éliminer. L'ensemble des caractéristiques du réseau : mesures topographiques, répartitions des consommations, état des vannes sur le réseau sont à examiner. Une fois ces informations vérifiées, le calage du réseau est affiné en agissant sur la rugosité des conduites. Les critères de calages sont de 10 % pour les débits et les niveaux d'eau et de 5 mètre de colonne d'eau pour les pressions.

Nous avons intégré dans notre modèle comme paramètre de calage les pressions horaires moyennes pour rapprocher à la réalité du réseau. Le pas du temps des *Logger* de pressions (enregistreur de pression) était fixé à cinq (05) minutes.

La figure (IV.14) ci-dessous représente le débit mis en distribution simulé par le modèle et observé sur le terrain.

La courbe turquoise représente l'évolution du débit calculé par *EPANET* et les points en vert représente les résultats de débit moyen mesuré à la sortie du réservoir Bologhine et ceux le 25/03/2011.

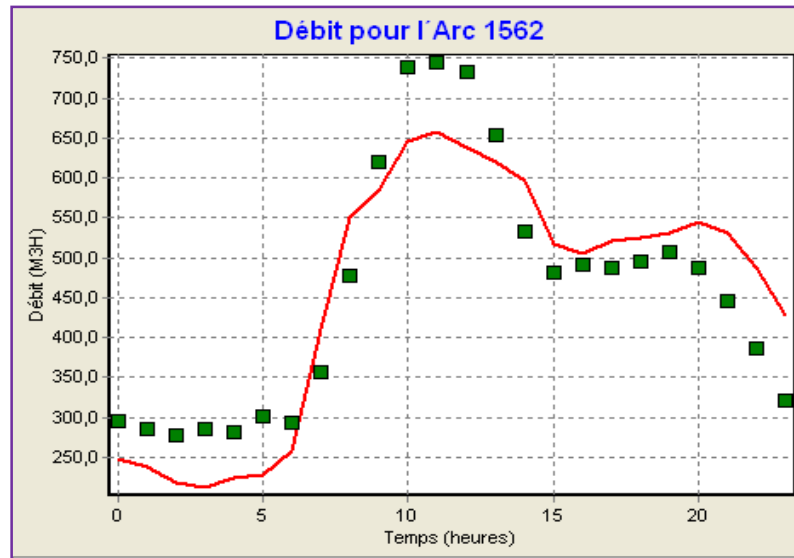


Figure IV.14: Comparaison des débits mis en réseau calculés et mesurés

Le diagramme de corrélation du débit avant le calage est comme suite :

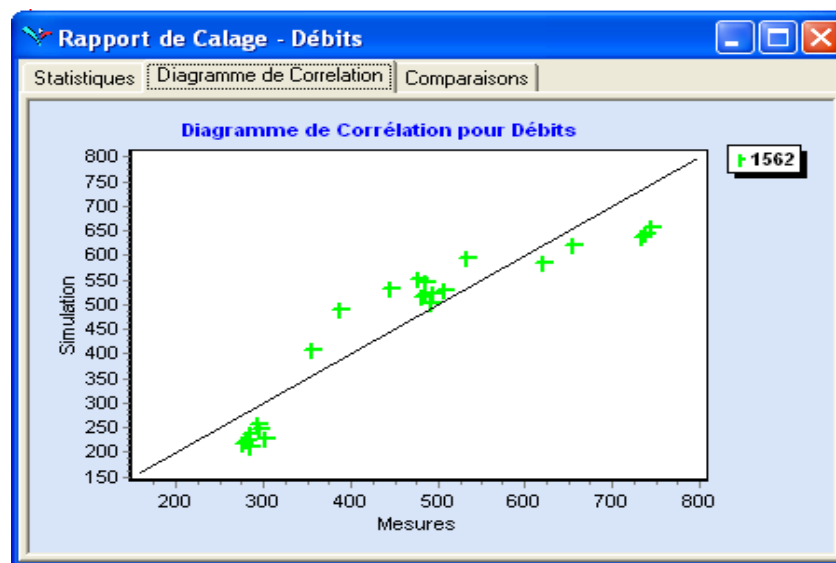


Figure IV.15: Diagramme de corrélation du débit avant le calage

(Corrélation entre Valeurs Moyennes: 0,599)

5.3. calage et validation du débit

Dans le but de modifier le débit, on doit d'une part jouer sur les profils de consommation (courbes de modulation) et d'autre part sur la consommation aux nœuds (demande aux nœuds), car il se pourrait que le problème soit par rapport à la distribution des volumes dans la journée mais au aussi par rapport aux demandes aux nœuds qui sont peut-être sous-estimer.

5.3.1. modification du profil de consommation

Il est très difficile de pouvoir caler le modèle en faisant des modifications sur les trois types de consommations (DOM, DIF et GC) en même temps, nous avons donc utilisés un seul profil représentant les trois types de consommations.

A l'aide du logiciel EXEL nous avons essayé de rapprocher au mieux que possible le débit simulé à celui mesuré en modifiant ce profil de consommation tout en gardant la moyenne de ces coefficients (multiplicateurs dans *EPANET*) égale a l'unité soit d'une durée de 24h.

Le graphe ci-dessous superpose le profil original et modifié :

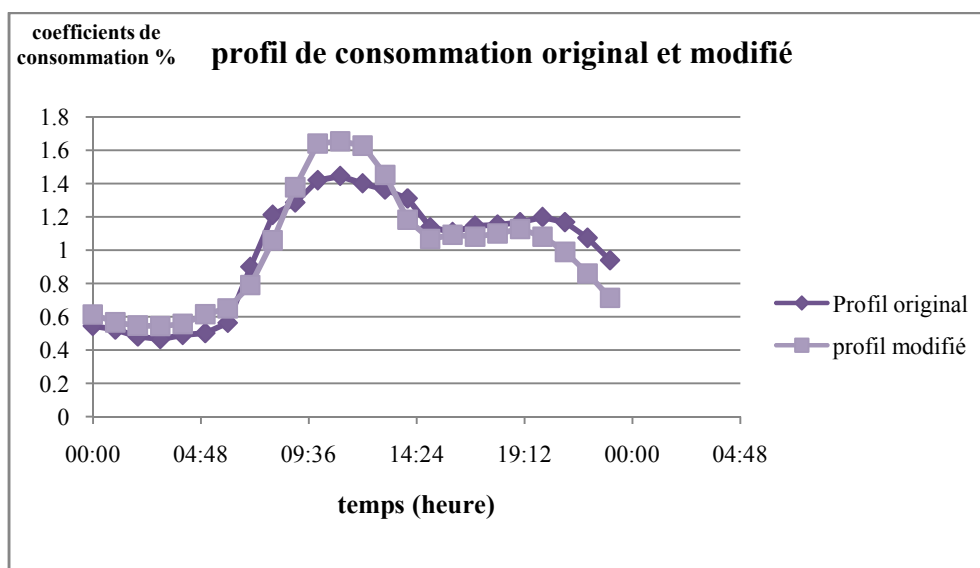


Figure IV.16: profil de consommation ; original et modifié.

Le tableau suivant illustre les nouveaux coefficients de consommation domestique (multiplicateurs) :

heure	Profil de consommation modifié %	heure	Profil de Consommation modifié %
00:00	0,62	12:00	1,63
01:00	0,57	13:00	1,45
02:00	0,55	14:00	1,18
03:00	0,54	15:00	1,07
04:00	0,56	16:00	1,09
05:00	0,61	17:00	1,08
06:00	0,65	18:00	1,10
07:00	0,79	19:00	1,13
08:00	0,10	20:00	1,08
09:00	0,14	21:00	0,99
10:00	0,16	22:00	0,86
11:00	0,16	23:00	0,7
somme	24	moyenne	1

Tableau IV.3: profil de consommation domestique modifié.

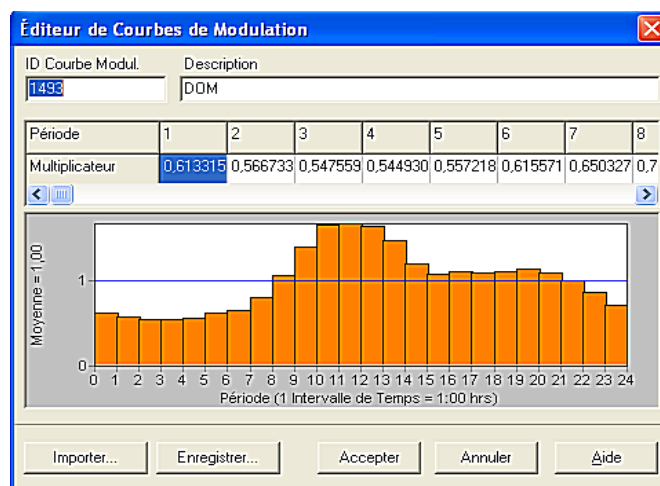


Figure IV.17: Profil de la consommation globale

5.3.2. modification des demandes aux nœuds

Le débit sortant de la conduite de distribution principale alimentant le réseau n'est jamais égal au débit qui arrive aux abonnés, car il existe toujours des pertes physiques et commerciales dans le réseau.

Nous pouvons introduire un facteur en l'occurrence le rendement du réseau, qui a été estimé à 60 %. Dans notre modèle, Nous obtenons par la suite une seule courbe de modulation qui caractérise la consommation globale de différente catégorie de demande nous prenons en considération les pertes.

La modification de la demande de base à chaque nœud (débit sortant à chaque nœud) a été effectuée de la manière suivante :

- Nous avons dans un premier cas et à partir d'un fichier EXCEL créé un pourcentage de demande pour chaque nœud via la demande de base initialement injecté dans EPANET.
- Nous avons par la suite multiplié ce pourcentage de demande au débit moyen mesuré afin d'obtenir les nouvelles demandes aux nœuds.

Après injection de la nouvelle courbe de modulation et des nouvelles demandes aux nœuds dans notre modèle nous avons obtenus les résultats suivant :

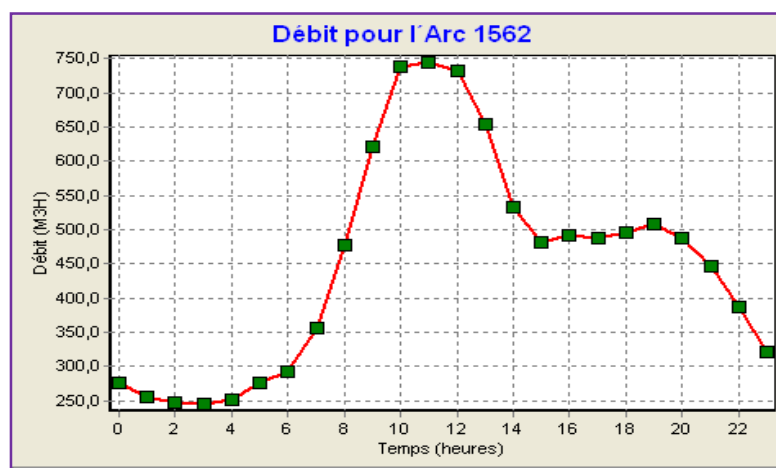


Figure IV.17: Comparaison des débits, avec les nouvelles consommations aux nœuds

Nous remarquons à l'issue de ce graphe que le débit simulé est identique à celui observé donc nous pouvons dire que notre modèle est calé en débit.

Le rapport de calage donné par EPANET est illustré ci-dessous :

Tableau IV.4: statistique de calage pour le débit après calage.

<i>Bologhine</i>					
<i>Statistique de calage pour le débit</i>					
<i>Point de mesure</i>	<i>Nombre obs.</i>	<i>Moyen obs.</i>	<i>Moyen Sim</i>	<i>Erreur moy</i>	<i>Dev stand</i>
<i>Sortie Bologhine</i>	24	1069.29	1069.29	0.000	0.000
<i>réseau</i>	24	1069.29	1069.29	0.000	0.000
<i>Corrélation entre valeurs moyenne : 1.000</i>					

Donc le diagramme de corrélation du débit après le calage est comme le suivant

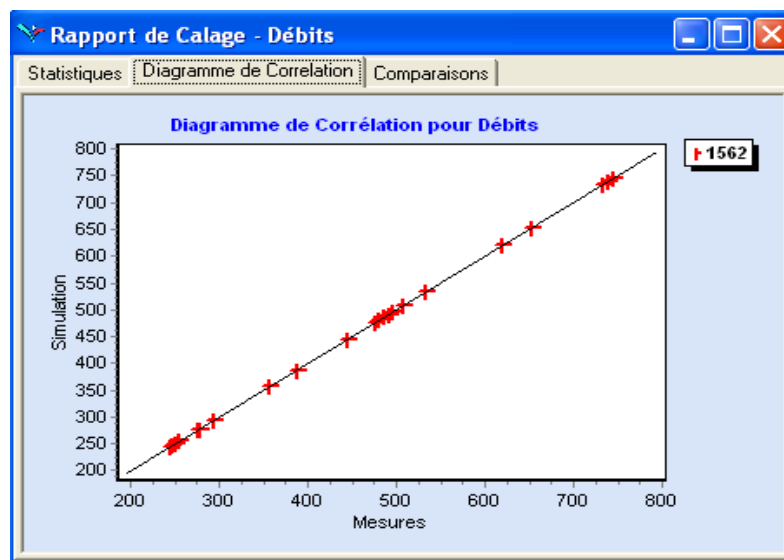


Figure IV.18: diagramme de corrélation pour le débit après calage.
(Corrélation entre Valeurs Moyennes: 1)

Nous avons donc calé notre modèle en débit, chose qui représentait une condition aux limites pour le modèle, nous procédons donc au calage du modèle en pressions.

5.4. calage et validation des pressions

Afin d'affiner le calage en pressions nous avons décidé d'apporter quelques modifications à notre modèle comme le changement de la rugosité.

Au début de l'élaboration du modèle nous avons attribué une rugosité arbitraire de 0.1mm juste pour faire tourner le modèle mais à ce stade de l'étude il est nécessaire d'affiner les résultats et prendre en considération l'état du réseau d'Alger qui est très vétuste.

Il aurait été plus intéressant de prendre un échantillon de différents types et de diamètres des conduites de l'étage Bologhine pour une représentation très affinée,

néanmoins nous avons décidé d'augmenté cette rugosité et la prendre égala a 1mm, ce qui très logique vu l'état du réseau d'Alger.

Les résultats obtenus avant et après le calage sont les suivants :

1) Les résultats obtenus avant le calage sont les figures A, B, C, D, E et F

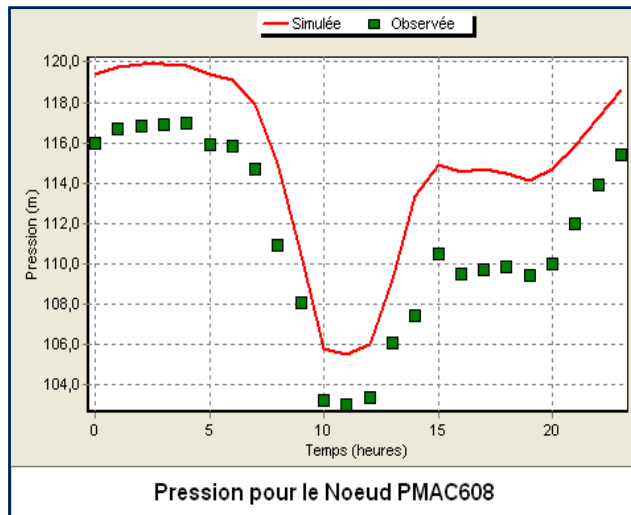


Figure : A

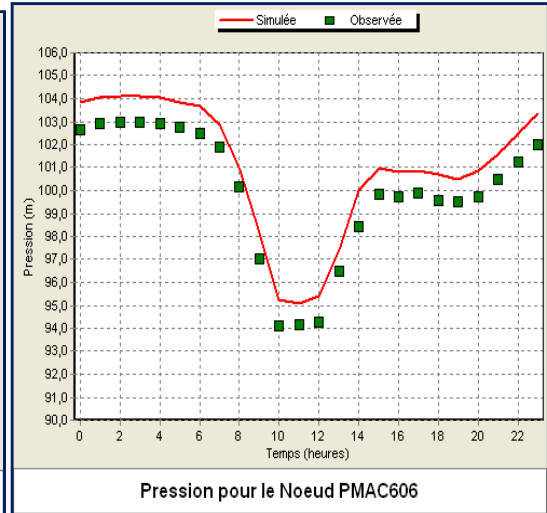


Figure : B

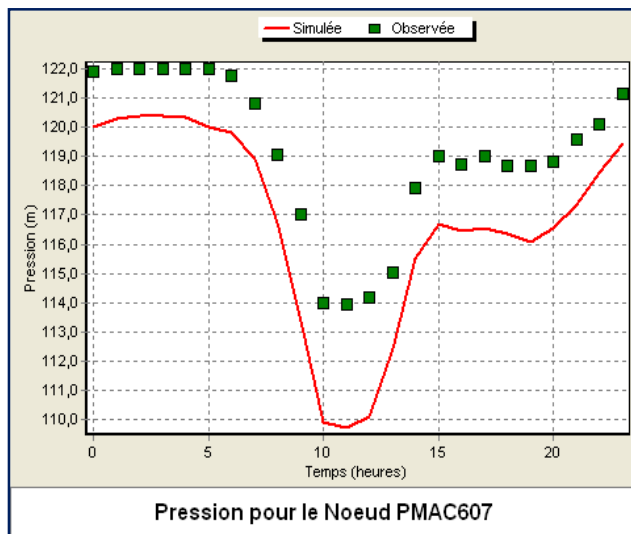


Figure : C

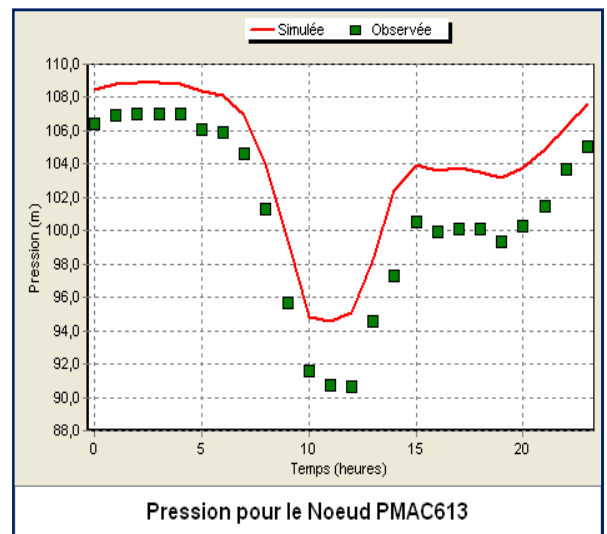


Figure : D

Figure IV.19 : résultats obtenus avant le calage de pression.

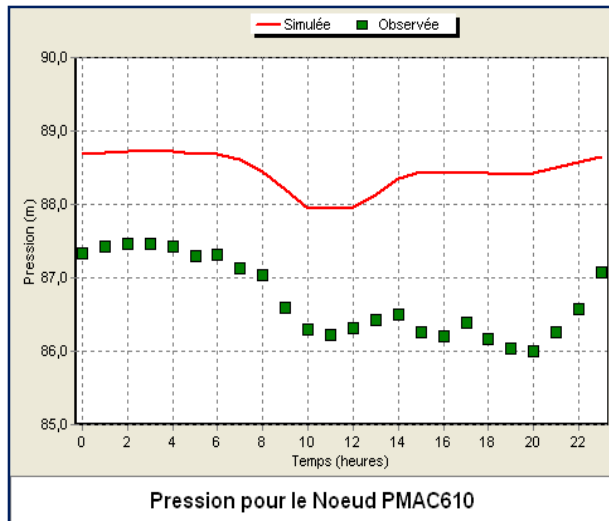


Figure : E

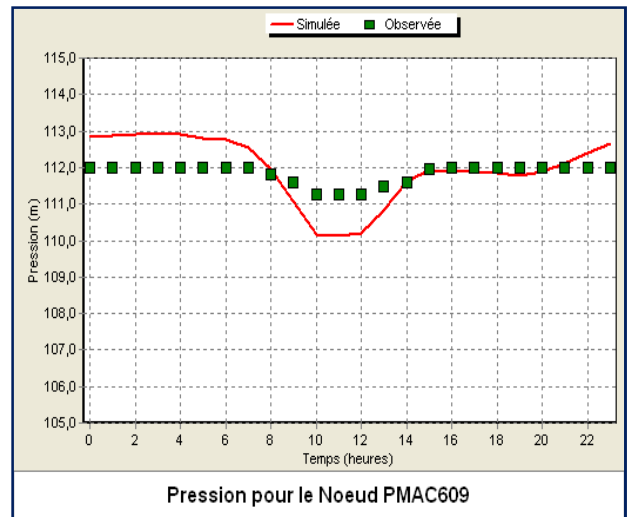


Figure : F

2) Les résultats obtenus après le calage sont les figures A', B', C', D', E' et F'

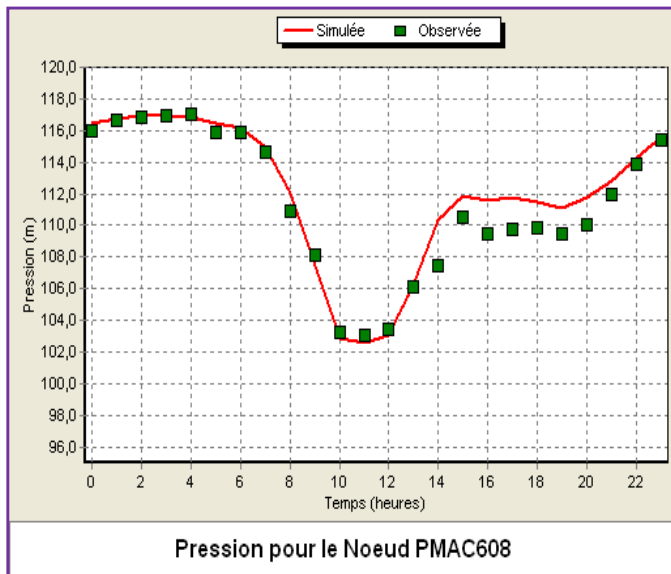


Figure : A'

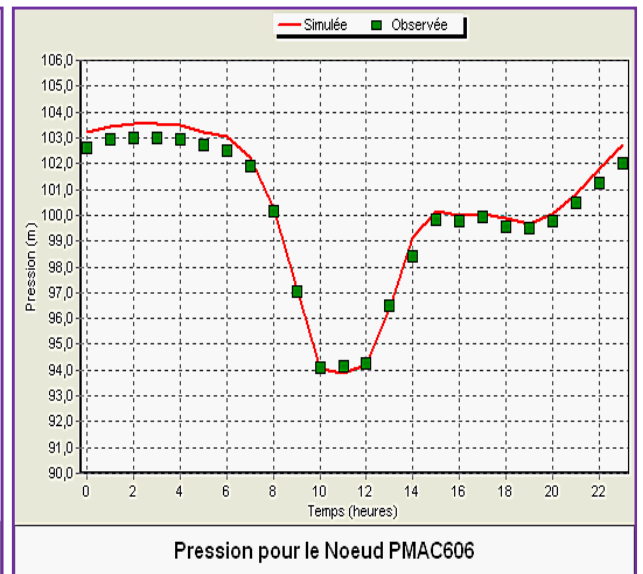


Figure : B'

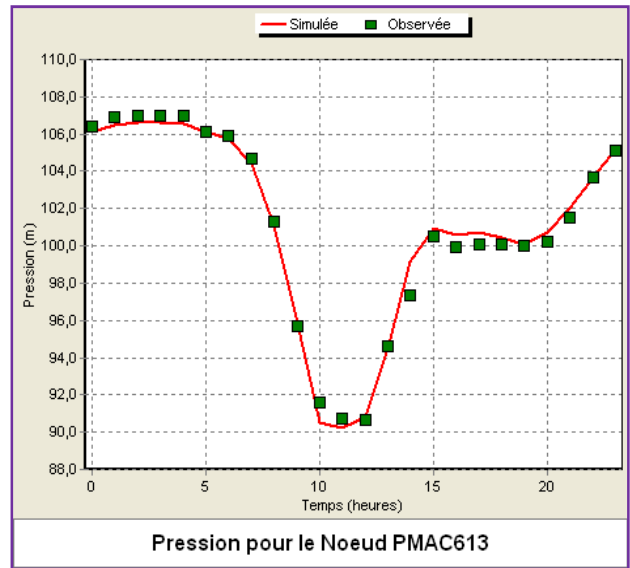
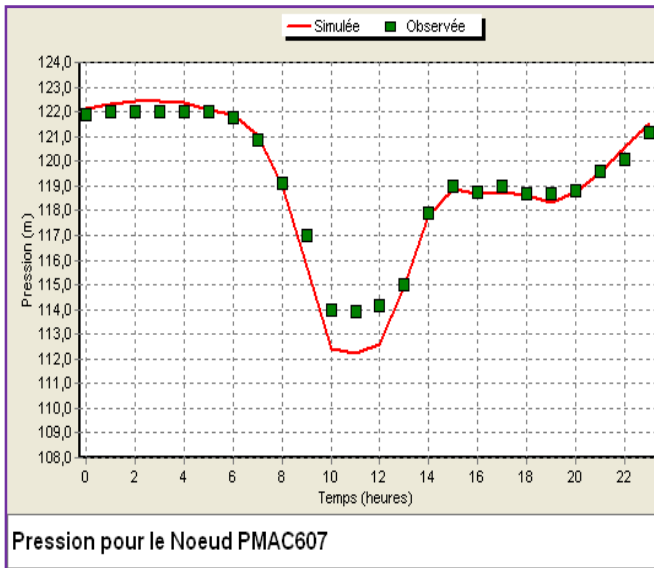


Figure : C'

Figure : D'

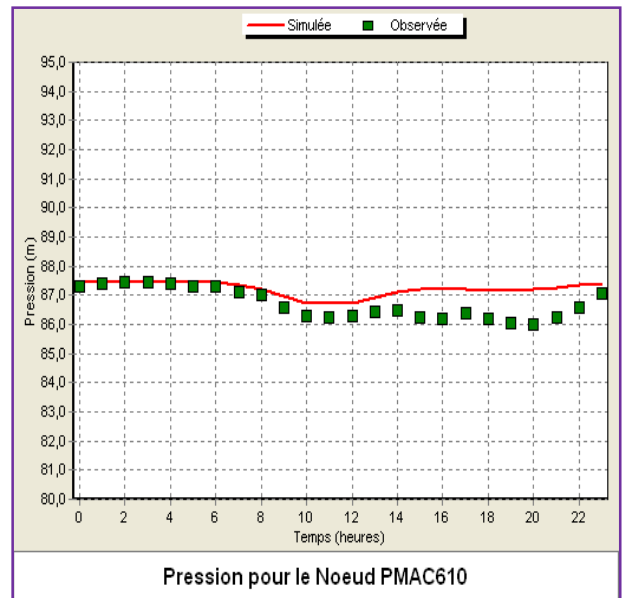
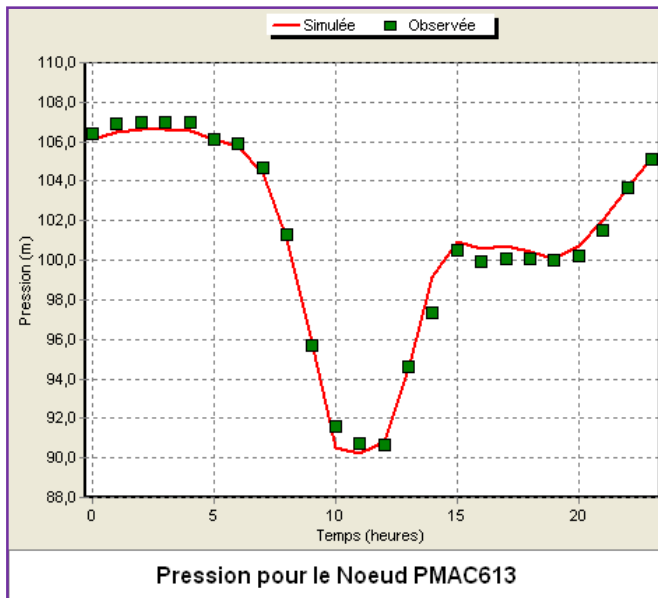


Figure : E'

Figure : F'

Figure IV.20 : résultats obtenus après le calage de pression.

Le rapport de calage de pression, donné par *EPANET*, est représenté comme suit (tableau IV.5 et figure IV.18):

Tableau IV.5: Statistiques de calage pour la pression

Point-Mesure	Nombre Obs	Moyen Obs	Moyen Sim	Erreur Moyen
PMAC606	24	99,84	99,98	0,335
PMAC607	24	119,05	118,07	1,052
PMAC609	24	111,84	111,93	0,541
PMAC610	24	86,70	87,14	0,452
PMAC613	24	100,82	101,39	0,452
PMAC608	24	100,82	101,62	0,452
Réseau	138	104,90	104,85	0,669

(Corrélation entre Valeurs Moyennes: 0,999)

Donc le diagramme de corrélation pour la pression après calage est représenté comme suit :

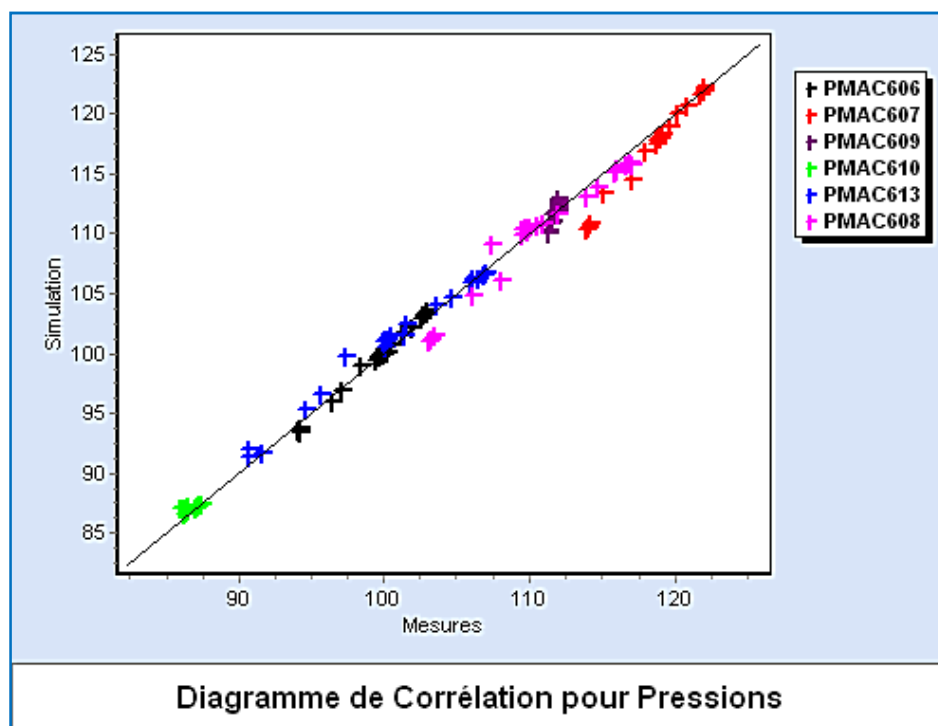


Figure IV.21 : Diagramme de corrélation pour la pression après calage.

La qualité du calage en pression a eu une diminution plus au moins considérable, mais le résultat reste toujours acceptable vue le niveau d'information que nous avons sur le réseau.

En réalité, il est très difficile sinon impossible, d'avoir un bon calage de pression pour un réseau aussi grand avec un niveau d'information minimal. Et une connaissance minimal de son état (plus de 30 % des vannes de circulation sont fermées ou cassées). Mais il reste toujours possible d'y avoir une amélioration en procédant à des investigations sur terrain, pour s'informer de l'état de toutes les vannes de circulation et faire d'éventuelles corrections

(Ouverture des vannes fermées, changement de celles défectueuses,...).

Les imprécisions sur les pressions peuvent être due aussi à la tolérance des appareils de mesure. Et que ces appareils ne sont pas installés directement sur les conduites principales sur lesquelles nous avons considéré les nœuds de calage dans le modèle, mais sur des branchements qui peuvent être en dessous ou au-dessus de ces conduites principales.

Sinon, en forçant le modèle à donner des résultats exacts. Et cela, en effectuant des changements excessifs sur les niveaux de rugosités par exemple, Le modèle risque d'être inutile.

6. VALIDATION DU MODELE

L'étape de validation permet de valider le modèle élaboré. Il consiste à vérifier que pour une autre journée le modèle réagit conformément à la réalité sans pour cela modifier de paramètre de calage. La journée de validation choisie est de 26 Mars 2011, les résultats de validation sont résumés dans l'annexe(4).

7 .CONCLUSION

A la fin de ce chapitre, nous pouvons dire que nous avons construit un modèle, plus au moins représentatif du réseau de Bologhine. Il peut être utilisé comme un outil d'aide à la décision dans le proche futur.

La modélisation n'étant pas faite d'une façon précise, vue l'indisponibilité d'un nombre considérable de données, et surtout en termes de consommation qui est un facteur jouant un rôle prépondérant dans la sensibilité du modèle.

Les objectifs du calage ont été atteints. En effet, nous avons constaté la nécessité du changement des profils de consommation, du rendement du réseau ou de la réaffectation des consommations aux nœuds. Et enfin, il est nécessaire de faire des campagnes d'investigations plus fines pour mieux identifier le réseau.

Des résultats comparatifs de la simulation pour les deux états du réseau (avant et après la modulation), sont représentés dans le chapitre V en but d'évaluer l'intérêt (en termes de pression) apportés par la modulation.

Chapitre : V

Conception d'un réseau d'AEP sur la base de la modulation de pression.

1. INTRODUCTION

Après avoir bien calé notre modèle, on peut concevoir un système de régulation de pression sous EPANET; nous présenterons dans ce qui suit les différents résultats de simulation ainsi l'analyse des différents scénarios de fonctionnement possibles avant et après la modulation de pression ou de débits et avant tout nous proposons un projet de régulation de pression.

2. PROJET DE CONTROL DE PRESSION DU RESEAU DE BOLOGHINE

Afin de bien comprendre le fonctionnement du réseau et de contrôler la bonne communication entre les différents tronçons et maillages, il est nécessaire de mesurer les pressions et les débits aux différents points du réseau.

Pour éviter les cassures de conduites pendant les essais, les vannes stabilisatrices prévues qui ont été installées sur les conduites d'alimentation du réseau, une (de 250 mm) sur la 300 mm de la rue Lallag Abdenour, et l'autre (de 150 mm) sur la 200 mm de la rue Abou Zakaria, les deux stabilisateurs (de 150 mm) sur la 300 mm de la rue corniche, le dernier stabilisateur situé à l'entrée de la ville de Hammamet pour maintenir la charge de réservoir de Bainem a la charge de Bologhine, Pour que ces vannes stabilisatrices fonctionnent correctement et sans perturbation, il est nécessaire que toutes alimentations du réseau passent par ces vannes, donc il faut maîtriser toutes les entrées du réseau. Pour cela, des modifications (maillages, raccordement, installation de vannes, fermeture de quelques vannes, ...) sont établies.

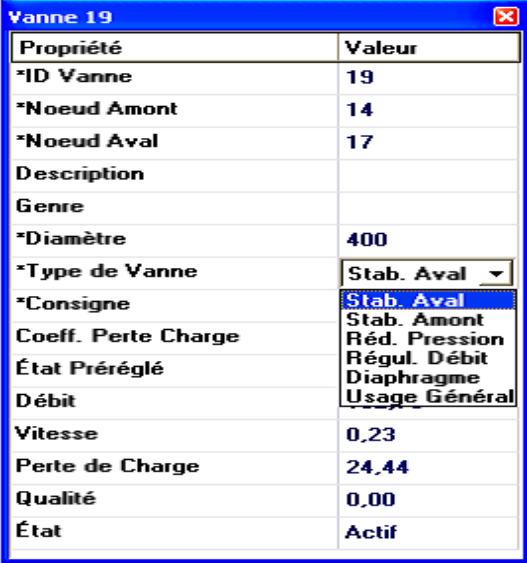
La figure suivante (format A₃), illustre le schéma synaptique de projet de Régulation de la ville de Bologhine.

2.1 Les vannes de régulation.

Les vannes de modulation de pression de l'étage Bologhine, de type stabilisatrice de pression avale à pilote (voir chapitre III) ce type de vannes garantit une pression avale constante quelque soit la demande ou la pression en amont.

Le pilote de régulation est équipé d'un contrôleur électronique (Modulo) alimenté par une batterie, permettant de modifier la consigne de pression en fonction du débit délivré ou bien d'un profil horaire.

Nous avons choisi l'insertion d'un type réel de vannes (qui existe dans le terrain) comme stabilisateur aval dans notre modèle, cette option se trouve dans le menu « type de vanne » dans EPANET :



Propriété	Valeur
*ID Vanne	19
*Noeud Amont	14
*Noeud Aval	17
Description	
Genre	
*Diamètre	400
*Type de Vanne	Stab. Aval ▾
*Consigne	Stab. Aval
Coeff. Perte Charge	Stab. Amont
État Préréglé	Réd. Pression
Débit	Régl. Débit
Vitesse	Diaphragme
Perte de Charge	Usage Général
Qualité	0,23
État	24,44
	0,00
	Actif

Figure V.1: vanne stabilisatrice aval dans EPANET.

Une vanne stabilisatrice aval limite la pression au nœud en aval. EPANET calcule à chaque instant de simulation dans quel état se trouve la vanne. Il y a trois états possibles:

- Partiellement ouverte (c'est-à-dire, en régulation) pour maintenir une pression avale correspondante à la consigne donnée, quand la pression en amont est plus élevée que la pression de la consigne ;
- Entièrement ouverte si la pression en amont est au-dessous de la consigne souhaitée ;
- Fermée, si la pression en aval dépasse celle du côté amont (autrement dit, la vanne ne permet pas l'inversion d'écoulement).

Dans notre cas (la vanne en régulation), est programmée à s'ouvrir ou à se fermer selon un profil horaire.

Pour déterminer les cosignes de pression injectées dans le Modulo, il est nécessaire de faire un calcul profond, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

heure	Pression sortie vanne	Pression nécessaire point critique	Pression disponible point critique	Charge sortie vanne	Charge nécessaire point critique	Charge disponible point critique	Charge modulation	Différence (Ch di-Ch né)	Pression modulé
00:00	43,5	30	43,6	70,9	56,5	70,1	57,2	13,6	29,9
01:00	43,5	30	43,7	70,9	56,5	70,2	57,2	13,7	29,8
02:00	43,5	30	43,7	70,9	56,5	70,2	57,2	13,7	29,8
03:00	43,5	30	43,7	70,9	56,5	70,2	57,2	13,7	29,8
04:00	43,5	30	43,5	70,9	56,5	70,0	57,4	13,5	30,0
05:00	43,5	31	43,4	70,9	57,5	69,9	58,4	12,4	31,1
06:00	43,5	33	43,0	70,9	59,5	69,5	60,9	10,0	33,5
07:00	43,5	35	41,9	70,9	61,5	68,4	63,9	6,9	36,6
08:00	43,5	38	40,3	70,9	64,5	66,8	68,5	2,3	41,2
09:00	43,5	41	38,7	70,9	67,5	65,2	73,2	-2,3	45,8
10:00	43,5	44	38,6	70,9	70,5	65,1	76,3	-5,4	48,9
11:00	43,5	44	38,8	70,9	70,5	65,3	76,1	-5,2	48,7
12:00	43,5	44	39,9	70,9	70,5	66,4	75,0	-4,1	47,6
13:00	43,5	44	41,4	70,9	70,5	67,9	73,5	-2,6	46,1
14:00	43,5	41	41,9	70,9	67,5	68,4	70,0	0,9	42,6
15:00	43,5	39	41,8	70,9	65,5	68,3	68,1	2,8	40,7
16:00	43,5	36	41,8	70,9	62,5	68,3	65,0	5,8	37,7
17:00	43,5	34	41,8	70,9	60,5	68,3	63,1	7,8	35,7
18:00	43,5	33	41,6	70,9	59,5	68,1	62,2	8,6	34,9
19:00	43,5	32	41,8	70,9	58,5	68,3	61,0	9,8	33,7
20:00	43,5	31	42,2	70,9	57,5	68,7	59,6	11,2	32,3
21:00	43,5	30	42,8	70,9	56,5	69,3	58,1	12,8	30,8
22:00	43,5	30	43,2	70,9	56,5	69,7	57,6	13,2	30,3
23:00	43,5	30	43,5	70,9	56,5	70,0	57,3	13,5	30,0

Tableau V.1: Résultats de calcul des cosignes de pression injectées dans le Modulo, d'une vanne de modulation de pression.

- ✓ Pression sortie vanne = C_{tp} Réservoir – (charge totale de point critique) – la cote de la vanne.

Charge totale de point critique = pression + la cote du point critique.

Le point critique situé à la cote 26,5 m (R+8) donc on utilise la formule suivante pour déterminer la charge totale du point critique.

$$P = 3 \cdot N + (1 \text{ mètre de perte de charge pour chaque étage}) + (2 \text{ mètre pour le compteur}) + 10 \text{ mètre pour le dernier étage.}$$

Avec N : c'est le nombre de l'étage.

$$P = 3 \cdot 8 + 8 + 2 + 10 = 44 \text{ m.}$$

Charge totale de point critique = 70,5 m.

Charge totale du point critique = $44 + 26,5 = 70,5 \text{ m.}$

Pression sortie vanne = $140 - 70,5 - 26 = 43,5$ m.

**Pression sortie
vanne = 43,5 m**

La cote de la vanne = 26m.

La pression nécessaire du point critique varie en fonction du profil horaire.

- Pendant les heures de pointe :

$$P = 3 \cdot 8 + 8 + 2 + 10 = 44 \text{ m.}$$

- pendant les heures creuses et la nuit on néglige toutes les pertes de charges donc : $P = 2,8 \cdot N + 6 = 2,8 \cdot 8 + 6 = 30$ m

La courbe suivante montre la variation de pression a la sortie de la vanne ainsi que la pression nécessaire du point critique.

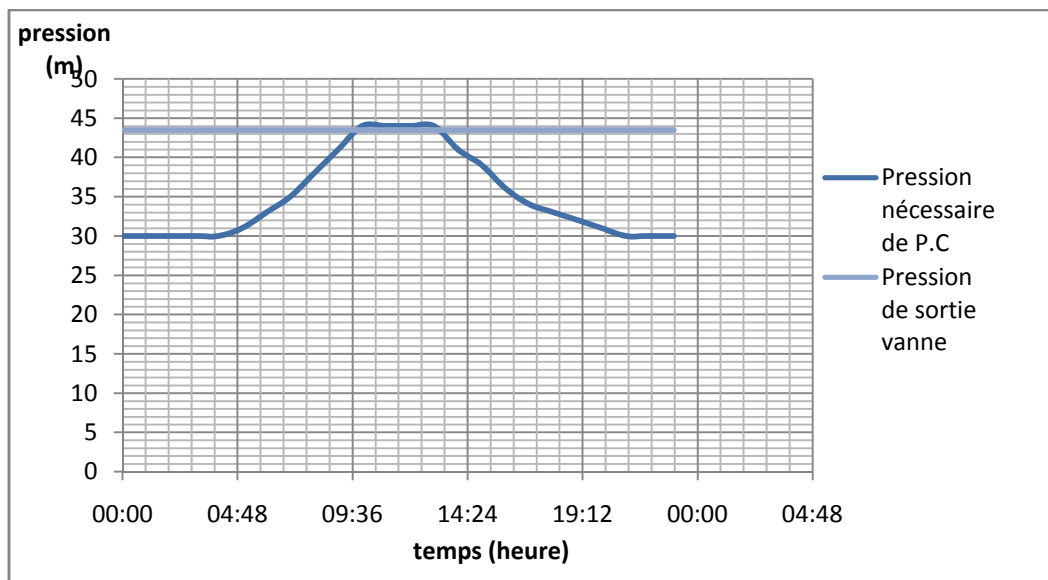


Figure V.2: pression de sortie de la vanne et la pression nécessaire du point critique

- ✓ La pression disponible du point critique il est collecté à partir d'un enregistreur de pression installé au niveau du point critique lui même.
- ✓ La charge de modulation = charge de sortie vanne – X.

Tel que : X ; est la différence entre la charge disponible et la charge nécessaire

$$X = (\text{charge disponible}) - (\text{charge nécessaire}).$$

- ✓ La pression modulée (consigne de vanne) = Charge de modulation – la cote de la vanne.

A ce propos, il ne faut pas confondre entre la notion de pression et la charge totale :

$$\text{La charge (H)} = \text{la pression (P)} + \text{la cote.}$$

Les consignes de pression injectées dans le modulo sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau V.2: profil horaire de régulation de la vanne stabilisatrice aval (1) de 250 mm laquière.

heure	Consigne	charge	heure	Consigne	charge	heure	Consigne	charge
00h00	29,9	57,3	08h00	41,2	68,5	16h00	37,7	65,1
01h00	29,8	57,2	09h00	45,8	73,16	17h00	35,7	63,1
02h00	29,8	57,2	10h00	48,9	76,3	18h00	34,9	62,3
03h00	29,8	57,2	11h00	48,7	76,06	19h00	33,7	61,1
04h00	30	57,4	12h00	47,6	75,0	20h00	32,3	59,7
05h00	31	58,4	13h00	46,1	73,46	21h00	30,8	58,2
06h00	33,5	60,9	14h00	42,6	70,0	22h00	30,3	57,7
07h00	36,6	64,0	15h00	40,7	68,06	23h00	30	57,4

Pour assurer le bon fonctionnement des vannes (1),(2) et (3) au même temps, il faut les commander avec des consignes de même charge, les résultats obtenus sont résumés dans les deux tableaux suivants :

Tableau V.3: profil horaire de régulation (consigne) de la vanne stabilisatrice aval (2) de 150 mm Laquière.

heure	Consigne	charge	heure	Consigne	charge	heure	Consigne	charge
00h00	38,7	57,3	08h00	50,0	68,5	16h00	46,5	65,1
01h00	38,7	57,2	09h00	54,7	73,2	17h00	44,6	63,1
02h00	38,7	57,2	10h00	57,8	76,3	18h00	43,7	62,3
03h00	38,7	57,2	11h00	57,6	76,1	19h00	42,5	61,1
04h00	38,9	57,4	12h00	56,5	75,0	20h00	41,1	59,7
05h00	39,9	58,4	13h00	55	73,5	21h00	39,6	58,2
06h00	42,4	60,9	14h00	51,5	70,0	22h00	39,1	57,7
07h00	45,4	64,0	15h00	49,6	68,1	23h00	38,8	57,4

Tableau V.4: profil horaire de régulation (consigne) de la vanne stabilisatrice aval (3) de 150 mm laquière.

heure	Consigne	charge	heure	Consigne	charge	heure	Consigne	charge
00h00	34,8	57,3	08h00	46,1	68,5	16h00	42,6	65,1
01h00	34,8	57,2	09h00	50,8	73,2	17h00	40,7	63,1
02h00	34,8	57,2	10h00	53,9	76,3	18h00	39,8	62,3
03h00	34,8	57,2	11h00	53,7	76,1	19h00	38,6	61,1
04h00	35	57,4	12h00	52,6	75,0	20h00	37,2	59,7
05h00	36	58,4	13h00	51,1	73,5	21h00	35,7	58,2
06h00	38,5	60,9	14h00	47,6	70,0	22h00	35,2	57,7
07h00	41,5	64,0	15h00	45,7	68,1	23h00	34,9	57,4

Pour la vanne stabilisatrice aval(4)de la rue Abou Zakaria, qui alimente la partie haute, et qui possède un point critique de 64,5m de cote (R+1), la demande en pression à la pointe est :

$$P= 3*1 +1+2+10 =16 \text{ m.}$$

$$H=16+64,5 = 81 \text{ m.}$$

La pression de sortie vanne (consigne) est donnée comme suit :

La consigne= $H_{\text{pt critique}}$ – la cote de la vanne ; avec la cote de la vanne =18,3 m.

$$\text{La consigne} = 81 - 18,3 = 62,7 \text{ m.}$$

La consigne de la vanne (4) = 62,7 m.

2.2la régulation dans EPANET (commandes) .

Les commandes sont des instructions qui déterminent comment le réseau est géré pendant la simulation. Elles indiquent l'état d'arcs déterminés en fonction du temps, l'état des niveaux d'eau aux réservoirs et la valeur de la pression à certains points du réseau.

Dans notre modèle on a programmé les vannes stabilisatrices avales en lui attribuant les consignes de pression (tableau ci-dessus) selon un profil horaire.

Il existe par conséquent deux types de commandes :

2.2.1les commandes simples

Les Commandes Simples changent l'état ou la consigne de fonctionnement d'un arc (vanne, tuyau, Pompe,...) en fonction :

- Du niveau d'eau dans un réservoir ;
- De la pression à un nœud ;
- De l'instant de la simulation ;
- De l'heure de la journée.

Les commandes doivent être établies suivant l'un des ces trois modèles:

LINK ID Arc état IF NODE ID Noeud ABOVE/BELOW valeur
 LINK ID Arc état AT TIME temps
 LINK ID Arc état AT CLOCKTIME heure AM/PM

Dans lesquels :

- ID Arc: étiquette d'identification d'un arc ;
- Etat : OPEN ou CLOSED, la vitesse de rotation d'une pompe, la consigne de fonctionnement d'une vanne ;
- ID Noeud: étiquette d'identification d'un nœud ;
- Valeur : la pression d'un nœud ou le niveau d'un réservoir ;
- Temps : le temps depuis le début du calcul, en heures ou en notation heures : minutes;
- Heure : l'heure de la journée en format américain (AM : jusqu'à midi, PM : de midi à minuit ; midi et demi = 12 : 30PM, minuit et demi = 00 : 30 AM).

Nous avons opté pour ce type de commandes, et précisément le deuxième modèle, afin d'introduire le profil de régulation horaire.

Exemple :

Tableau V.5: exemple de commande simple appliqué à notre modèle.

commande	signification
LINK stab_Bologhine 48 AT TIME 09:00	Mettre la consigne de pression de la vanne stab_Bologhine à 48m ,9 heures après le début de la simulation.

La figure suivante présente l'éditeur de commandes avec les consignes appliquées au modèle.

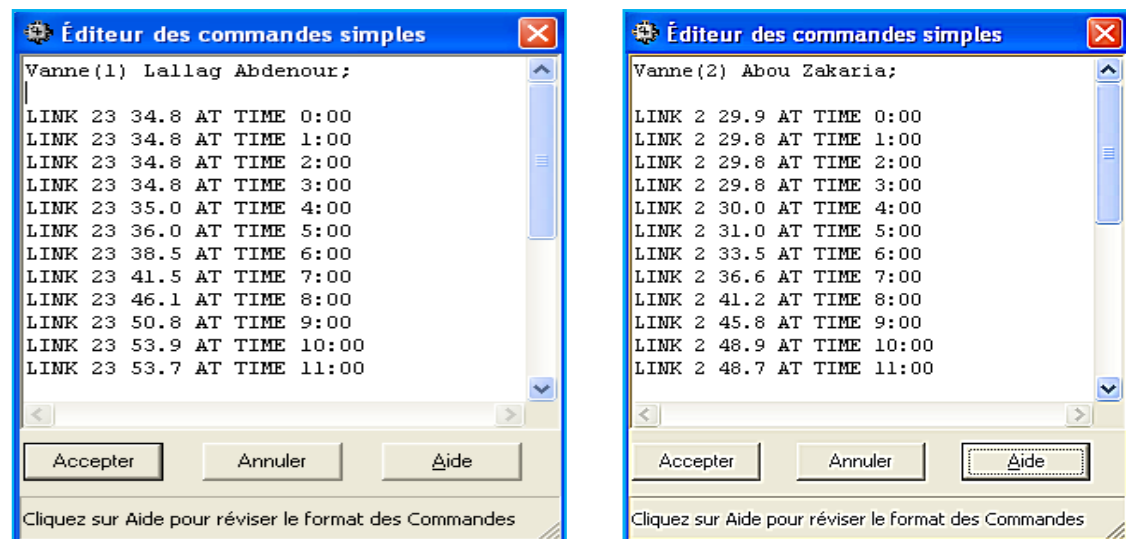


Figure V.3:Editeur de commandes d'EPANET

2.2.2 Les commandes élaborées

Un état hydraulique particulier du système est atteint, les commandes élaborées permettent de déterminer l'état ou la consigne d'un arc basé sur une combinaison de conditions pour l'intervalle actuel. Les entrées suivantes indiquent la construction de ces commandes.

```
RULE ID Commande
IF condition_1
AND condition_2
OR condition_3
AND condition_4
Etc.
THEN action_1
AND action_2
Etc.
ELSE action_3
AND action_4
Etc.
PRIORITY Priorité
```

Où:

- *ID Commande* : l'étiquette d'identification de la commande ;
- *condition_n* : une clause conditionnelle ;
- *action_n* : une clause d'action ;
- *Priorité* : une valeur de priorité (par exemple, un nombre de 1 à 5).

Remarque :

- Seulement les déclarations **RULE**, **IF** et **THEN** sont obligatoires; les autres sont optionnelles ;
- La valeur qui suit **PRIORITY** s'utilise pour déterminer quelle commande s'applique s'il y a deux commandes qui donnent des instructions contradictoires ;
- Une commande sans valeur de priorité a toujours la priorité la plus basse. Si deux commandes ont la même valeur de priorités, la priorité est donnée à la commande qui figure la première dans la section ;
- Il n'y a aucune limite au nombre de commandes pouvant être utilisées.

Ce type de commande peut être utilisé pour l'établissement du profil de régulation en fonction du débit.

3. RESULTATS DES SIMULATIONS DE FONCTIONEMENT AVANT ET APRES LA MODULATION DE PRESSION

3.1. fonctionnement avant le contrôle de pression (modulation)

Pour lancer la simulation (avant modulation de pression) on doit effectuer les modifications suivantes :

- Changement de l'état de la vanne, on opte pour une vanne « réductrice de pression » entièrement ouverte.
- Elimination des consignes de pression du modulo injecté dans l'option commande dans *EPANET*.

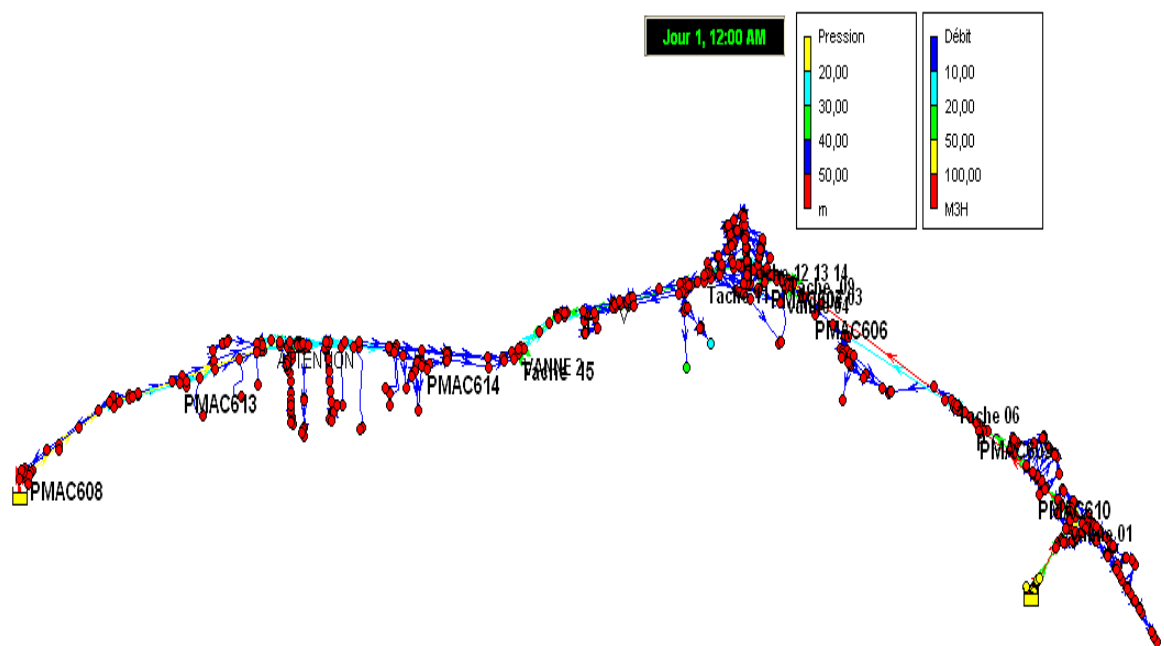


Figure V.4: comportement du réseau aux heures creuses [00 :00] avant modulation de pression.

D'après la figure V.4 les pressions aux heures creuses sont excessives dans la majeure partie du réseau.

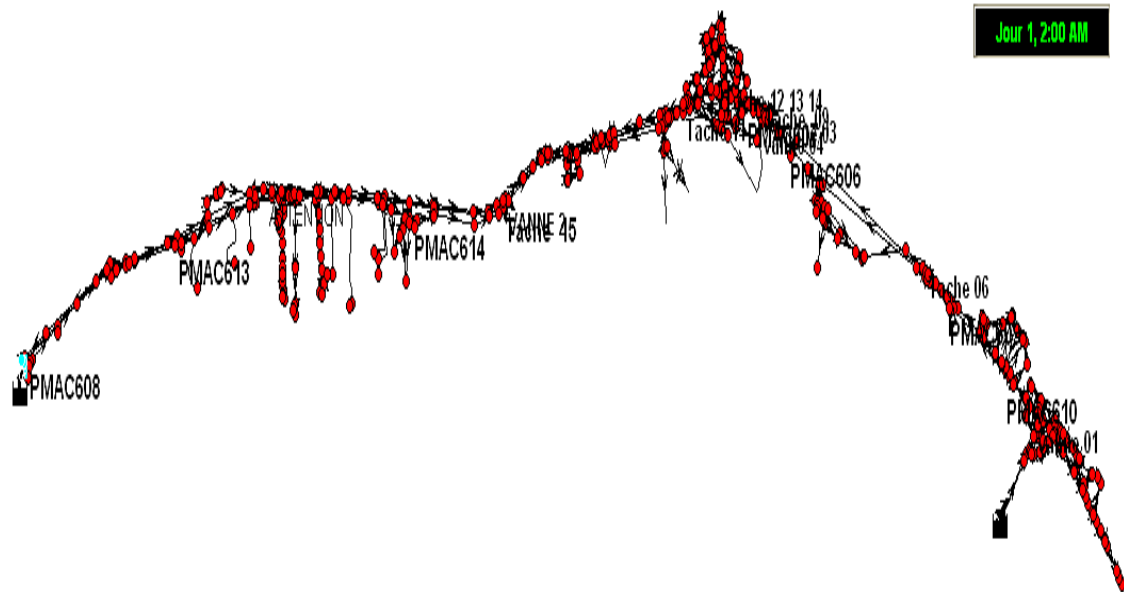
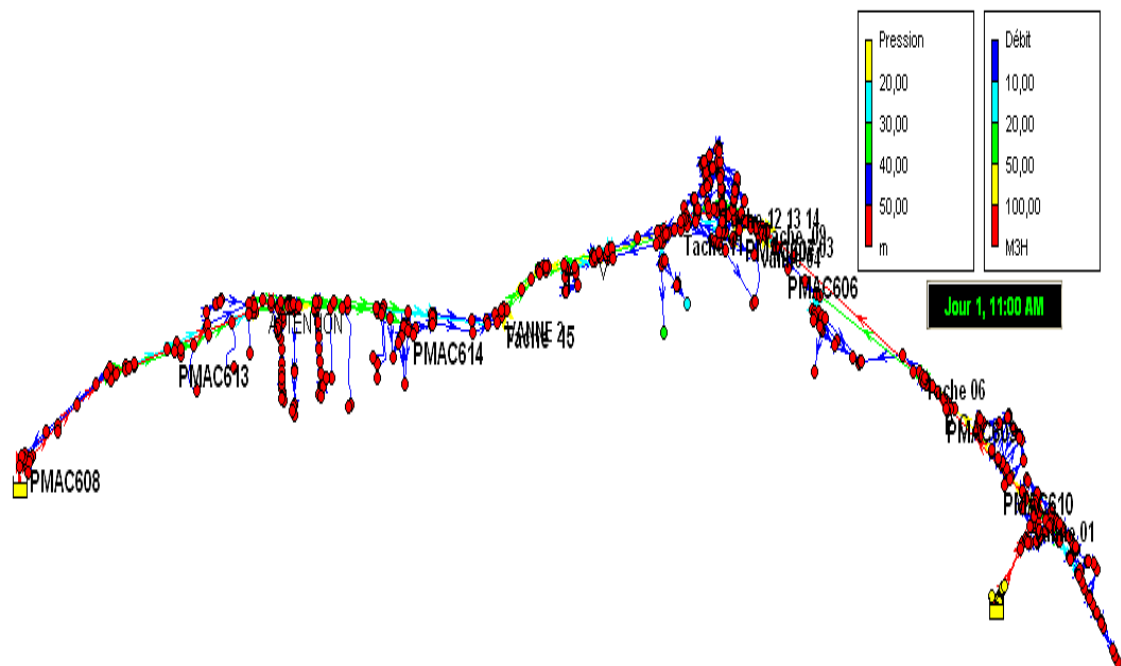


Figure V.5 : pressions supérieurs à 90 m aux heures creuses [02 :00] avant la modulation de pression.

Nous remarquons à l'issue de la figure ci-dessus l'excès de pression dans la majeure partie du réseau Laquière en périodes creuses qui atteignent les 14 bars dans les points bas du réseau

Figure V.6: comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.



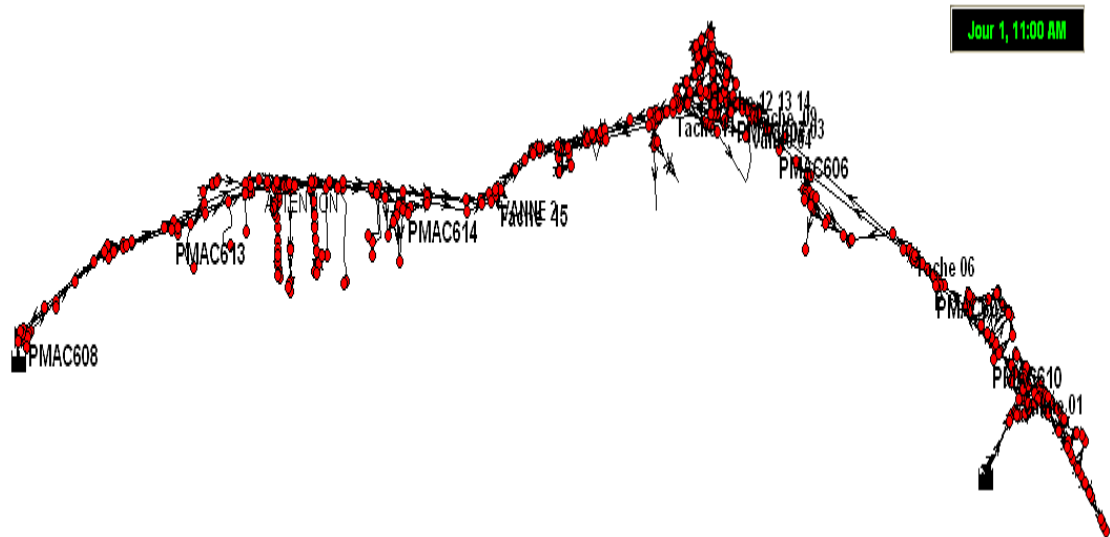


Figure V.7: pressions supérieures à 80 m à l’heure de pointe [11 :00]avant modulation de pression.

Avant l’élaboration de la modulation de pression, les pressions étaient très importantes dans tout le réseau même aux heures de pointes.

3.2. fonctionnement après modulation de pression

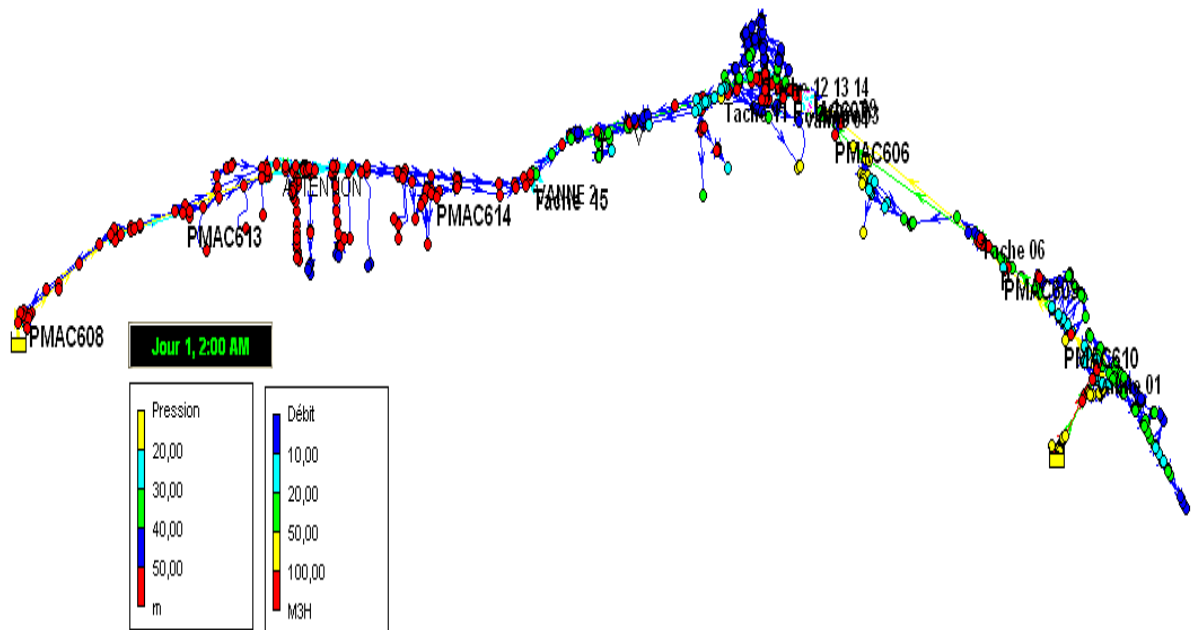


Figure V.8: comportement du réseau à l’heure creuse [02 :00] après modulation de pression.

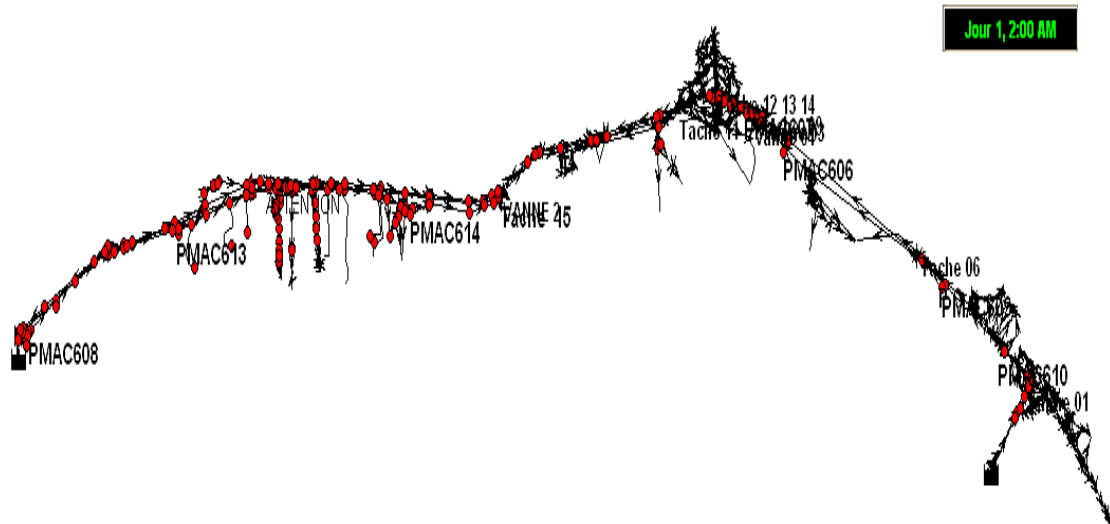


Figure V.9: pressions supérieures à 60 m après modulation de pression.

D'après les figures illustrées ci-dessus les pressions sont devenues moins importantes après élaboration de la modulation de pression surtout aux heures creuses, nous remarquons des pressions de près de 6 bars la nuit en zones basse du réseau.

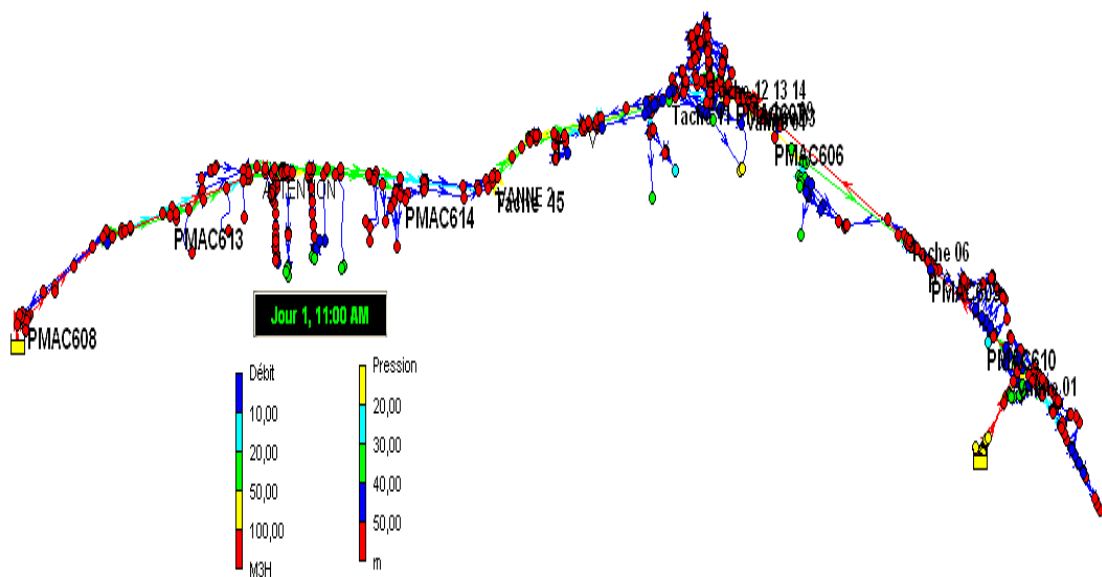


Figure V.10: comportement du réseau à l'heure de pointe [11 :00]après modulation de pression.

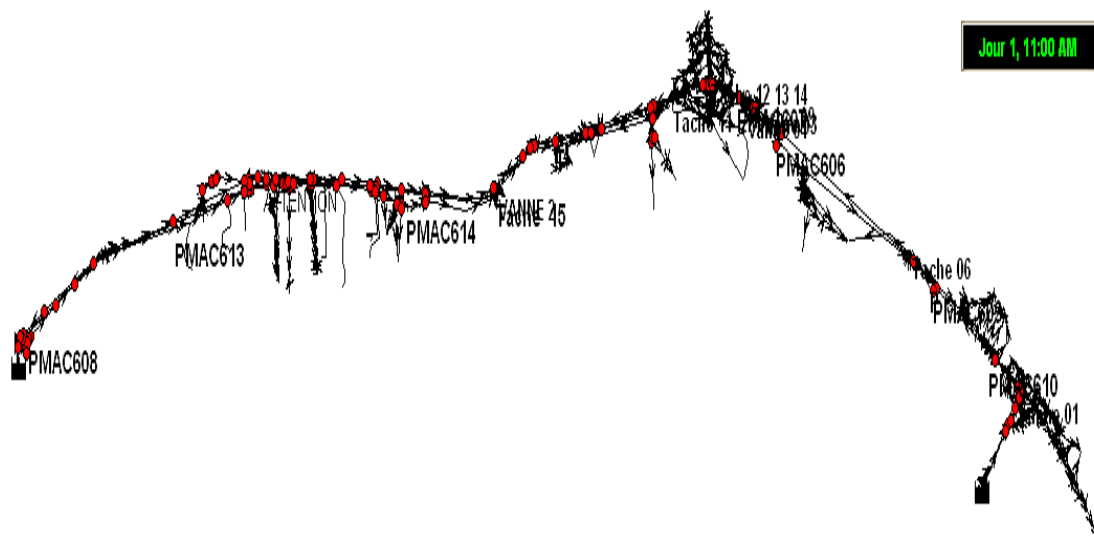


Figure V.11: pressions supérieures à 80m à l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression.

D'après les figures ci-dessus, nous remarquons une légère augmentation de la pression à l'heure de pointe au point les plus bas du réseau, ceci est dû à la consigne de pression délivré à cette période de forte consommation.

3. 3.analyse des différent scénarios defonctionement possibles

Après avoir calé au mieux notre modèle, nous pouvons par conséquent nous intéresser à l'objectif principale de notre étude qui est d'essayer à travers l'élaboration du modèle numérique de l'étage distribution Bologhine prévoir le comportement des pression avant et après la modulation de pression, afin de pouvoir par la suite comparer les différent scénarios de fonctionnement possibles

3.3.1.une vanne 250mm .

Pour lancer la simulation (avec une seule vanne de modulation de pression) on doit effectuer les modifications suivantes :

- Changement de l'état de les deux vannes de modulation de pression qui travaillée aux même temps (2) et(3), on opte pour une vanne « réductrice de pression » entièrement fermée.
- Elimination des consignes de pression du modulo injecté dans l'option commande dans *EPANET* pour les deux vannes.

Pour vérifié le bon fonctionnement de la vanne (1), il est nécessaire d'utiliser logiciel *CLA-VAL SIZING SOFTWARE Ver2 .2*.

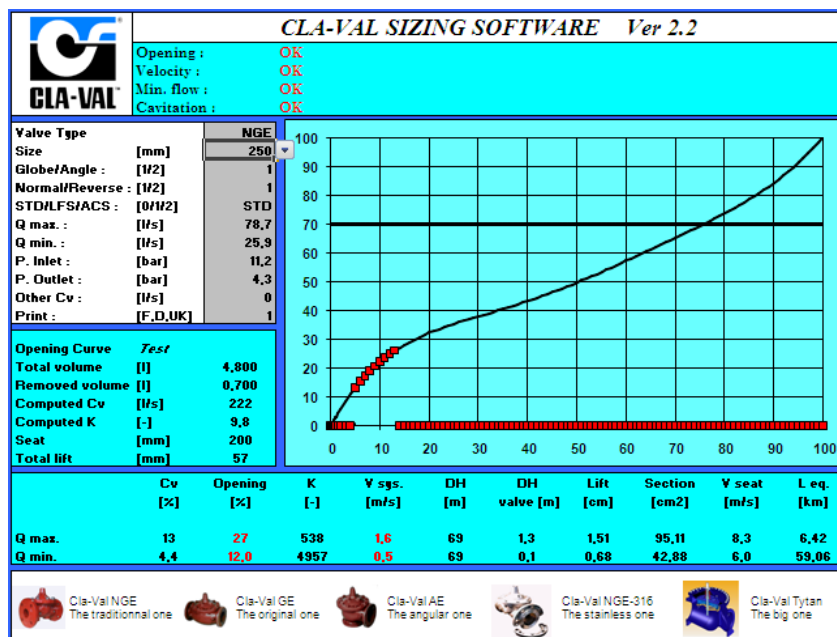
Les donnes qui on doit introduire dans logiciel *CLA-VAL SIZING SOFTWARE* sont les suivantes :

Pression amont et avale de la vanne, le débit minimum et maximum de la vanne et en fin le diamètre de la vanne

Pour la vanne (1) les donnes sont résumées comme suite :

Tableau V.6: données de dimensionnement de vanne de modulation 250mm.

Vanne (1)	Bologhine
$P_{\text{amont}}(\text{m})$	112
$P_{\text{aval}}(\text{m})$	30
$Q_{\text{min}}(\text{l/s})$	25,91
$Q_{\text{max}}(\text{l/s})$	78,66
Diamètre (mm)	250

**Figure V.12:** dimensionnement d'une vanne de modulation de pression via logiciel CLA-VAL SIZING SOFTWARE.

D'après la figure illustrée ci-dessus nous remarquons que le logiciel insiste sur quatre paramètres suivants :

1. Opening **OK** : c'est-à-dire l'ouverture de la vanne il est bien.
2. Velocity **OK** : c'est-à-dire la vitesse d'écoulement dans la vanne il est bien.
3. Min.flow **OK** : c'est-à-dire le débit minimum qui traverse la vanne il est acceptable.
4. Cavitation **OK** : c'est-à-dire la vanne ne cavité jamais.

À l'aide de l'option de requête dans EPANET on peut déterminer la pression minimum et maximum dans le point critique :

Pression minimum: 2,42bar

Pression maximum: 3,36bar

La courbe de variation de la pression au point critique après modulation de pression avec une seule vanne ; 250mm :

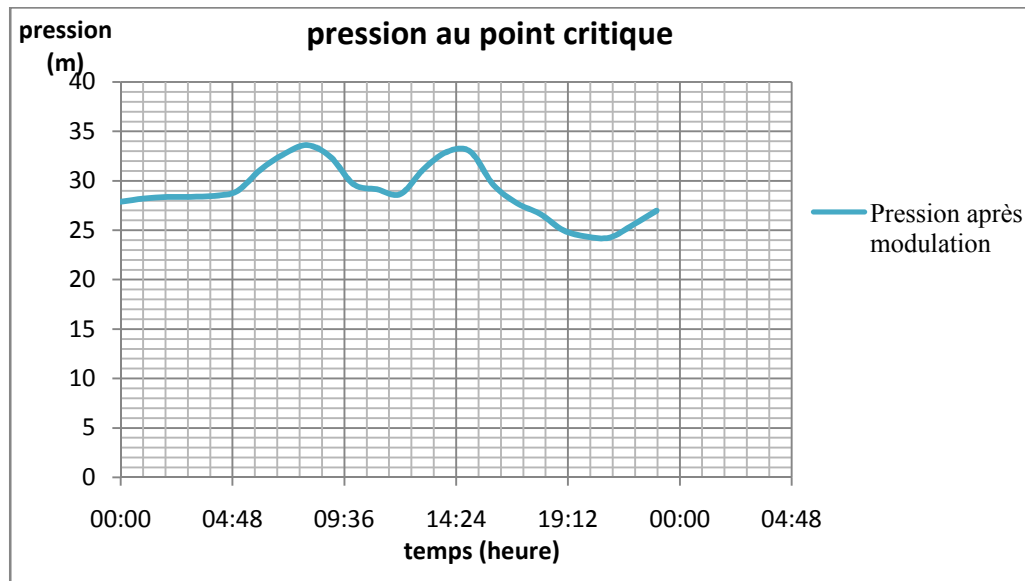


Figure V.13: variation de la pression au point critique après modulation de pression avec une seule vanne ; 250mm.

Nous remarquons à l'issue de la figure ci-dessus une faible pression dans le point critique en périodes de pointes qui ne pas atteignent 3,5 bars.

3.3.2.une vanne 250mm + une vanne 150mm.

On effectuer la même opération précédente, sauf dans ce cas on doit changer l'état de la vanne (2)150 mm (entièrement fermée), et par suite l'élimination des consignes de pression du modulo injecté dans l'option commande dans *EPANET* pour la même vanne.

La courbe de variation de la pression au point critique après modulation de pression avec deux vannes : 250et 150mm.

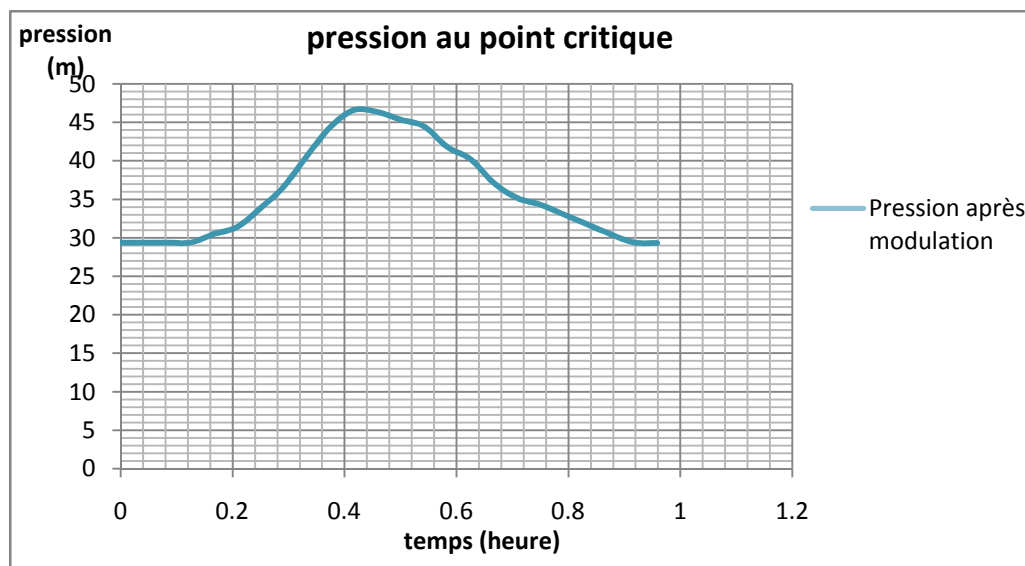


Figure V.14: variation de la pression au point critique après modulation de pression avec deux vannes : 250et 150mm.

Nous remarquons à l'issue de la figure ci-dessus une faible pression dans le point critique en périodes de pointes qui ne pas atteignent 4,5 bars.

La pression minimum et maximum dans le point critique :

Pression minimum: 2,8bar

Pression maximum: 4,5bar

Le dimensionnement et la vérification de bon fonctionnement des deux vannes, sont résumés dans l'annexe (5) .

3.3.3.une vanne 250mm + deux vannes 150mm.

La courbe de variation de pression au point critique après modulation de pression de trois vannes fonctionnes aux mêmes temps est comme suite :

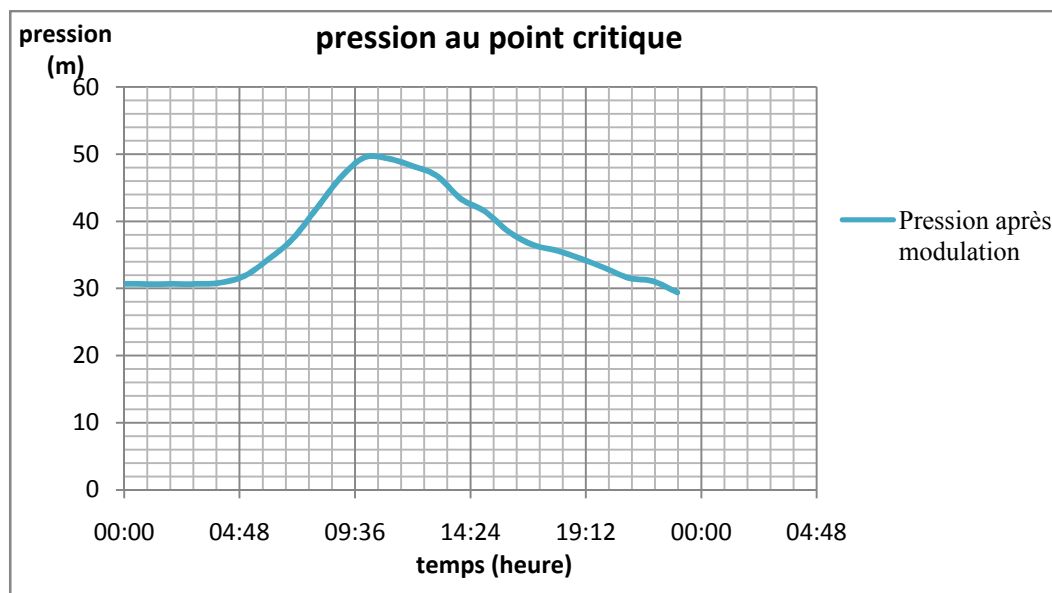


Figure V.15: variation de la pression au point critique après modulation de pression avec trois vannes : 250et deux150mm.

D'après la figure ci-dessus, nous remarquons une légère augmentation de la pression au point critique qui atteint le 5 bars à l'heure de pointe, ceci est dû à la consigne de pression délivré à cette période de forte consommation.

À l'aide de l'option de requête dans EPANET on peut déterminer la pression minimum et maximum dans le point critique :

Pression minimum:3,1bar

Pression maximum: 5bar

Pour dimensionner et vérifier les bons fonctionnements des vannes, il est purement intéressant d'utiliser logiciel CLA-VAL SIZING SOFTWARE.(Voir l'annexe 5)

3.3.4. deux vannes 150mm.

La courbe de variation de pression au point critique après modulation de pression de deux vannes de 150 mm, fonctionnes aux mêmes temps est comme suite :

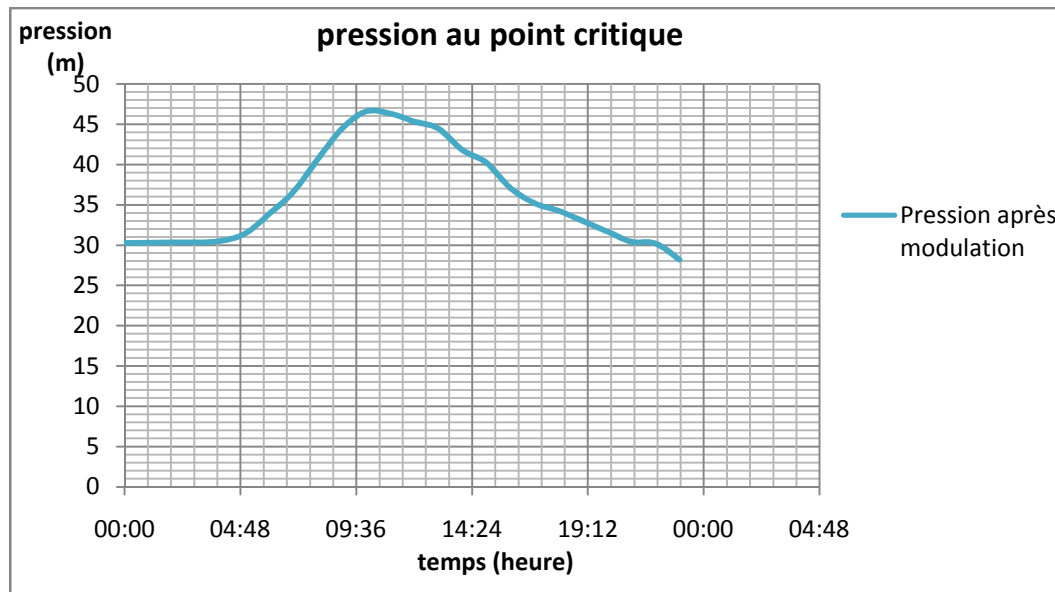


Figure V .16 : variation de la pression au point critique après modulation de pression avec deux vannes de 150mm.

D'après la figure ci-dessus, nous remarquons une légère augmentation de la pression au point critique mais ne pas atteint le 5 bars à l'heure de pointe.

On peut déterminer la pression minimum et maximum dans le réseau à l'aide de l'option de requête dans EPANET.

Pression minimum: 3.0 bar

Pression maximum: 4.6 bar

D'après l'analyse des différents scénarios de fonctionnement possibles nous choisissons la variante de trois vannes fonctionnent aux même temps, car elle assure la pression minimum optimale de point critique à toute la journée, et surtout aux heures de pointe, avec la possibilité de fermer les deux vannes (150mm) aux heurs creuses.

3.4.Scenarios de la régulation de pression.

3.4.1 Point de sortie de la vanne de modulation.

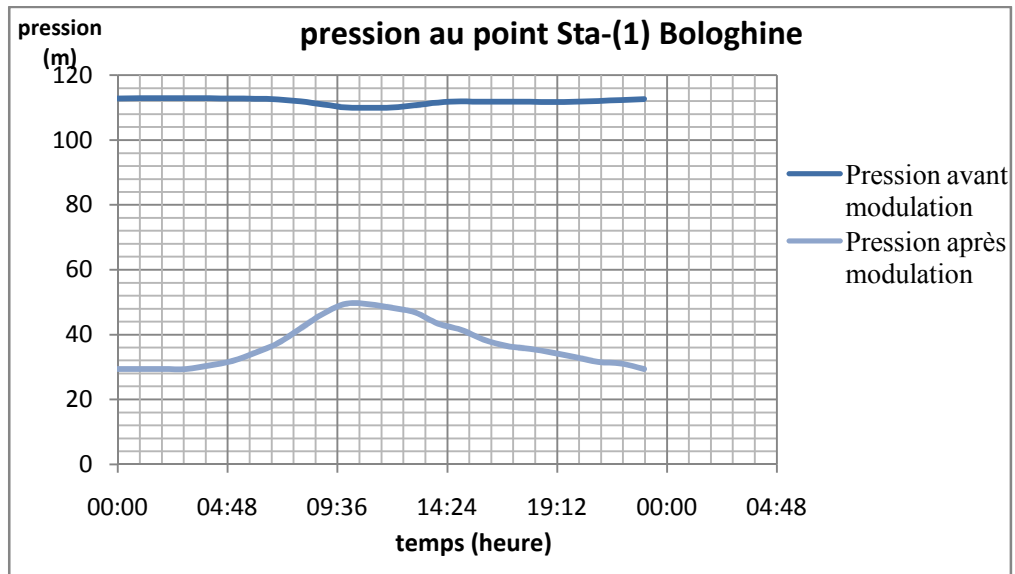


Figure V.17: variation de la pression a la sortie de la vanne de modulation (1) Bologhine avant et après modulation.

3.4.2 point critique.

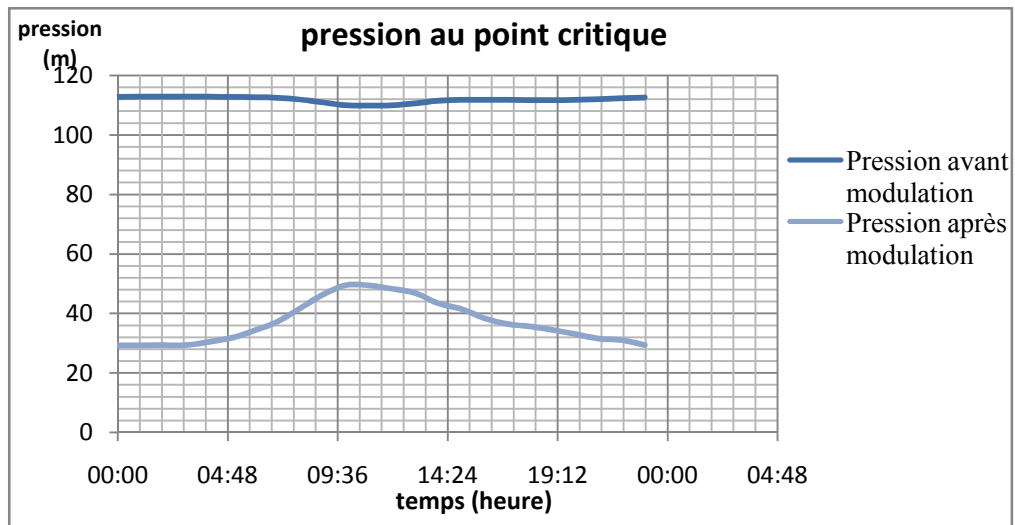


Figure V.18: variation de la pression au point critique avant et après modulation de pression.

4 .SIMULATION DES SCENARIOS DES PERTES PHYSIQUE SOUS EPANET

Après avoir calé au mieux notre modèle, nous pouvons par conséquent d'essayer a travers l'élaboration du modèle de l'étage distribution Bologhine prévoir le comportement des pertes physique (débit de fuite) avant et après la modulation de pression.

4.1Utilisation du FAVAD :

Le terme « FAVAD » provient de l'anglais « Fixed and Variable Area Discharge Paths ». Ce concept, via la définition d'un exposant N1, définit la relation entre le débit des fuites et la pression.

L'équation générale utilisée pour simuler une fuite dans un réseau de distribution est l'équation (1)

$$\frac{Q_{fuitava}}{Q_{fuitapr}} = \left[\frac{P_{apès}}{P_{ava}} \right]^{N_1} \dots\dots\dots (1)$$

La figure V.19 illustre l'influence de N1 sur l'impact d'une réduction de pression sur le débit de fuite.

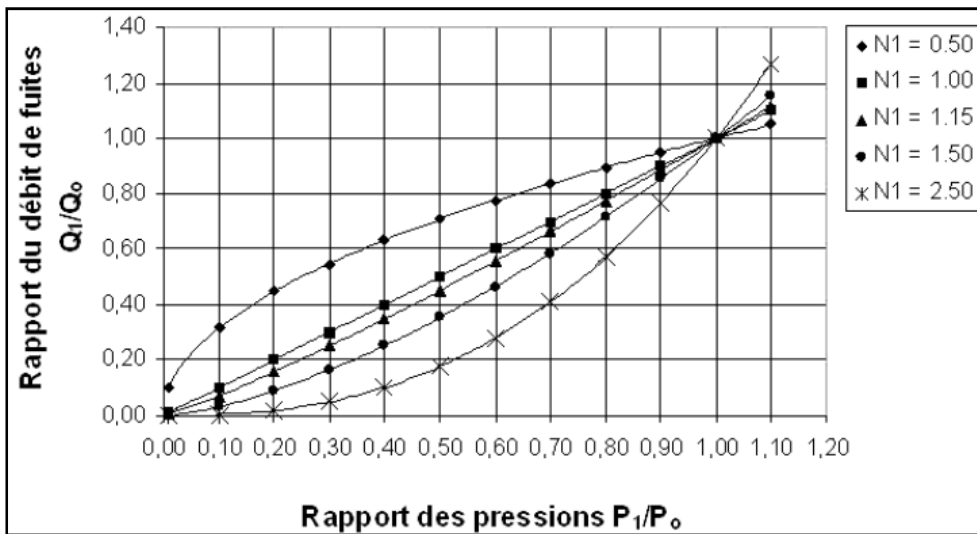


Figure V.19 : relations entre la pression (P) et le débit de fuite (Q) en fonction de la valeur de N1

Avec :

- Q₀ et Q₁ : le débit de fuite avant et après réduction de la pression.
- P₀ et P₁ : la pression avant et après réduction.

Selon le type de fuites, à savoir la nature du matériau et la forme de la fuite (trous, fissures...), cet exposant N1 varie fortement.

Par exemple, une valeur élevée de N_1 se traduira par un fort impact d'un changement de pression sur le débit des fuites. A contrario, l'effet sera moins sensible pour un réseau ayant un N_1 faible.

La figure V.20 illustre la valeur de N_1 en fonction du type de fuites.

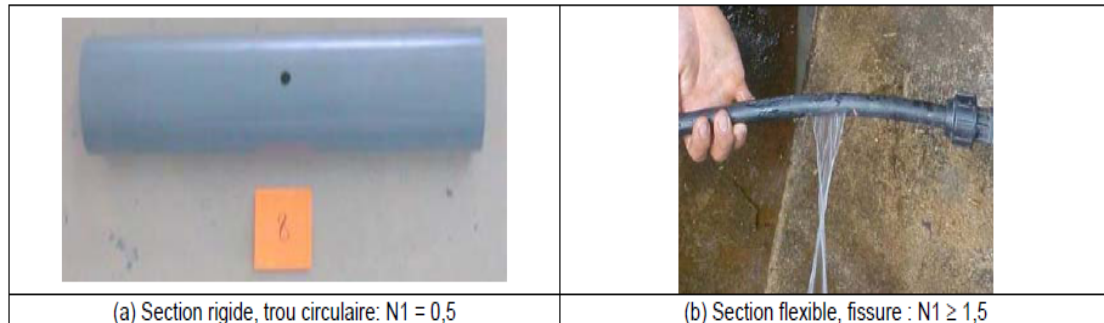


Figure V.20 : influence du type de matériau et de la section de fuite sur la valeur de N_1

Pour calculer N_1 , il est possible :

- soit de réaliser des mesures de pression et de débit au point moyen et au point critique (Les retours d'expérience internationaux montrent une variation de N_1 comprise entre 0,36 et 2,95 suivant les réseaux expérimentés).
- soit d'utiliser un logiciel permettant de l'estimer.

Pour calculer le débit de fuite directement à l'aide cette formule vu que le seul inconnu est la pression au point moyen qu'on peut obtenir à l'aide de notre modèle, sauf que cette méthode n'est pas vraiment précise car le coefficient de FAVAD est différent pour chaque nœud.

L'équation de FAVAD devient :

$$Q_{fuita\text{va}} = Q_{fuita\text{pr}} * \left[\frac{P_{a\text{pès}}}{P_{a\text{va}}} \right]^{N_1} \quad \dots (2)$$

Avec P_{avant} et $P_{\text{après}}$ représentent respectivement la pression au point moyen avant et après la modulation de pression.

Q_{avant} et $Q_{\text{après}}$: le débit de fuite avant et après réduction de la pression.

N_1 : coefficient de FAVAD, il est déterminé à partir des essais qui déjà faite, illustre l'impact du changement de la consigne de pression sur le débit de fuites

4.2 Identification du point moyen à l'aide du modèle EPANET

Le point moyen doit être un point représentatif du réseau ou la dénivelée est pondéré par la densité de population, on estime 2 points moyens.

Donc à l'aide de l'option de requête dans EPANET, il a été repéré deux nœuds dans le réseau présentant comme des points moyens.

- Point moyen (1) : nœud N°378
- Point moyen (2) : nœud N°345

4.3 Résultats des simulations avant et après modulation de pression :

4.3.1 Point moyen 1 :

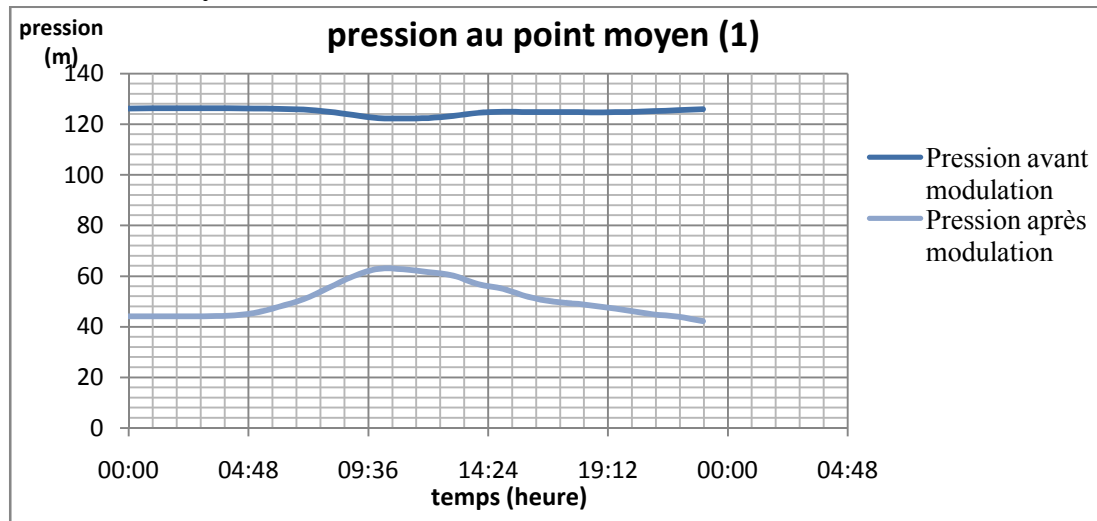


Figure V.21: variation de la pression au point moyen 1 avant et après modulation de pression.

4.3.2 Point moyen 2 :

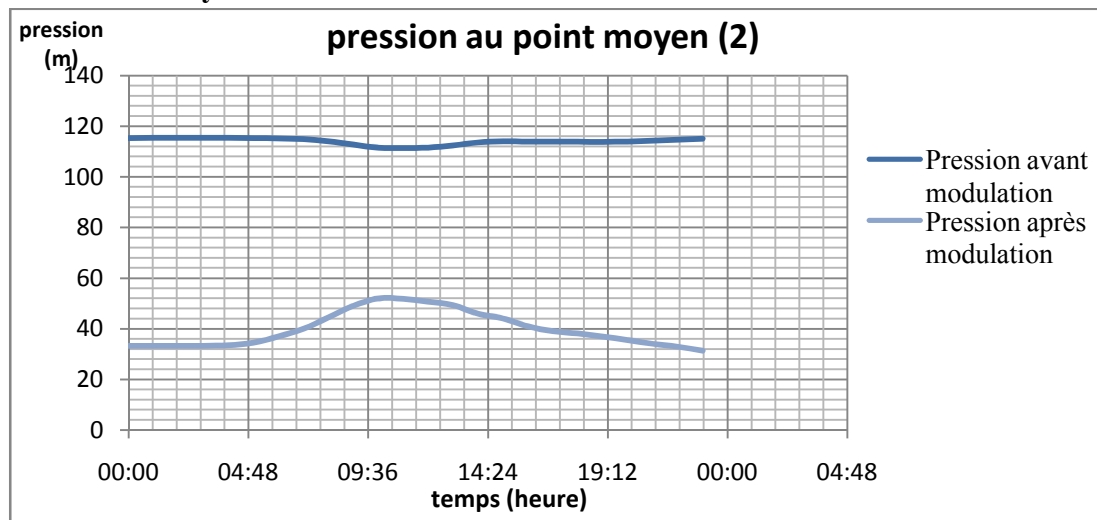


Figure V.22: variation de la pression au point moyen 2 avant et après modulation de pression.

Le tableau ci-dessous résume les pressions moyennes (points moyennes 1et2) simulé avant et après modulation de pression :

Tableau V.7: pressions moyennes (points moyennes 1et2) simulés avant et après modulation de pression.

Points moyens	Pression moyenne avant modulation (m)	Pression moyenne Après modulation (m)
Point_moyen1	124,90	50,63
Point_moyen2	114,03	39,76

Nous avons a travers ce tableau choisit un seul point moyen qui va représenter l'étage de distribution de Bologhine ; il s'agit du point moyen 1situé au milieu a la partie basse du réseau de cote 12.95 m.

4.4 Scénarios de la régulation de pression sur le débit de fuite :

Si la pression change durant la journée, le débit de fuites également. Il est faux de considérer que le débit de fuite journalier corresponde au débit de nuit multiplié par 24h.La figure V.23 illustre la variation du débit de fuites en fonction de la pression au point moyen pour un réseau gravitaire.

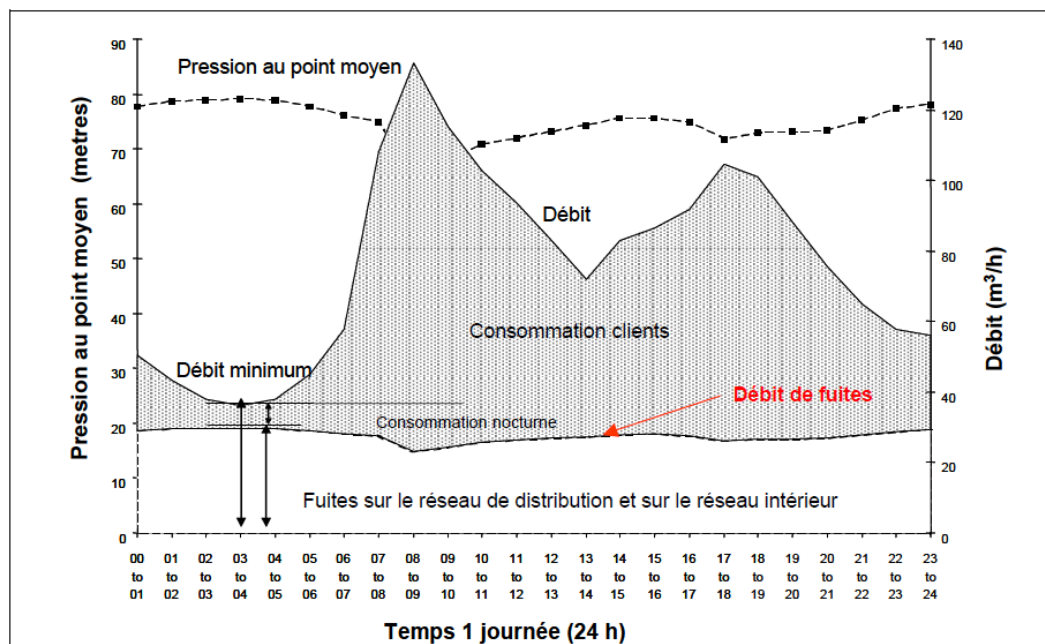


Figure V.23 : variation du débit de fuites en fonction de la pression au point moyen pour un réseau gravitaire.

L'équation de FAVAD est donnée par :

$$Q_{fuita\ v\ a} = Q_{fuita\ p\ r} * \left[\frac{P_{a\ p\ ès}}{P_{a\ v\ a}} \right]^{N_1} \dots (3)$$

Pour la nuit :

Le débit des fuites avant la modulation de pression est estimée de 90% de débit de nuit moyen. (D'après la SEAAL)

Le débit moyen de nuit avant la modulation de pression = 159,02m³/h.

Avec :

Q _{fuites avant} = 143.12 m ³ /h	débit de fuite avant modulation.
Q _{fuites avant} = 3434.9m ³ /j	débit de fuite avant modulation.
P _{avant} = 124.90 m.	Pression avant modulation au point moyen.
P _{après} = 50.63 m.	Pression après modulation au point moyen.
N ₁ = 0.75...	coefficient de FAVAD.

D'après FAVAD le débit de fuite simulé après modulation est d'environ :

$$Q_{fuita\ p\ ès} = 72.7\ m^3/h\ \text{soit}\ 1745.\ m^3/j$$

Nous remarquons a l'issu de cette résultat que les pertes physiques simulé avant et après modulation de pression ne sont pas identique; le débit des fuites avant modulation est presque le double qu'après.

Nous pouvons donc affirmé la fiabilité de notre modèle ainsi que l'impact de la modulation de pression sur le débit des fuites (pertes physiques).

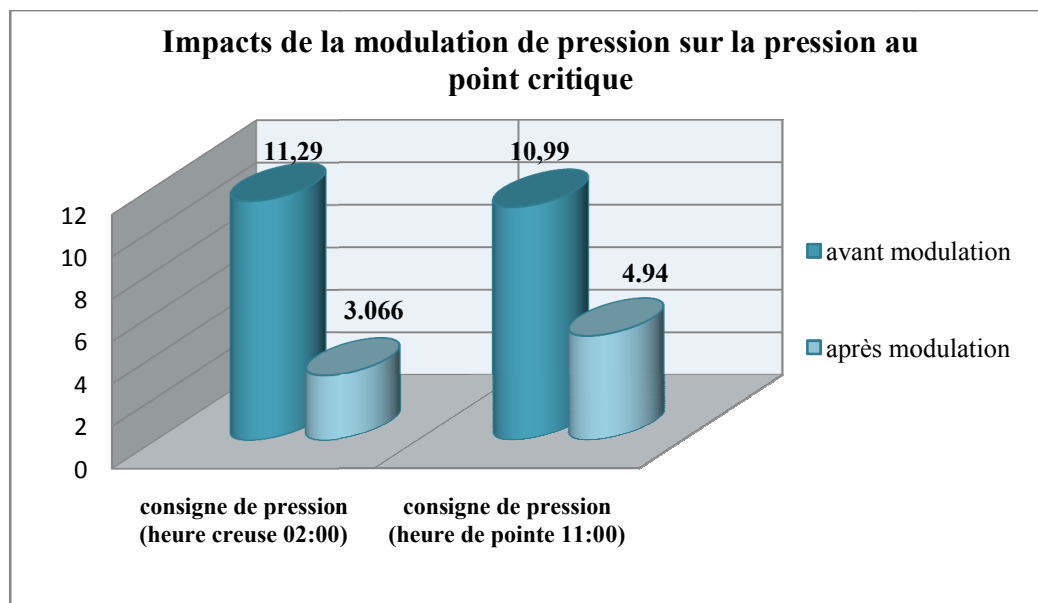
5. IMPACT DE LA MODULATION DE PRESSION A L'ETAGE DE DISTRIBUTION BOLOGHINE :

Le tableau ci-dessous représente les gains en pressions et en volumes obtenue à l'aide des simulations effectuer par le logiciel *EPANET*.

Tableau V.8: impacts simulés de la modulation de pression à l'étage de distribution Bologhine.

	Avant modulation		Après modulation		Différence	
	Heures creuse 02 :00	Heure de pointe 11 :00	Heures creuse 02 :00	Heure de pointe 11 :00	Heures creuse 02 :00	Heure de pointe 11 :00
Pression au point_stab(1) Bologhine (bar)	11.23	11.16	2.98	4.87	8.25 - 73.46%	6.29 - 56.36%
Pression au point_critique (bars)	11.29	10.99	3.066	4.94	8.224 - 72.84%	6.05 - 56.75%
Pression au Point_moyen (bars)	12.62	12.2	4.4	6.3	8.22 - 65.13%	5.9 - 48.36%
Volume mis en distribution (m ³ /j)	6734,92		6805,34		71	
Pertes physique (débit de fuites) (m ³ /j)	3435		1745		1690 - 49.20%	

Par conséquent le bilan générale des impacts de la modulation de pression sur ; le volume mis en distribution, les pertes et la pression au point critique sont illustrées dans les figures ci-dessous :

**Figure V.24:** Impacts de la modulation de pression sur la pression au Point critique

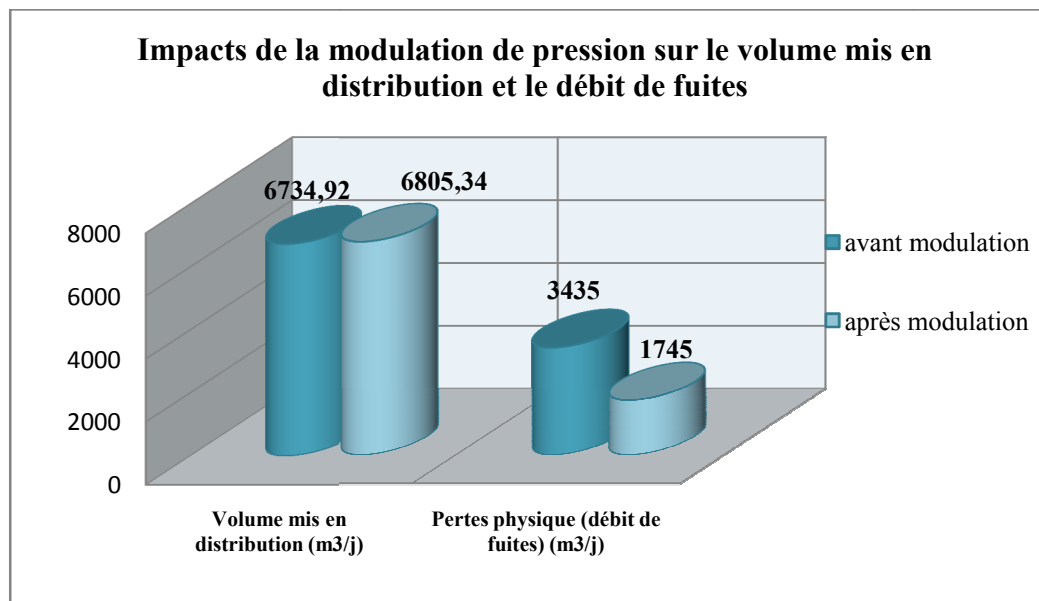


Figure V.25: Impacts de la modulation de pression sur le volume mis-en Distribution et le débit de fuites.

6. CONCLUSION

Nous avons pu remarquer a travers les résultats des simulations obtenus dans ce chapitre, qu'une baisse de pression de **72%** en heures creuses et de **56%** en heures de pointe a permis de réduire le débit de fuite de **49%** .

Nous pouvons alors affirmer la fiabilité de notre modèle et l'importante de la gestion de pression (modulation) qui apporter des bénéfices significatifs :

- sur la réduction des pertes en eau (économie d'eau),
- sur la durée de vie des réseaux (réduction du stress, de la fatigue du réseau lié aux variations jour/nuit) et cela quelques soient les matériaux utilisés,
- pour le confort de l'abonné (niveau de pression adapté, même aux points critiques).
- L'alimentation continue en (H24)

Le problème des faibles vitesses que nous avons identifié constitue - si le modèle est bien représentatif- un point noir pour le réseau que nous avons modélisé et pour tout le réseau d'Alger. Pour évaluer l'impact de ces vitesses, une modélisation ou une simulation accompagnée par des suivis expérimentaux de la qualité de l'eau est à prévoir. Ce problème peut être partiellement éliminé en élargissant les zones de modulation.

Conclusion générale

Durant le stage que nous avons effectué au sein de la société SEAAL d'une durée de trois mois. Nous avons acquis de nouvelles connaissances intéressantes et utiles pour un futur ingénieur. En effet, nous avons travaillé et discuté avec plusieurs experts Algériens et étrangers. Nous avons aussi découvert quelles sont les missions d'un ingénieur dans une entreprise opérationnelle comme la SEAAL.

La modulation de pression était l'unique solution pour le passage en une alimentation continue au cœur d'Alger. Les impacts constatés après cette réduction de pression, dans les différents étages de distribution modulés d'Alger sont très positifs, sur le taux de casse des conduites, le nombre et la fréquence d'apparition des fuites ainsi que sur l'importante réduction du volume des pertes physiques.

Pour mener à bien notre projet, et pour pouvoir élaborer le modèle hydraulique de l'étage de distribution de Bologhine, il était nécessaire de bien comprendre les principes de base de la modulation de pression, et surtout de bien maîtriser le logiciel *EPANET*. Il a fallu aussi passer par la collecte des données disponibles sur le logiciel *PICCOLO*, nécessaire à l'élaboration de ce modèle, puis à l'étape du calage qui n'était pas évidente en vue de l'indisponibilité considérable de données.

Le retour sur investissement de la modulation de pression selon la demande est généralement rapide, de l'ordre de 1 à 3 ans si l'on prend en compte les économies d'eau réalisées et la réduction des coûts de détection et réparation de fuites, et cela malgré l'impact sur les ventes d'eau. Le retour d'expérience en France montre qu'une diminution de pression d'environ 20% au point moyen entraîne une baisse de 15% environ des volumes mis en distribution ainsi qu'une réduction de plus de 25% des débits de nuit.

Sur le long-terme, la durée de vie des réseaux est prolongée ; les investissements liés au renouvellement peuvent être décalés de l'ordre de 5 à 10 ans.

Notre projet nécessite de projeter cinq (05) vannes de réduction de la pression, trois vannes de modulation et deux vannes de régulation.

Dès lors que ces 3 effets sont pris en compte (économie d'eau, réduction du nombre d'interventions et renouvellement différé), la mise en place de système de modulation de pression se trouve aisément justifiée.

Enfin, la modulation de la pression est une politique efficace de réduction des pertes serait donc de :

- Mettre en place un système de modulation de la pression selon la demande ;
- Mesurer périodiquement les débits de nuit par secteur étanche localisé ;
- Suivre et Entretien les appareils de modulation de pression.

ANNEXE(1)

Equipement CLA-VAL, vanne de régulation



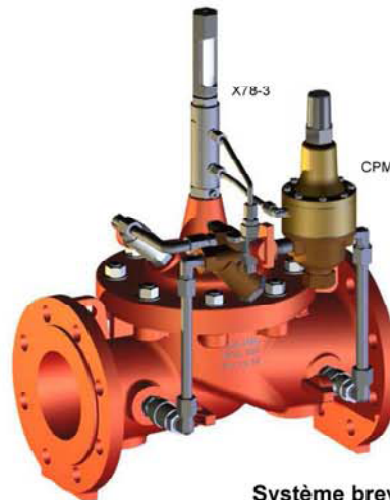
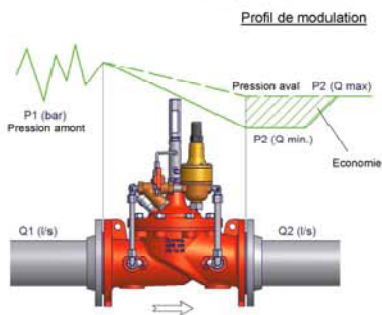
CLA-VAL 98-03

Vanne de modulation de pression
Modulateur hydraulique progressif

► La Référence en Régulation

- Amélioration du rendement
- Réduction des fuites et ruptures
- Extension de la durée de vie des infrastructures
- Garantie CLA-VAL

► CLA-VAL 98-03 Fonction principale



Système breveté

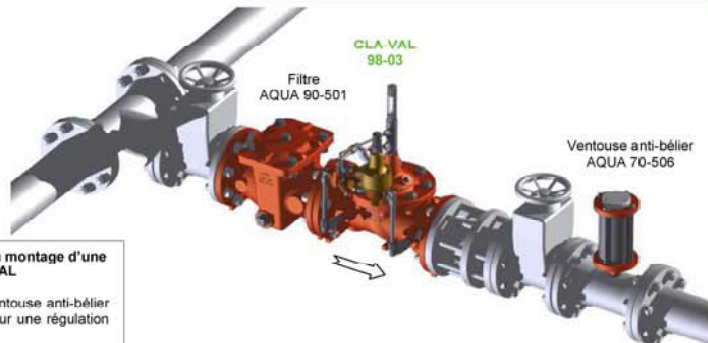
La SERIE CLA-VAL 98 réduit une pression amont variable en pressions aval inférieures, modulées en fonction du débit de consommation. La modulation de pression a pour conséquence l'amélioration du rendement de réseau.

► CLA-VAL 98-03 Application typique

Le modèle CLA-VAL 98-03 est utilisé pour moduler la pression de distribution d'un réseau en ajustant la pression aval aux différentes périodes de forte consommation (augmentation de la pression) ou de faible consommation (la nuit, diminution de la pression). L'ajustement de la pression aval est fonction de la variation de la demande du système. La commutation par débit garantit une totale sécurité en cas d'incendie ou toute autre augmentation rapide de la demande dans le secteur modulé.

Avez-vous pensé à tout?

- L'option LFS? Accélérer l'ouverture à faible débit
 - L'option ACS/KO? Protéger d'une cavitation destructrice
 - L'option KG1? Eviter le blocage de l'axe par incrustation
 - La maintenance? Etendre la durée de vie du produit
 - L'environnement? Adapter aux risques gel & température
 - La sécurité? Ajouter des protections hydrauliques
 - La protection? Maîtriser les surpressions du système
 - La corrosion? Utiliser des matériaux mieux adaptés
- Les bonnes questions pour le bon produit - Contactez CLA-VAL!



Ensemble type recommandé pour le bon montage d'une vanne de régulation CLA-VAL

Un Filtre AQUA 90-501 combiné à une Ventouse anti-bélier AQUA 70-506 sont des produits usuels pour une régulation optimale de la vanne CLA-VAL.

► CLA-VAL Europe

www.cla-val.ch

cla-val@cla-val.ch

1 - 098003DF

B -/-

© Copyright CLA-VAL Europe - Modifications sans préavis - Illustrations non contractuelles.

Equipement BAYARD-Tyco, vanne de régulation

VANNE DE REGULATION "HYDROSTAB AVAL"
DN 50 à 1000 - Série K1 10



Vanne de régulation permettant la réduction et la stabilisation de la pression aval.



Descriptif

- Généralités sur le fonctionnement de la vanne Hydrobloc, voir fiche Série K.
- Gamme étendue présentant deux constructions différentes :
 - Modèle XG :
 - Grande capacité de débit,
 - Faibles pertes de charge,
 - Etanchéité à débit nul.
 - Modèle LG :
 - Particulièrement adapté à la réduction de pression,
 - Excellente résistance à la cavitation,
 - Etanchéité à débit nul.
- Conception :
 - Double guidage autolubrifié de l'équipage mobile,
 - Corps et chapeau en fonte ductile revêtue époxy poudre,
 - Siège inox en standard jusqu'au DN 400 XG et 600 LG,
 - Boulonnerie inox,
 - Tube et raccords du circuit pilote inox,
 - Filtre du circuit pilote avec tamis inox,
 - Emballage individuel.
- Facilité de mise en œuvre et d'entretien :
 - Indicateur de position avec purge manuelle en standard,
 - Livré avec robinet(s) porte-manomètre,
 - Equipé en standard d'un ralentisseur d'ouverture (RO) (uniquement DN 50 XG à 300 XG et DN 150 LG à 400 LG),
 - Robinet d'isolement de chambre indépendant du réglage de la vitesse de manœuvre,
 - Maintenance sans démontage de la conduite,
 - Démontage par le dessus,
 - Bouchon de vidange (inox).
- Conforme à la norme EN 1074-5.

Fonctions

- Réduire et stabiliser la pression d'un réseau (pression aval) à partir d'une conduite à pression plus élevée (pression amont) quelles que soient les variations de la pression amont et du débit demandé.
- Fermer et remettre en régulation par commande manuelle.

Applications

- Régulation de réseaux étagés.
- Alimentation d'un réseau bas service par un réseau haut service.
- Protection contre les pressions excessives.
- Diminution des fuites par contrôle de la pression de distribution, etc.

Tests

- Fabrication entièrement testée suivant norme ISO 5208-2.

Caractéristiques

- Gamme :
 - DN 50 à 600 pour modèle XG,
 - DN 150 à 700 pour modèle LG,
 - DN 800 à 1000 modèle XG et LG, nous consulter.
- PFA 25.
- Température d'utilisation : + 1 °C à + 65°C.
- Etanchéité : catégorie A suivant norme ISO 5208-2.
- Dimensions face-à-face suivant normes NF EN 558-1 série 1 (sauf DN 1000) et ISO 5752 série 1 (sauf DN 1000).
- Perçage des brides de raccordement suivant normes EN 1092-2 et ISO 7005-2 ISO PN 10, 16 ou 25 pour DN 50 à 1000 (autres perçages, nous consulter).
- Fluide : eau potable ou eau brute dégrillée à 2 mm.
- Réglage : 1 à 20 bar en standard.



Caractéristiques et performances peuvent être modifiées sans préavis en fonction de l'évolution technique.

PPHT05-10-143-FR

ANNEXE(2)

Exploitation et maintenance des vannes de Régulation de pression

La dernière étape du projet consiste à :

- Prévoir une formation du personnel à l'entretien des vannes.
Ce type de prestation est généralement proposé par le fabricant de vannes. Ce point peut être négocié directement lors de la commande des vannes de modulation.
- Définir une méthodologie pour assurer la maintenance des installations et le contrôle du bon fonctionnement du système.

Par exemple, des coups de béliers sur des vannes de modulation mal calibrées dégraderont le réseau plus rapidement que si aucune installation n'avait été faite.

Une méthode de contrôle devra être créée et mise en place afin de s'assurer de l'étanchéité des zones modulées.

Le contrôle du capteur de pression est nécessaire lorsqu'il s'agit de système électronique (type Modulo). Si le système est mécanique (assez rare), une vérification n'est plus nécessaire.

Il est recommandé de vérifier annuellement le débit de nuit aux mêmes points de mesure que ceux qui ont servi de référence.

Une dérive du débit de nuit correspondra à l'apparition de nouvelles fuites sur la zone. Le suivi de cette mesure permettra d'éviter de détecter trop tardivement l'apparition de fuites invisibles et d'estimer l'impact de la modulation de pression sur la fréquence d'apparition des nouvelles fuites.

Le tableau 9 résume les points de vérification à suivre et la fréquence des contrôles recommandée.

Actions	Fréquence
Vérification de l'étanchéité des vannes de frontières (fermeture)	Tous les 6 mois
Vérification de l'étalonnage du capteur de pression donnant les consignes aux vannes de modulation	Tous les 6 mois
Entretien et maintenance des vannes de modulation	Selon consigne fournisseur
Vérification du débit de nuit	Une fois par an minimum

ANNEXE(3)

Extrait des données du projet

Extrait de débit de sortie :

Date		DN 600mm	DN 300mm	débit de sortie
25/03/2011	heure	débit (m3/h)	débit (m3/h)	débit totale (m3/h)
25/03/2011	00:00	192,93	83,21	276,14
25/03/2011	01:00	178,45	76,72	255,17
25/03/2011	02:00	171,13	75,41	246,54
25/03/2011	03:00	169,82	75,54	245,35
25/03/2011	04:00	173,74	77,15	250,89
25/03/2011	05:00	193,61	83,55	277,16
25/03/2011	06:00	205,72	87,09	292,81
25/03/2011	07:00	253,11	103,27	356,38
25/03/2011	08:00	347,99	128,85	476,83
25/03/2011	09:00	464,96	155,76	620,71
25/03/2011	10:00	559,87	179,12	739,00
25/03/2011	11:00	553,05	191,72	744,77
25/03/2011	12:00	548,06	185,25	733,32
25/03/2011	13:00	488,94	165,00	653,94
25/03/2011	14:00	395,17	137,84	533,01
25/03/2011	15:00	356,02	124,84	480,86
25/03/2011	16:00	364,74	127,04	491,78
25/03/2011	17:00	359,69	127,23	486,93
25/03/2011	18:00	363,40	132,01	495,41
25/03/2011	19:00	374,28	133,49	507,77
25/03/2011	20:00	357,74	129,21	486,95
25/03/2011	21:00	322,60	123,18	445,79
25/03/2011	22:00	278,69	108,36	387,05
25/03/2011	23:00	225,67	95,68	321,35

Extrait de pression :

heurs	Pressions des enregistreurs positionnées aux différentes stations (m) le 25/03/2011						
	stati on 606	stati on 607	stati on 608	stati on 609	stati on 610	stati on 613	stati on 614
00:00	102,64	121,92	116,00	112,00	87,33	106,42	113,67
01:00	102,92	122,00	116,67	112,00	87,42	106,92	114,58
02:00	103,00	122,00	116,83	112,00	87,46	107,00	114,83
03:00	103,00	122,00	116,92	112,00	87,46	107,00	114,92
04:00	102,92	122,00	117,00	112,00	87,42	107,00	114,83
05:00	102,75	122,00	115,92	112,00	86,29	106,08	113,83
06:00	102,50	121,75	115,83	112,00	84,92	105,92	113,75
07:00	101,92	120,83	114,67	112,00	87,13	104,67	112,08
08:00	100,17	119,08	110,92	111,83	81,33	101,33	107,42
09:00	97,83	117,00	104,58	112,00	85,38	95,67	98,17
10:00	95,08	114,00	98,25	104,54	78,29	88,58	87,17
11:00	95,17	113,92	95,83	110,79	81,13	86,75	85,17
12:00	95,25	114,17	98,42	109,08	79,71	88,67	88,17
13:00	96,50	115,83	98,58	110,04	84,17	90,58	91,17
14:00	98,42	117,92	107,42	111,58	85,38	97,33	100,58
15:00	99,83	119,00	110,50	110,96	86,25	100,50	105,17
16:00	99,25	118,75	109,50	112,00	86,21	99,92	104,50
17:00	99,92	119,00	109,75	112,00	86,38	100,08	105,08
18:00	99,58	118,67	109,83	112,00	86,17	100,08	105,08
19:00	99,50	118,67	109,42	112,00	86,04	99,33	103,83
20:00	99,75	119,25	110,00	111,58	86,00	100,25	105,42
21:00	100,50	119,58	112,00	112,00	86,25	101,50	107,00
22:00	101,25	120,08	113,92	112,00	86,58	103,67	110,00
23:00	102,00	121,17	115,42	112,00	87,08	105,08	112,42

ANNEXE(4)

La journée de validation choisie est de 26 Mars 2011.

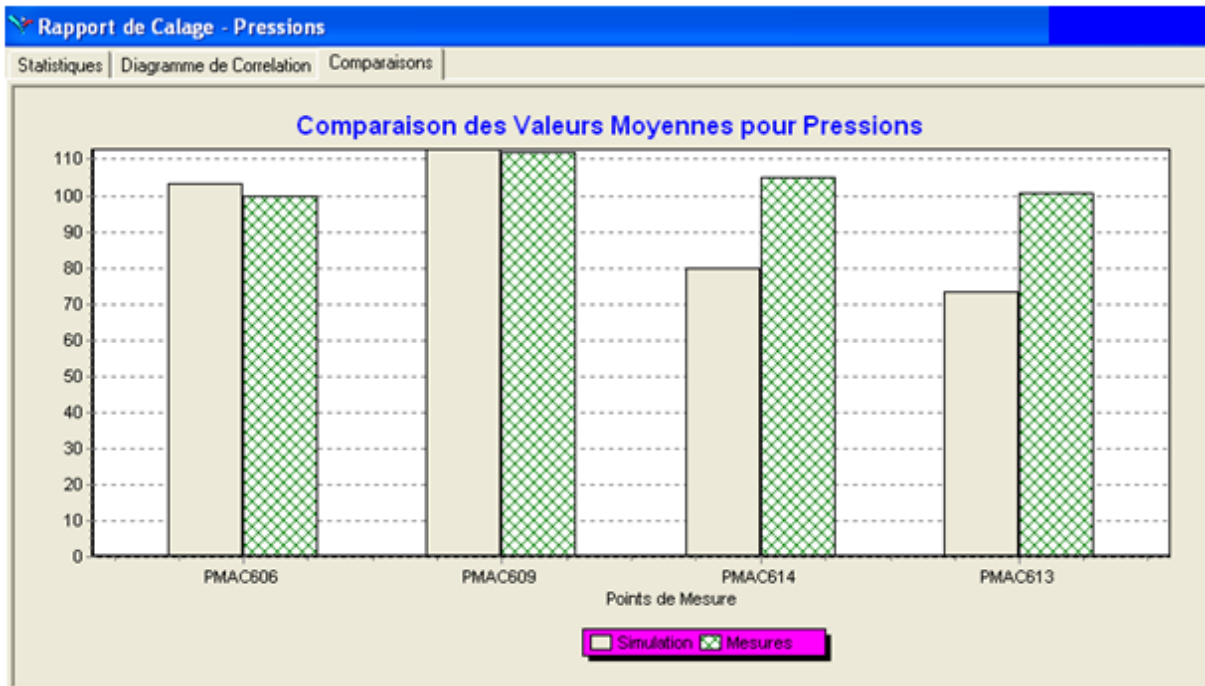


Figure : comparaison de la valeur moyenne pour les pressions.

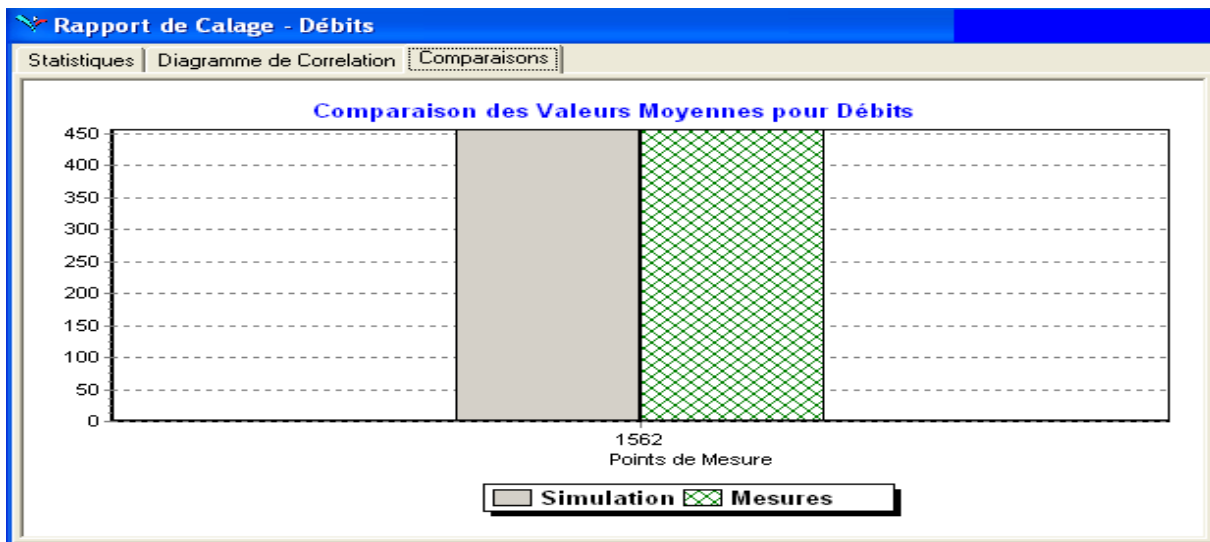
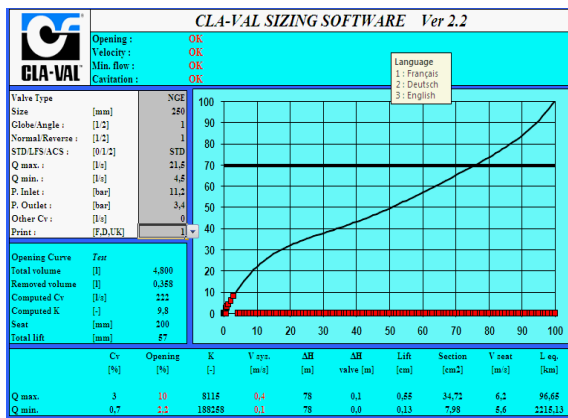


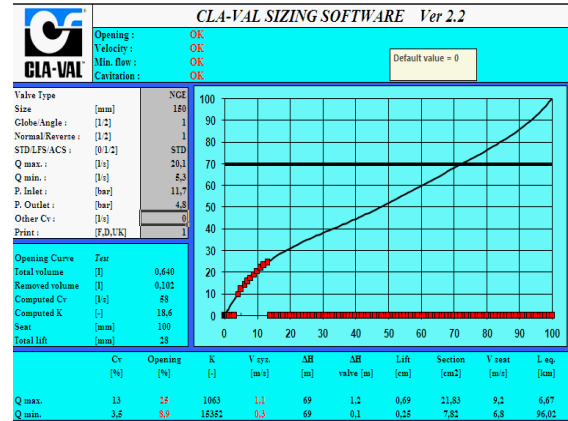
Figure : comparaison de la valeur moyenne pour le débit de distribution.

ANNEXE(5)

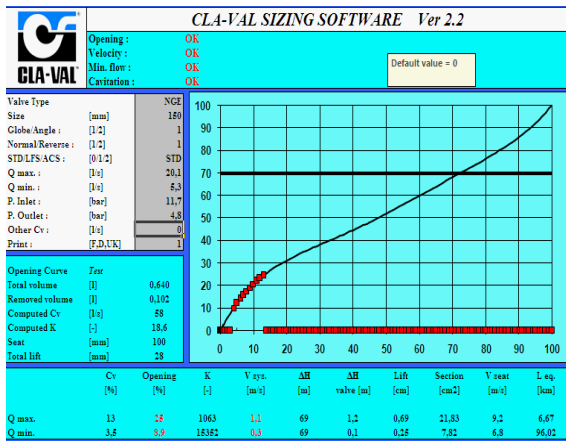
Dimensionnement des vannes :



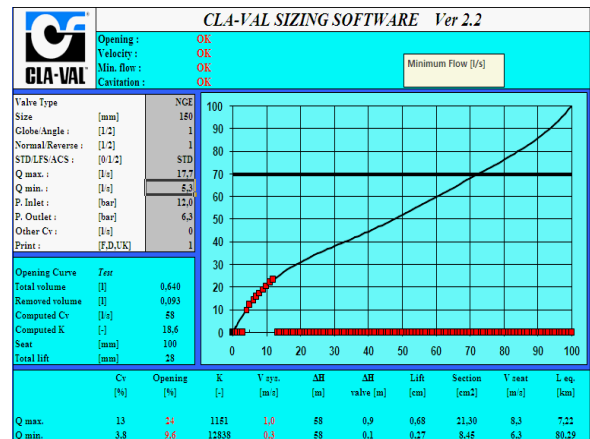
Vanne(1) =250mm



Vanne(2) =150mm



Vanne(3) =150mm



Vanne(4) =150mm

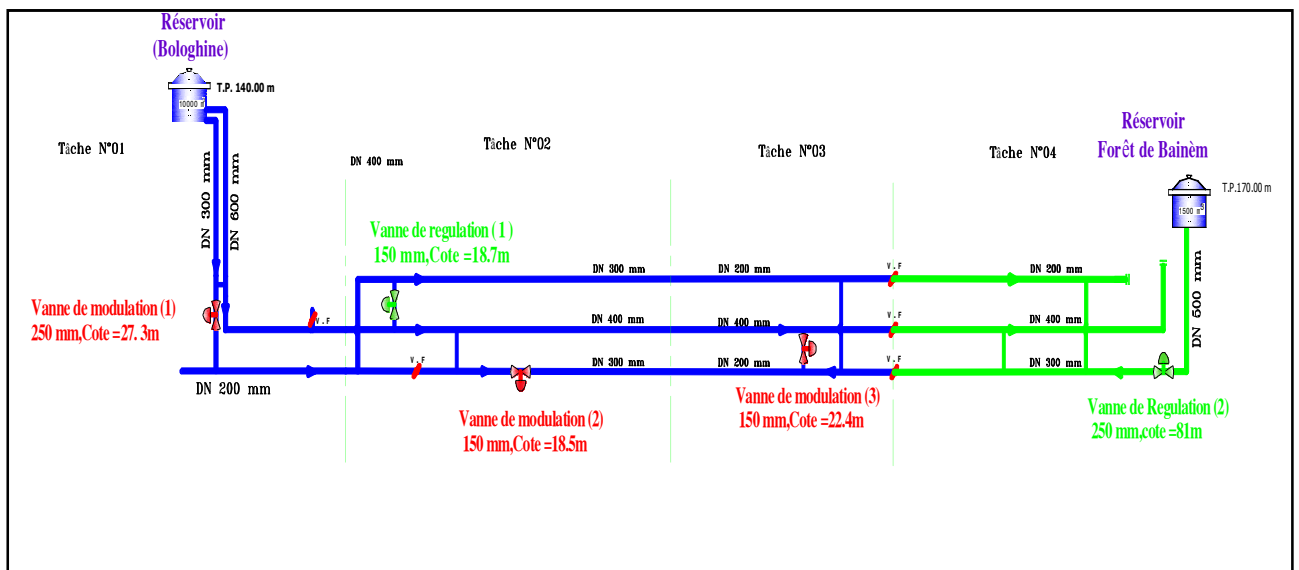


Schéma synoptique de projet de Régulation (Bologhine).

Bibliographie

A. NAFI, « la programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable », Mémoire de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 2006.

Dupont A, (1979). «Hydraulique Urbaine», Tome II «Ouvrage de transport-Elévation et distribution des eaux». Edition Eyrolles, 484p.

A.GUESMIA, «Modélisation d'un réseau de distribution d'eau potable en modulation de pression», Mémoire de fin d'études, Ecole National Polytechnique, EL HARRACH, ALGER
B.RAMAROJAONA, «Régulation de pression sur le Réseau d'eau potable de la communauté d'agglomération d'Evry centre Essonne. » Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement France, Octobre 2009.

S. GUILSOU, « modélisation sur le logiciel *EPANET* du réseau d'eau potable de la commune D'urrugne (064) », Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de L'Environnement de Strasbourg, 2007.

M. ROZENTAL, La modulation de Pression Intérêts, Bénéfices et Mise en œuvre, Centre Technique Distribution suiez-environnement 38 rue du président Wilson 78230 Le Pecq France, date : 14 Janvier 2010.

Général Water Saving, « Réduire l'eau non contrôlée », Document technique de la SEAAL.

Document technique de la SEAAL, Société des Eaux et d'Assainissement d'Alger

Manuel de la Gestion de la pression BAYARD ,2011.

Manuel de l'utilisateur d'*EPANET*, 2003.

Manuel de maintenance CLAVAL 92-01.