

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Modulation de pression sur le réseau d'eau potable de La partie est de la commune de Tipaza et impact sur le Rendement.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0003-17

APA Citation (APA توثيق):

Ammour, Mohamed (2017). Modulation de pression sur le réseau d'eau potable de La partie est de la commune de Tipaza et impact sur le Rendement[Thèse de master, ENSH].

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Alimentation en Eau Potable

THEME :

Modulation de pression sur le réseau d'eau potable de la partie Est de la commune de Tipaza et impact sur le rendement

Présenté par :

M^r : AMMOUR Mohamed

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r SALAH Boualem	Professeur	Président
M ^{me} MOKRANE Wahiba	M.A.A	Examinatrice
M ^r HACHEMI Abdelkader	M.A.A	Examineur
M ^{me} TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} SALHI Chahrazed	M.A.B	Promotrice

Avril 2017

Remerciements

Au moment de terminer ce mémoire qui est le fruit d'une étude collaborative entre plusieurs personnes et directions, j'aimerais exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidé.

Avant tout, nous remercions le bon Dieu qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de force, de sagesse, et de bonne volonté pour achever ce modeste travail et ce cursus universitaire.

*Ces quelques lignes ne vont jamais exprimer à la juste valeur ma reconnaissance à l'égard de ma promotrice **M^{me} C. SALHI**, pour l'aide qu'elle m'a offert durant la période de réalisation de ce travail et encore plus sa confiance et ses encouragements.*

Merci madame pour le temps que vous m'avez consacré, les conseils que vous m'avez prodigués, les vertus que vous m'avez inculquées.

*J'adresse mes sincères remerciements à **tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes** qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et répondre à mes questions.*

*Je tiens à remercier **le président et les membres du jury** qui me font l'honneur de juger mon travail.*

*Je remercie **mes très chers parents**, qui ont toujours été là pour moi, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier »*

*Un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail sans oublier toute la promotion **2015/2016**.*

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail spécialement à celle qui m'a donné la vie, à la plus chère personne au monde qui m'a Apporté beaucoup d'affection, fait des sacrifices et veillé à mon chevet Jusqu'à extinction de la lumière, qui a assuré mon éducation et m'a encouragé à continuer mes études pour me voir ainsi arriver à ce que je suis aujourd'hui. Et qui a consacré la majeure partie de son temps à m'apporter aide et soutien sur toute la durée de mes études, **merci ma très chère mère.***

*Mon chère père son soutient indéfectible durant tout mon cursus, qu'il soit moral ou matériel, et qui me fait bénéficier de toute son expérience, **merci mon chère père.***

A mes frères et sœurs.

*Je le dédie également et mes vifs remerciements à ma promotrice
M^{me} C.SALHI*

A toute ma grande famille : mes tantes, mes oncles, mes chers cousins et cousines.

Je dédie également ce travail à tous la promotion 2015/2016 sans exception

Tous les enseignants de l'EPST et l'ENSH qui m'ont accompagné durant mes études

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de mon mémoire...

AMMOUR
AVRIL 2017

ملخص:

سنوات عديدة ، عانت مدينة تيبازة من نقص كبير في مياه الشرب لمسيري هذا مهمة
تحسين خدمة توزيع مياه التزويد (24/ 24). تتميز توزيع لهذه المدينة بها
فترات الليل في خسائر كبيرة للمياه.
استراتيجي المقترح هو تعديل الضغط. تتمحور مهمتنا في تنميط سلوك خسائر المادية لمياه
توزيع لمدينة تيبازة من اجل التنبؤ بالاثار و السيناريوهات
() -EPANET-
تعديل الضغط.

كلمات مفاتيح: شبكة التوزيع ، تنميط، خسائر المياه المادية تعديل الضغط

Résumé :

Durant de nombreuses années, la vile de Tipaza avait souffert d'un manque d'eau considerable. Les gestionnaires de l'eau avaient pour objectif d'améliorer le service d'alimentation en eau potable et de passer en alimentation continue (H24/24). Le réseau de Tipaza étant très vétuste, une alimentation continue avec des pressions excessives en périodes de nuit provoquerait sans aucun doute des pertes d'eau considerables. La solution stratégique envisagée est la modulation de pression. Notre travail consiste donc à modéliser les comportements des pertes physiques à l'aide du logiciel *EPANET*, sur l'un des étages de distribution modulé de la ville de Tipaza, dans le but de prévoir les impacts et les scénarios possibles de cette modulation de pression.

Mots clés : Réseau de distribution, Modélisation, Pertes physiques, Modulation de pression, *EPANET*.

Abstract:

For many years, the town of Tipaza had suffered from lack of water. Managers of water worked to improve the service of water to pass in continuous feed (H24/24). The network of Tipaza being very decayed, a continuous feed with excessive pressures in night undoubtedly provokes considerable water losses. The strategic solution considered is the pressure modulation. Our work thus consists in modeling the behaviors of the physical losses using software *EPANET*, on one of the stages of distribution modulated of Tipaza, in order to predict impacts and scenarios of the pressure modulation.

Key words: Distribution Network, Modeling, Physical Losses, Pressure Modulation, *EPANET*.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction.....	1
I.2. Adduction et distribution des eaux	1
I.2.1. Cheminement de l'eau (du captage à la distribution).....	2
I.3. Objectifs d'un réseau d'eau potable	3
I.3.1. Qualité	3
I.3.2. Quantité	3
I.3.3. Continuité de service	3
I.3.4. Pression	3
I.4. Les Eaux Non Facturées et Eaux Non Comptabilisées(E.N.F) Et (E.N.C).....	3
I.4.1. Eaux Non Facturées E.N.F	3
I.4.2. Eaux Non Comptabilisées E.N.C	3
I.5. Période de calcul	4
I.6. Rendement du réseau de distribution d'eau potable	4
I.6.1. La notion du rendement	4
I.6.2. Paramètres agissant sur le rendement	4
I.6.3. Pertes en eau dans un réseau de distribution	4
I.6.4. Définition et types de pertes en eau	5
I.7. Indicateurs de pertes	5
I.7.1. Rendement(%).....	5
I.7.2. Quantité (m ³)	6
I.7.3. Indice linéaire de perte I.L.P (m ³ /km/jour)	6
I.8. Actions stratégiques pour la réduction des pertes physiques dans un réseau de distribution.....	6
I.8.1. <u>Action 1</u> . Rapidité et la qualité des réparations.....	6
I.8.2. <u>Action 2</u> : Recherche active des fuites	6
I.8.3. <u>Action 3</u> : Gestion du patrimoine	6
I.8.4. <u>Action 4</u> : Gestion de la pression	6
I.9. La gestion de pression.....	8
I.9.1. Intérêts de la modulation de pression	8
I.9.2. Qu'est-ce que la modulation de pression ?	8
I.9.3. Différents types de modulation de pression	9
I.9.4. Pourquoi réguler la pression ?	9
I.9.5. Où réguler la pression ?	10
I.9.6. Impact sur la pression et respect du confort de l'abonné	11
I.9.7. Des avantages à court-terme et long-terme	11
I.10. Etude de faisabilité	12
I.10.1. Identification et dessin des zones à réguler	12
I.10.2. Etude hydraulique	12

I.10.3. Mise en service de la modulation de pression	14
I.11. Actions après modulation de pression	14
I.12. Les études similaires.....	14
I.13. Conclusion.....	19

Chapitre II : Caractéristiques de l'étage de distribution-Tipaza Est (T3)

II.1. Introduction	20
II.2. Présentation générale de la ville de Tipaza Est T3	20
II.2.1. Situation géographique	20
II.2.2. Les données naturelles du site	20
II.3. Pourquoi a-t-on choisi la modulation de pression à Tipaza Est	22
II.4. Objectifs de la modulation de pression à Tipaza Est	23
II.5. Présentation et caractéristiques du réservoir de stockage	23
II.5.1. Les ouvrages de stockage de l'étage de Tipaza Est (T3)	23
II.5.2. Distribution	24
II.5.3. Chambre de vannes	24
II.6. Présentation et caractéristiques de l'étage de distribution	24
II.7. Calcul des Eaux Non Facturées E.N.F de l'étage de distribution	24
II.7.1. Situation après modulation de la pression	25
II.7.2. Situation avant modulation de pression	29
II.7.3. Interprétation des résultats obtenus	31
II.8. Conclusion	33

Chapitre III : Modélisation des comportements des pertes physiques sous –EPANET-

III.1. Introduction.....	34
III.2. Modélisation hydraulique d'un réseau d'A.E.P	34
III.2.1. Modèle pour le dimensionnement d'un réseau	34
III.2.2. Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic	34
III.2.3. Modèle pour la gestion d'un réseau	34
III.2.4. Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau	35
III.2.5. Modélisation dans le logiciel <i>EPANET</i>	35
III.3. Déroulement des essais effectués pour la modélisation de l'étage de Tipaza Est	37
III.3.1. Présentation de la zone d'essai	38
III.3.2. Mesure du débit minimum de nuit (Minimum Night Flow)	38
III.3.3. Interprétations des résultats obtenus	39
III.4. Modélisation des effets de la variation de la pression sur le débit de fuite en utilisant le concept de FAVAD	42
III.4.1. Concept de FAVAD	42
III.4.2. Mesure de l'exposant de l'émetteur N_1	43
III.5. Elaboration du modèle sur l'étage T3	44
III.5.1. Rugosité des conduites	46
III.5.2. Réservoir	46
III.5.3. Demande aux nœuds	47

III.5.4. Vanne de modulation.....	49
III.5.5. Régulation dans <i>EPANET</i> (commandes)	50
III.6. Première simulation (état actuel ; après modulation de pression).....	52
III.7. Campagnes de mesure	54
III.8. Calage du modèle.....	54
III.8.1. Situation initiale	54
III.8.2. Calibrage et validation du modèle	57
III.8.3. bilan du calage du modèle.....	62
III.9. Conclusion.....	64

Chapitre IV : Simulations des scénarios de modulation de pression sur l'étage de distribution -Tipaza Est T3-

IV.1. Introduction	65
IV.2. Résultats des simulations de la réduction de pression	65
IV.2.1. Situation avant modulation de pression	65
IV.2.2. Situation après modulation de pression	67
IV.2.3. Scénarios de la modulation de pression	68
IV.3. Simulation des scénarios des pertes physique sous <i>EPANET</i>	69
IV.3.1. Utilisation du concept de <i>FAVAD</i>	70
IV.3.2. Indentification du point moyen à l'aide du modèle <i>EPANET</i>	70
IV.3.3. Résultats des simulations avant et après modulation de pression	71
IV.4. Scénarios de la modulation de pression sur le débit de fuite	73
IV.5. Comparaison des résultats calculés avec ceux simulés par <i>EPANET</i>	73
IV.6. Impacts de la modulation de pression à l'étage de distribution T3	74
IV.7. Conclusion	76

Conclusion générale

Liste des tableaux

Chapitre I : Étude bibliographique

Tableau I.1: différence entre la régulation et la modulation de pression.	8
Tableau I.2 : critères permettant l'identification des zones prioritaire à réguler	10
Tableau I.3 : retour sur investissement d'un projet de modulation de pression	14

Chapitre II : Caractéristiques de l'étage de distribution-Tipaza Est (T3)

Tableau II.1: températures moyenne mensuelles en °C	21
Tableau II.2 : Répartition du nombre de jours de pluie par an à Tipaza	22
Tableau II.3 : Répartition mensuelle moyenne interannuelle des précipitations	22
Tableau II.4 : variation annuelle de l'humidité	22
Tableau II .5: les caractéristiques de réservoir de Tipaza Est	24
Tableau II.6: Caractéristiques de bases des communes alimentées par T3	26
Tableau II.7 : Taux de branchement des communes à l'étage T3	26
Tableau II.8 : Volumes facturés de l'étage T3 après modulation de pression (1er trimestre 2014).....	26
Tableau II.9 : les gros consommateurs de nuit de l'étage de T3	28
Tableau II.10: Volumes facturés de l'étage T3 avant modulation de pression (1er trimestre 2013).....	30
Tableau II.11: Etude comparative du bilan avant et après modulation de pression.....	32

Chapitre III : Modélisation des comportements des pertes physiques sous –EPANET-

Tableau III.1 : Résultats des essais effectués dans la zone haute de Tipaza.....	43
Tableau III.2 : profil horaire de régulation de la vanne stabilisatrice aval T3.....	50
Tableau III.3 : Exemple de commande simple appliquer a notre modèle	51
Tableau III.4 : Statistique de calage pour le débit	55
Tableau III.5 : Statistique de calage pour pressions	56
Tableau III.6 : statistique de calage pour le débit après calibrage du modèle	58
Tableau III.7 : Statistiques de calage pour pressions après modifications	60
Tableau III.8 : Comparaison entre le point T3 et le point_415.....	61
Tableau III.9 : Comparaison entre le point_T3 et le point_416.....	61
Tableau III.10 : Comparaison entre le point_T3 et le point_critique	62
Tableau III.11: Statistiques de calage pour pressions (final).....	63

Chapitre IV : Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution -Tipaza Est T3-

Tableau IV.1 : Pressions moyennes simulés avant et après modulation de pression	72
Tableau IV.2 : Comparaison des résultats observés et simulés	73
Tableau IV.3 : Impacts simulés de la modulation de pression à l'étage de distribution T3. ..	75
Tableau IV.4 : Impacts de la modulation de pression sur le volume mis en distribution et le débit de fuites.....	76

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique

Figure I.1: Les processus de production et distribution de l'eau	1
Figure I.2: Diagramme d'économie d'eau	7
Figure I.3: Diagramme de réduire le volume des fuites/la pression.....	7
Figure I.4: Diagramme de réduire le volume.....	7
Figure I.5: bénéfices de la réduction de pression	9
Figure I.6: Etats du réseau avant réduction de pression	9
Figure I.7: variation de la pression en fonction du temps	11
Figure I.8: variation du débit en fonction du temps	11
Figure I.9: Actions après modulation de pression	14

Chapitre II : Caractéristiques de l'étage de distribution-Tipaza Est (T3)

Figure II.1: plan de situation de la zone d'étude	20
Figure II.2: Objectifs de la modulation de pression à Tipaza Est	23
Figure II.3 : Débit de sortie de la vanne de modulation T3.....	25
Figure II.4 : Bilan de l'étage modulé de T3	27
Figures II.5 : Cercle des Eaux Disparus de l'étage T3 après modulation de pression	28
Figures II.6 : Débit mis en distribution avant et après modulation de pression dans l'étage T3.....	29
Figures II.7 : Système Consigne de pression avant et après modulation de pression dans l'étage T3.....	29
Figure II.8 : Bilan de l'étage de distribution T3 avant modulation de pression	31
Figure II.9 : Cercle des Eaux Disparus de l'étage de distribution T3 avant modulation de pression.....	31
Figure II.10: Bilan hydraulique de l'étage T3 avant et après modulation de pression.....	32

Chapitre III : Modélisation des comportements des pertes physiques sous –EPANET-

Figure III.1 : Options d'émetteurs dans le logiciel <i>EPANET</i>	36
Figure III.2 : Influence du type de matériaux et de la section de fuite sur la valeur de N_1	36
Figure III.3 : Consignes de pression du stabilisateur Oued Merzoug avant le début des essais.....	38
Figure III.4 : Profil journalier du débit de sortie du stabilisateur Oued Merzoug avant le début des essais.....	39
Figure III.5 : Pression au point critique rue Rabta Mohamed durant la première semaine d'essai.....	40
Figure III.6 : Débit de sortie du stabilisateur Oued Merzoug durant la première semaine d'essai.....	41

Figure III.7 : Profil du débit de sortie du stabilisateur Oued Merzoug durant la deuxième semaine d'essai.....	42
Figure III.8 : Variation du débit de fuites en fonction de la variation de la consigne de pression.....	44
Figure III.9: Modèle du réseau T3 élaboré par <i>SOGREAH</i> sous <i>PICCOLO</i>	45
Figure III.10: Modèle obtenu de l'étage T3 sous <i>EPANET</i>	45
Figure III.11: Modèle actualisé de l'étage de distribution T3 sous <i>EPANET</i>	46
Figure III.12 : Principe de la théorie du service en route.....	47
Figure III.13: Répartition de la consommation des abonnés sur les différents nœuds.....	47
Figure III.14 : Profil GC.....	49
Figure III.15: Profil ; DOM et DIF.....	49
Figure III.16: Vanne stabilisatrice aval dans <i>EPANET</i>	49
Figure III.17 : consignes de pression du stab_T3 injectées dans l'éditeur de commandes d' <i>EPANET</i>	51
Figure III.18: Situation actuelle (après modulation) aux heures creuses [00 :00].....	53
Figure III.19: Situation actuelle (après modulation) aux heures de pointes [12 :00].....	53
Figure III.20: Positionnement des points de mesure de pressions et de débits.....	54
Figure III.21: Débit mis en distribution simulé et observé.....	55
Figure III.22: Diagramme de corrélation pour le débit.....	55
Figure III.23: Pression pour nœud point_stabT3.....	56
Figure III.24: Pression pour nœud point_critique.....	56
Figure III.25: Pression pour le nœud_415.....	56
Figure III.26 : Pression pour le nœud_416.....	56
Figure III.27 : Diagramme de corrélation pour les pressions.....	56
Figure III.28: Profil de consommation ; original et modifié.....	57
Figure III.29: Nouvelle courbe de modulation.....	58
Figure III.30: Comparaison des débits simulé et observer après modification.....	58
Figure III.31: Diagramme de corrélation pour le débit après calage.....	58
Figure III.32: Comparaison entre les consignes de pression du modulo et les mesures de pression au point_stabT3.....	59
Figure III.33: Nouvelles consignes de pressions injectées dans l'éditeur de commande d' <i>EPANET</i>	60
Figure III.34: Pression pour nœud point_stabT3.....	60
Figure III.35: Pression pour nœud point.....	60
Figure III.36: Pression pour le nœud_415.....	60
Figure III.37: Pression pour le nœud_416.....	60
Figure III.38: Diagramme de corrélation pour pression après modifications.....	61
Figure III.39: Comparaison des valeurs moyenne pour le débit au point stab_T3.....	63
Figure III.40: Diagramme de corrélation pour pressions (final).....	63
Figure III.41: Comparaison des valeurs moyennes pour pressions au point_stabT3 et au point_critique.....	64

Chapitre IV : Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution -Tipaza Est T3-

Figure IV.1 : Comportement du réseau aux heures creuses [00 :00] avant modulation de pression	65
Figure IV.2 : Pressions supérieurs à 90 m aux heures creuses [02 :00] avant modulation de pression.....	66
Figure IV.3 : Figure V.3: Comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.....	66
Figure IV.4: Pressions supérieurs à 80 m à l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.....	66
Figure IV.5: Comportement du réseau à l'heure creuse [02 :00] après modulation de pression...	67
Figure IV.6: Pressions supérieurs à 60 m à l'heure creuse [02 :00] après modulation de pression.....	67
Figure IV.7 : Comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression	67
Figure IV.8: Pressions supérieurs à 80m à l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression	68
Figure IV.9: Variation de la pression a la sortie de la vanne de modulation T3 avant et après modulation.....	68
Figure IV.10: Variation de la pression au point critique avant et après réduction de pression.....	69
Figure IV.11: Emplacement des points moyen dans l'étage T3.....	70
Figure IV.12: Variation de la pression au point moyen1 avant et après modulation de pression...	71
Figure IV.13: Variation de la pression au point moyen 2 avant et après modulation de pression..	71
Figure IV.14: Variation de la pression au point moyen 3 avant et après modulation de pression..	71
Figure IV.15: Variation de la pression au point_stabT3, au point critique et au point moyen avant modulation de pression.....	72
Figure IV.16: Variation de la pression au point_stabT3, au point critique et au point moyen après modulation de pression.....	72
Figure IV.17: Pertes physiques ; observées et simulées avant et après modulation de pression....	74
Figure IV.18: Impacts de la modulation de pression sur le volume mis en distribution et le débit de fuites.....	75



Introduction générale

Introduction Générale

Ouvrir un robinet d'eau potable est aujourd'hui un geste simple et tout naturel pour la plupart des consommateurs, aussi bien en zones rurales qu'en agglomération, la disponibilité de cette élément vital, demande la mise en œuvre de moyens techniques et humains considérables, que se soit pour assurer une bonne alimentation ou bien pour préserver cette ressource des éventuelles pertes.

Les gestionnaires de l'eau avaient l'objectif d'améliorer le service d'alimentation en eau potable, et par conséquent rétablir une distribution de qualité et de quantité (24h/24 et 7j/7), mais dès le début de leur mission, ils ont été confronté à plusieurs problèmes, comme par exemple; la vétusté et la méconnaissance du réseau, les importantes dénivellées et le manque de mise à jour de données et de plans...etc.

En effet les réseaux historiques de Tipaza ont été peu rénovés et se sont fragilisés par ; l'intermittence de l'alimentation et les pressions excessives, ce qui a entraîné sur ces réseaux fragiles, une augmentation importante de la fréquence de casses et du débit de fuites, tant sur le réseau de la ville que dans les installations intérieures.

Les responsables de la distribution de Tipaza ont expérimentés l'effet négatif de l'excès de pression, quand ils ont tenté d'alimenter en permanence (en H24) certains quartiers du centre ville; cet excès de pression a eu comme conséquence l'alimentation des fuites pendant les heures de faibles consommations (heures creuses).

Il était donc nécessaire de penser à une stratégie, et de réduire la pression aux moments des faibles consommations, donc opter pour une modulation de pression sur les zones à difficultés, en créant des étages de distribution, et en installant des vannes de modulation de pression à l'entrée de ces étages.

L'intérêt donc de notre projet consiste à essayer d'élaborer le modèle hydraulique de l'étage de distribution de Tipaza Est T3 à l'aide du logiciel *EPANET*, dans le but de prévoir le comportement des pertes physiques (fuites), les impacts et les scénarios possibles avant et après la mise en service de la modulation de pression.

En premier lieu ; il était nécessaire de définir les différents paramètres nécessaires à cette étude telles que les types de pertes, leurs composantes principales, la modulation de pression, donner un aperçu sur les études antérieures ainsi qu'une présentation des différentes actions stratégiques à entreprendre vis-à-vis des pertes physiques

Le chapitre II a pour but de présenter l'étage de distribution de Tipaza Est T3, ses caractéristiques et le calcul des Eaux Non Facturées E.N.F, avant et après modulation de pression.

Le chapitre III consiste à modéliser le comportement des pertes physiques en procédant à une élaboration et un calage du modèle de l'étage de distribution T3 sous le logiciel

EPANET, à partir des essais et aux campagnes de mesures effectuées sur terrain.

Enfin le **chapitre IV** permettra de présenter les différents résultats des simulations et les interprétations des scénarios de modulation de pression sous *EPANET*, avant et après modulation, mais aussi de les comparer avec les résultats du calcul des Eaux Non Facturées obtenus au chapitre II.



Chapitre I

Étude bibliographique

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1.Introduction :

Depuis l'apparition du génie urbain et de l'alimentation en eau potable, le rendement et les pertes d'eau dans les réseaux de distribution ont toujours constitué un défi pour les gestionnaires des services publics. En effet la maîtrise de cette ressource en eau est un enjeu majeur, tant sur le plan qualitatif que quantitatif.

Ce chapitre consiste donc en premier lieu, à traiter les différents types de pertes, leurs composantes principales (pertes physiques et commerciales) et les différentes formules et logiques de calcul des Eaux Non Facturées (E.N.F) et des Eaux Non Comptabilisées (ENC.) et traitera par la suite les actions stratégiques pour la réduction de ses pertes physiques dans un réseau de distribution d'eau potable.

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 structural du réseau fragilisé, le niveau de pression et ses variations provoqueront une casse.

Pourtant, 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, qui se traduit par une réduction de leur durée de vie.

I. 2.Adduction et distribution des eaux : [O. HUNAIDI, 2000]

Avant de pouvoir traiter les problèmes de pertes des eaux dans les systèmes de distribution d'eau potable, il est impératif de définir les différents composants d'un tel système. Et ce car les pertes se produisent sur tout le cheminement de ces eaux, dès le captage jusqu'au robinet du consommateur.

Depuis son captage dans le milieu naturel jusqu'au robinet du consommateur, l'eau nécessite de nombreuses infrastructures pour son transport :

La figure I.1 montre les processus de production et distribution de l'eau.

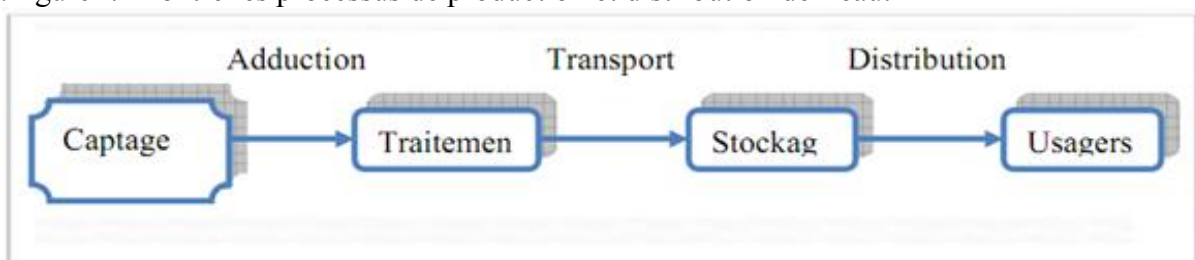


Figure I.1 : Les processus de production et distribution de l'eau [Document. technique. SEAAL.2007]

I.2.1. Cheminement de l'eau (du captage à la distribution) :**a. Ressource :**

L'eau à rendre potable, appelée eau brute, peut provenir de plusieurs ressources (surfaces, souterraines, eaux de mer,...etc.). Dans tous les cas, il importe de la préserver et de la protéger contre les différents risques qui peuvent causer sa perte.

b. Pompage :

Dans un système de distribution d'eau potable, l'eau peut être pompée à plusieurs occasions : entre la ressource et le traitement, pour l'acheminer vers un réservoir ou pour desservir directement certains usagers.

c. Traitement :

La qualité de l'eau brute est variable suivant son origine et suivant les saisons. Pour la rendre potable, elle subit un traitement avant distribution. Il peut s'agir d'une usine complexe pour les eaux de surface (dégrillage, oxydation, coagulation- floculation, décantation, filtration...etc.) ou de traitement plus simple (élimination de composés indésirables comme le fer ou le manganèse) pour les eaux souterraines. Dans tous les cas, une désinfection permet de se prémunir contre le risque bactériologique.

d. Stockage :

L'eau est stockée dans des réservoirs situés après l'usine de traitement et généralement après un pompage. Ils peuvent être sur tour (château d'eau), enterrés ou semi-enterrés.

Ils permettent :

- de garantir la pression au robinet du consommateur.
- d'adapter l'offre en eau à la demande des usagers.
- de sécuriser l'approvisionnement en cas d'incidents : pollution de la ressource, panne sur les pompes...etc.

e. Robinetteries :

Les réseaux d'eau potable comportent des accessoires qui facilitent la maintenance et l'entretien du réseau, régulent les paramètres de l'écoulement de l'eau (débit, hauteur, pression...), ou permettent de disposer des points de puisage sur le réseau. On citera notamment :

- les vannes (coupure de l'eau).
- les ventouses (évacuation de l'air).
- les vidanges.
- les régulateurs de pression, de débit ou de niveau.
- les poteaux d'incendie, les bornes de puisage...

f. Canalisations :

La distribution de l'eau potable jusqu'au consommateur s'effectue par un réseau souterrain de canalisations. On distingue les canalisations d'adduction (destinées au transport des gros débits) et le réseau de distribution (assurant la desserte vers tous les utilisateurs).

g. Branchements :

Destiné au raccordement des consommateurs sur le réseau de distribution, c'est la liaison entre le réseau public et le domaine privé. Le compteur est l'élément principal du branchement. Il comptabilise l'eau fournie à l'utilisateur et lui permet de surveiller sa consommation. En général, le compteur marque la limite de responsabilité entre la collectivité et l'abonné.

h. Abonnés :

Les abonnés représentent chacun des foyers et chacune des entreprises utilisant l'eau du réseau. Les droits et obligations des abonnés vis-à-vis du distributeur d'eau sont définis dans le règlement du service des eaux.

I.3.Objectifs d'un réseau d'eau potable : [S. BENNIS, 2004]

En matière d'eau potable, la mission essentielle est de garantir une desserte satisfaisante de tous les usagers, du point de vue :

I.3.1.Qualité :

La qualité de l'eau ne doit pas nuire à la santé du consommateur, elle doit être conforme aux normes et à la réglementation sanitaire.

I.3.2. Quantité :

L'utilisateur doit disposer d'une quantité d'eau suffisante pour couvrir ses besoins, dans un souci permanent de maîtrise de la consommation et de lutte contre le gaspillage.

I.3.3. Continuité de service :

Le service de distribution doit être assuré 24 heures sur 24 avec le minimum d'interruptions possible.

I.3.4. Pression :

La pression, ni trop forte, ni trop faible, doit garantir un confort d'utilisation à l'utilisateur.

I.4. Eaux Non Facturées et Eaux Non Comptabilisées(E.N.F) Et (E.N.C) :

Avant de définir les divers indicateurs de perte et leurs conditions d'application respectives, il faut d'abord avoir une claire compréhension de ce qu'est la perte d'un réseau de distribution d'eau(mesurée en m³) et de savoir comment on peut la calculer.

Deux concepts principaux (d'ailleurs complémentaires) sont utilisés dans le monde : les eaux non facturées(E.N.F) et les eaux non comptabilisées(E.N.C). (*Document technique. suiez-environnement.2003*).

I.4.1.Eaux Non Facturées E.N.F :

Les volumes non facturés sont calculés comme la différence entre les volumes mis en distribution dans le réseau pendant une période donnée et les volumes consommés et facturés aux consommateurs pendant la même période (Les formules (I.1) et (I.2)) .(*Document technique. suiez-environnement.2003*).

$$E.NF= \text{Volume introduit}-(\text{Volume facturé} - \text{Volume exporté})$$

(I.1)

Ou, ce qui revient au même :

$$E.N.F= \text{Volume mis en distribution}-\text{Volume facturé}$$

(I.2)

I.4.2. Eaux Non Comptabilisées E.N.C :

Les Eaux Non Comptabilisées concernent les volumes qui sont mis en distribution mais qui ne sont pas comptabilisés.

Quelque soit le concept utilisé; E.N.F ou E.N.C, il est absolument nécessaire d'avoir une bonne

connaissance de ces volumes consommés légalement et non facturés. (*Document technique. suex-environnement.2003*).

Les formules (I.3), (I.4) et (I.5) indiquent la relation entre E.N.F et E.N.C.

$$E.N.C = \text{Volume introduits} - (\text{Volumés facturés} + \text{Volumés exportés} + \text{consommations autorisées non facturées}) \quad (I.3)$$

On peut dire aussi :

$$E.N.C = \text{Volumés mis en distribution} - (\text{Volumés facturés} + \text{consommations autorisées non facturées}) \quad (I.4)$$

La combinaison des deux formules donne :

$$E.N.C = E.N.F + \text{Consommations autorisées non facturées} \quad (I.5)$$

L'approche E.N.C diffère de l'approche E.N.F dans la mesure où il est en outre nécessaire de définir la liste exhaustive des consommations autorisées non facturées et d'analyser de quelle manière les volumes correspondants sont mesurés ou estimés. (*Document technique. Environnement. 2003*).

I.5. Période de calcul :

Le choix de la période sur laquelle sont calculés les volumes E.N.C ou E.N.F est un problème particulièrement important dans la mesure où les volumes produits et les volumes facturés doivent évidemment être mesurés (ou estimés) sur la même période. (*Document technique. SEAAL.2010*).

I.6. Rendement du réseau de distribution d'eau potable : [N. MERZOUK, 2005]

I.6.1. La notion du rendement :

Le rendement de réseau est un indicateur simple et très utilisé qui permet d'apprécier la qualité d'un réseau. Il représente le rapport entre la quantité d'eau utilisée par les abonnés et la quantité d'eau introduite dans le réseau.

$$\text{Rendement primaire de réseau} = \frac{\text{Volume consommé par les abonnés (m}^3\text{)}}{\text{Volume mis en distribution (m}^3\text{)}} * 100 \quad (I.6)$$

I.6.2. Paramètres agissant sur le rendement :

Les plus fréquemment cités sont :

- ✓ l'âge moyen du réseau ;
- ✓ la nature des canalisations et de leurs joints ;
- ✓ les conditions d'exploitation (pression, coups de bélier) ;
- ✓ la nature des terrains ;
- ✓ la longueur du réseau ;
- ✓ le nombre de branchements.

I.6.3. Pertes en eau dans un réseau de distribution :

Une part non négligeable de l'eau produite est souvent gaspillée :

- ✓ lors de son acheminement vers les consommateurs.
- ✓ par les consommateurs eux-mêmes.

I.6.4. Définition et types de pertes en eau :

La perte d'eau représente l'inefficacité dans des opérations de la livraison et de mesure de l'eau dans des réseaux de transmission et de distribution. Les pertes d'eau sont calculées comme la différence entre le volume d'eau entrée dans les systèmes et le volume de consommation autorisée (formule (I.7)).

$$\boxed{\text{Les pertes d'eau} = \text{Achats (m3)} - \text{consommation (m3)}} \quad (I.7)$$

Différents types de pertes sont détectés dans un réseau de distribution d'eau potable se résumant ainsi :

a. Pertes réelles :

• Les fuites :

Se manifestent sous des formes variées allant du simple suintement au jaillissement spectaculaire. Il est donc nécessaire de définir une représentation qui permette de classer les fuites afin d'être en mesure de mettre en place les moyens d'actions adéquats pour diminuer leur impact.

Trois grandes familles de fuites peuvent être distinguées, par débit de fuite croissant :

- ✓ *les fuites diffuses* : ce sont des fuites qui ne peuvent pas être localisées avec les techniques courantes du fait de leur faible débit.
 - ✓ *les fuites détectables non-visibles* : ce sont des fuites non-visibles que l'on peut détecter avec les moyens usuels d'investigation.
 - ✓ *les fuites visibles* : ce sont des fuites dont la présence est visible en surface (écoulement, excavation, etc.)
- **Les volumes de service** : ce sont les eaux utilisées pour nettoyer les installations des distributeurs, pour la protection civile et les services incendie.
 - **Cassures provoquées au niveau des conduites.**

b. Pertes apparentes :

- **Pertes sur les comptages** : due principalement au vieillissement ou calibrage des compteurs, inadéquation ou absence d'un compteur, compteurs non lus, et erreurs de relève.
- **Les fraudes** : consommations non enregistrés.

I.7. Indicateurs de pertes : [N. MERZOUK, 2005]

Un grand nombre d'indicateurs de pertes est utilisé par les Services des Eaux. Ils peuvent être classés en trois catégories de pertes :

I.7.1. Rendement (%) :

L'indicateur de perte le plus communément utilisé est celui qui présente la perte comme un pourcentage des volumes introduits ou des volumes mis en distribution dans le système considéré.

Le calcul de la perte comme pourcentage des eaux introduites ou mise en distribution dans le réseau permet d'analyser une évolution significative de ce réseau pourvu qu'il soit toujours calculé de la même manière (La formule (I.8)). [Document technique. SEAAL.2007].

$$\boxed{\text{Perte (\%)} = \frac{\text{volumesentres} - \text{volumefactures}}{\text{volumesentres}} * 100 \quad \dots \text{plus utilis}} \quad (I.8)$$

I.7.2. Quantité (m³) :

La formule (I.9) indique le calcul de la quantité des pertes dans un réseau de distribution.

$$\text{Perte (m}^3\text{)} = \text{volumes entres} - \text{volumes sortis (facturés)} \dots\dots \text{plus gestionnaire} \quad (I.9)$$

I.7.3. Indice linéaire de perte I.L.P (m³ /jour /Km) : (Voir annexe 2)

L'indice linéaire des pertes constitue un indicateur intéressant, car il prend en compte la longueur du réseau et le degré d'urbanisation d'une collectivité. Il est défini comme étant le rapport entre le débit des pertes en distribution et le linéaire total du réseau hors branchement (La formule (I.10)).

$$\text{Perte (m}^3\text{/Jour/Km)} = \frac{\text{Débit de perte en distribution}}{\text{longueur de réseau}} \dots\dots\dots \text{Plus technique} \quad (I.10)$$

I.8. Actions stratégiques pour la réduction des pertes physiques dans un réseau de distribution : (Réseau environnement ,1999)

Les pertes d'eau dues aux fuites se produisent dans chaque réseau de distribution, la seule différence réside dans la quantité perdue, c'est pour cela que les pertes physique ont toujours été un défi pour les gestionnaires de l'eau.

I.8.1. Action 1. Rapidité et la qualité des réparations

Ils ont une grande importance dans la qualité de l'action visant à diminuer les pertes visibles et invisibles.

a. Rapidité des réparations :

L'effet du temps sur les fuites peut générer des pertes considérables et doit être pris en considération.

b. Qualité des réparations :

La qualité des réparations joue un rôle très important dans la lutte contre les fuites dans le réseau de distribution, car une réparation de la fuite menée de façon inefficace va conduire à la réapparition de cette fuite.

I.8.2. Action 2: Recherche active des fuites :

La recherche de fuites est conditionnée par les objectifs de récupérer les volumes perdus qui sont liés aux fuites invisibles mais aussi d'améliorer le rendement du réseau et orienter les renouvellements de celui-ci pour les tronçons vétustes et vulnérables.

I.8.3. Action 3 : Gestion du patrimoine :**a. Réalisation de campagnes de mesure ponctuelles :**

L'exploitant doit organiser le recueil et l'archivage de toutes les interventions réalisées sur le réseau (fuites, réparations, incidents,...).

b. Renouvellement et réhabilitation du réseau :

La mise en place d'une politique de gestion patrimoniale des installations est de la responsabilité de la collectivité. Elle garantit la conservation du patrimoine et limite ainsi les risques de défaillances et les pertes d'eau qui y sont liées.

I.8.4. Action 4 : Gestion de la pression :

L'objectif de cette approche est de diminuer la pression nocturne du réseau afin de réduire les contraintes dans les conduites. On limite ainsi le débit des fuites existantes, de même que l'on réduit le risque d'apparition de nouvelles fuites.

Cette partie de recherche est axée sur la bonne gestion et l'amélioration du rendement du réseau en gérant le paramètre « pression ».

La figure(I.2) montre un exemple d'économie d'eau dans un réseau de distribution en réduisant la pression au court du temps.

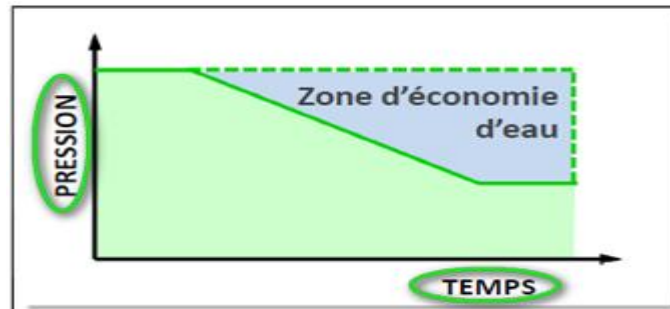


Figure I.2 : Diagramme d'économie d'eau [Document technique. SEAAL.2010].

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.

La figure (I.3) illustre un exemple d'économie d'eau dans un réseau de distribution par l'abaissement de la pression (réduire le volume des fuites).

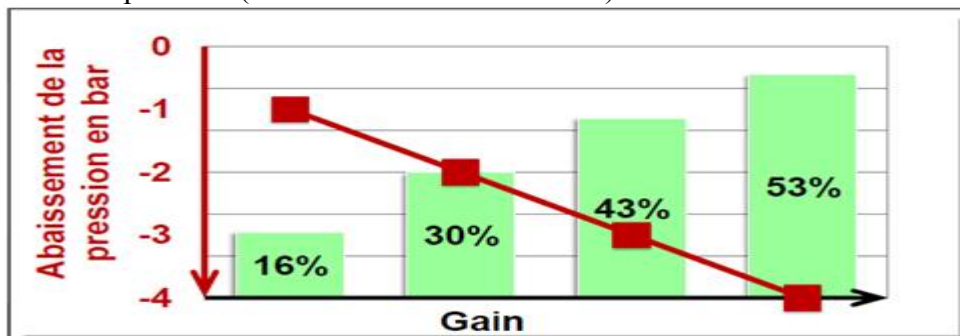


Figure I.3 : Diagramme de réduire le volume des fuites/la pression [Document technique. SEAAL.2010].

La figure ci-dessus montre qu'il suffit d'abaisser la pression initiale de 2(bar) pour réduire le volume des fuites de 30% !

La figure(I.4) montre un exemple d'économie d'eau dans un réseau de distribution Evaluation du volume des fuites.

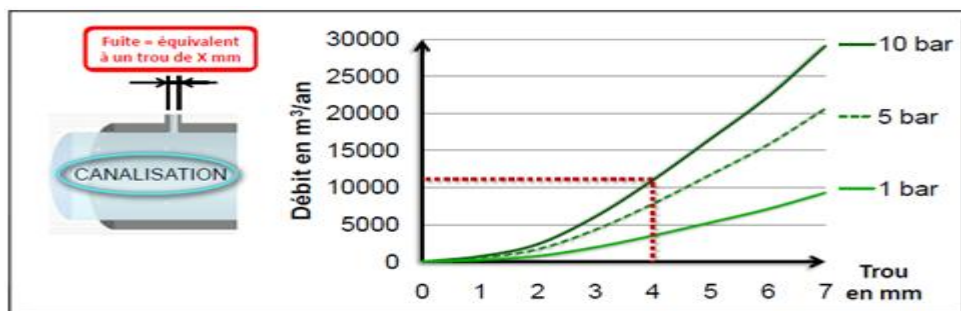


Figure I.4 : Diagramme de réduire le volume [Document technique. SEAAL.2010].

D'après la figure (I.4), il est à constater que le volume d'une fuite annuelle d'un trou de 4 mm de diamètre à une pression de 10(bar) est de **11000 m³** soit l'équivalent de **4** piscines olympiques!

I.9.Gestion de pression :

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.

I.9.1.Intérêts 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: (*M. ROZENTAL, 2010*)

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

Réduction de pression	
Régulation de pression	Modulation de pression
Vanne de régulation de pression	Vanne de modulation de pression
Consigne d'entrée constante	Consigne d'entrée variable selon la demande
On règle (diminue) Lorsque la variation de la pression sur 24h n'est pas très importante	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.9.2.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.

La figure ci-dessous illustre les bénéfices de la réduction de la pression : (*M. ROZENTAL, 2010*)

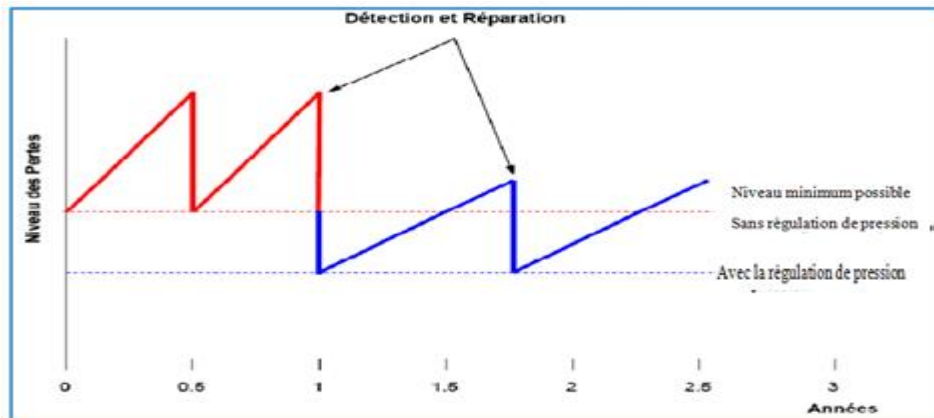


Figure I.5 : bénéfices de la réduction de pression. [Document technique. SEAAL.2010].

I.9.3. Différents types de modulation de pression :

Il existe plusieurs types de modulation :

- régulation nuit / jour
- régulation par tranche horaire
- régulation à la demande. cette dernière est la plus avantageuse car elle prend en compte toutes les heures creuses de consommation. la pression n'est pas seulement régulée pendant les 7 heures de la nuit mais pendant les 15 heures par jour de faible consommation. (M. ROZENTAL, 2010) (Voir annexe 3)

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 : 2m
- ✓ Perte de charge à la pointe = $8 \times 1 + 2 = 10\text{m}$ (lié à la variation de la demande)

I.9.4. 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.

La figure I.6 montre l'état du réseau avant réduction de pression. (M. ROZENTAL, 2010)

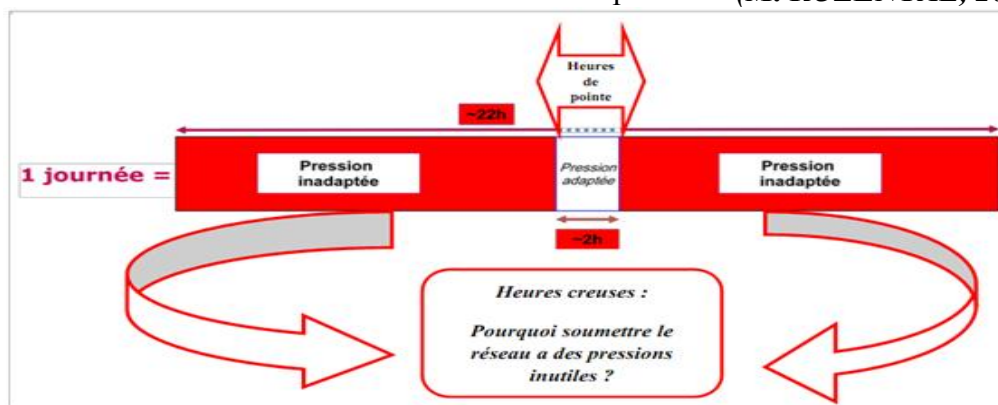


Figure I.6: Etats du réseau avant réduction de pression [Document technique. SEAAL.2010].

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.

I.9.5. 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. (*J.M. ROZENTAL, 2010*)

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

Tableau I.2: critères permettant l'identification des zones prioritaire à réguler

Eléments géographiques	Données opérationnelles
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Morphologie du terrain (dénivelé) ✓ Pression d'exploitation ✓ Entrée d'alimentation possible ✓ Frontières naturelles ✓ Etude du type d'habitat (immeubles, maison) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Zones fragiles (nombre de casse et fréquence) ✓ Variations de pression « jour / nuit » importantes ✓ Zones ou le rapport du débit de nuit le débit moyen est élevé (pertes significatives) ✓ Etude de la sectorisation existante ✓ Minimum de pression contractuelle requis

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.

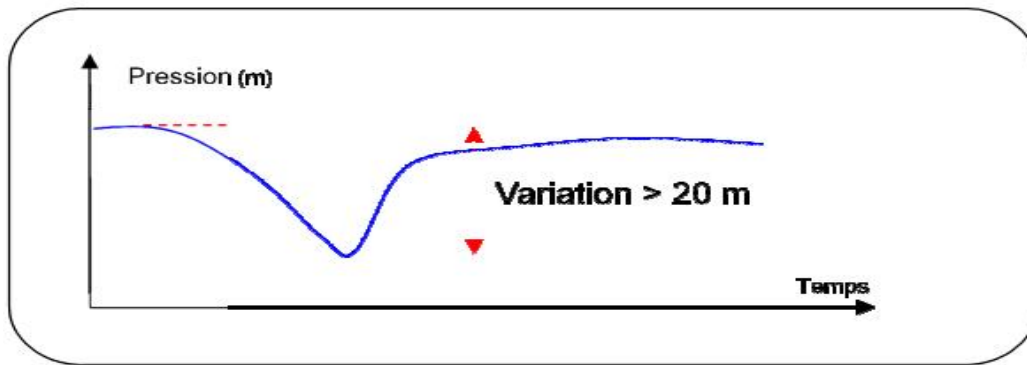


Figure I.7: variation de la pression en fonction du temps.

Ou bien

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

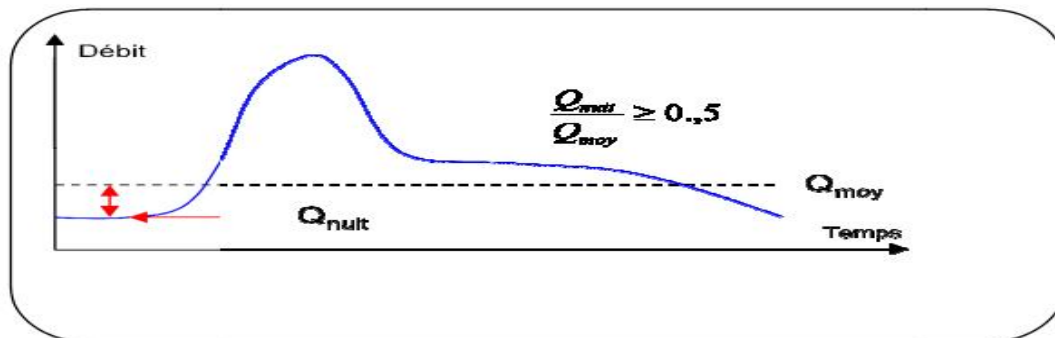


Figure I.8: variation du débit en fonction du temps.

I.9.6. 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). (M. ROZENTAL, 2010)

Toutefois si le compteur est équipé avec un réducteur de pression en partie privative, l'impact de la modulation de pression sera négligeable. [Document technique. Suez environnement. 2010].

I.9.7. 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. (*M. ROZENTAL, 2010*)

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. [*Document technique. Suez environnement. 2010*].

I.10. Etude de faisabilité: [M. ROZENTAL, 2010]

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.

I.10.1. 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.

I.10.2. Etude hydraulique :

a. 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.

b. Différentes étapes de l'étude hydraulique :

- **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.

- **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.

- **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).

- **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.

- **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.

- **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

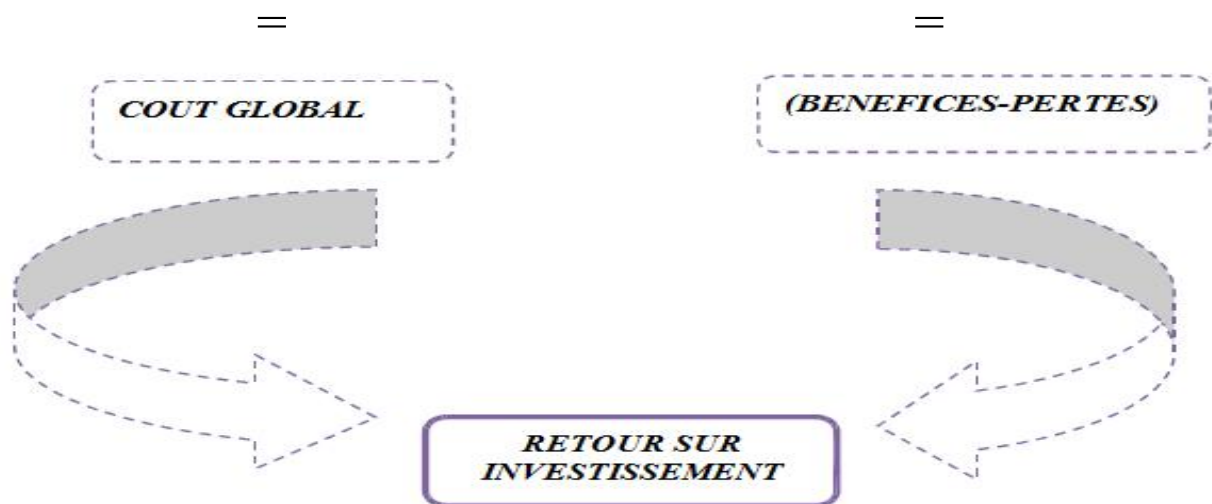
Leur dimensionnement doit permettre de respecter les obligations du service au point critique pour la période de pointe des jours de pointe.

- **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 I.3).

Tableau I.3: retour sur investissement d'un projet de modulation de pression.

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



I.10.3.Mise en service de la modulation de pression: /

La mise en service est l'étape finale du projet de la modulation de pression elle consiste à assurer les débits minimaux et maximaux ainsi que les valeurs des pressions amont et aval mais aussi à définir la perte de charge maximale admissible. (M. ROZENTAL, 2010)

(Voir annexe 4)

I.11. Actions après modulation de pression : /M. ROZENTAL, 2010/

La figure I.9 représente l'action après modulation de pression.

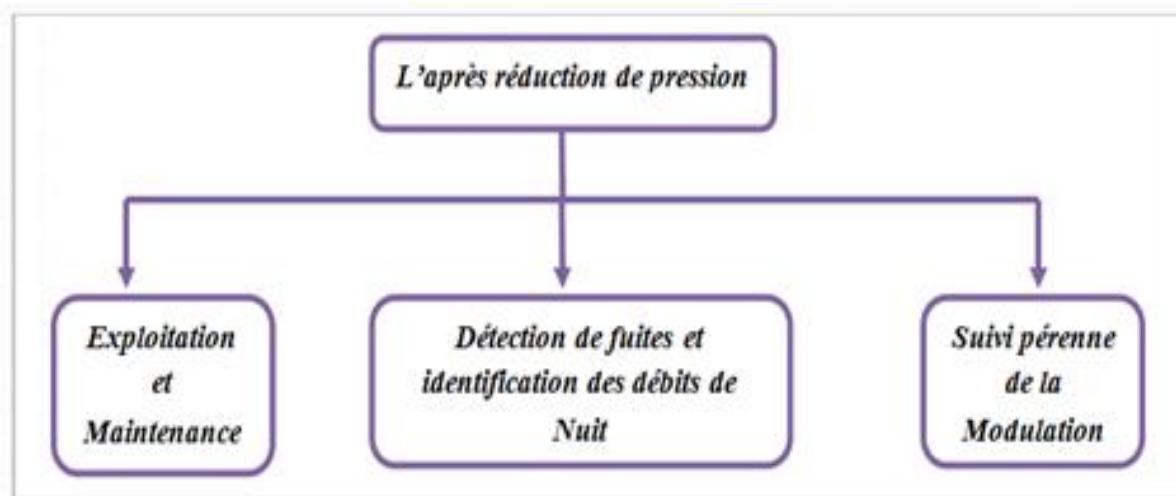


Figure I.9: Actions après modulation de pression.

I.12. Les études similaires :

Une bonne gestion de la pression peut être un outil efficace de réduction des pertes dans un réseau de distribution d'eau. Les pressions maximales (y compris l'influence des surpressions) peuvent avoir une incidence importante sur la vitesse à laquelle les fuites se produisent. La gestion de la pression permet aux municipalités de réduire la pression d'eau dans certaines parties ou la totalité du réseau de distribution. Réduisant le volume des pertes d'eau liées aux fuites (*N. MERZOUK, 2005*).

La gestion de la pression peut être simple ou complexe, mais elle doit à tout prix répondre aux besoins des clients et de la collectivité. Il convient de remarquer qu'une pression d'eau faible peut avoir une incidence sur la protection des incendies et peut être sur la qualité de la pression. On peut également utiliser ce genre de programme pour réduire les augmentations de pression qui ont lieu la nuit. On pourra ainsi réduire le volume des pertes liées aux fuites et diminuer la fréquence des nouvelles fuites produites dans les conduites d'eau par la réduction de pression, puisque plus la pression est élevée dans le réseau, plus le volume d'eau perdu à travers les fuites est important. Ordinairement, une réduction de pression de 1% entraîne une diminution de 0.5 à 1.5% des débits de fuites existants dans le réseau, selon le matériau des conduites et le type de fuite (*N. MERZOUK, 2005*).

La gestion de la pression n'implique pas seulement la réduction de la pression, mais aussi d'autres méthodes de contrôle et d'optimisation de pression sans compromettre le service à la clientèle. Une définition de la gestion de la pression dans son sens le plus large est donnée par (*J. THORNTON et al, 2005*), « la gestion de la pression consiste à contrôler la pression du système afin d'atteindre un niveau de service optimal. Pour assurer un approvisionnement efficace aux consommateurs tout en évitant les excès inutiles de cette pression qui augmenterait indument les fuites et les bris » (*J. THORNTON and LAMBERT, 2005*).

Les pertes réelles existent dans pratiquement tous les réseaux de distribution d'eau. Elles ne peuvent jamais être complètement éliminées, car il existe un volume minimum des pertes réelles qui est inévitable. Cependant, le volume minimum des pertes réelles inévitable dépend des caractéristiques générales du réseau de distribution et de la politique de la gestion des fuites employées par le service d'eau (*O. HUNAIDI, 2000*).

La réduction de la pression est la principale fonction de la gestion de la pression, au vu de ce qu'elle apporte comme bénéfice aux réseaux de distribution, mais ce n'est pas toujours évident et surtout rentable de diminuer la pression (*Réseau environnement, 1999*).

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/nuit) 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). (*J. THORNTON and A. LAMBERT, 2005*).

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 (*H. MALANDAIN, 1999*).

Relation débit de fuite/pression

Les pertes de fond ont un débit trop faible pour être détectées par une inspection visuelle ou par des techniques acoustiques traditionnelles de détection des fuites. Elles continueront de circuler à moins que ce soit détecté par hasard, ou jusqu'à ce qu'elles s'aggravent progressivement à un point où elles peuvent être détectées. Le niveau de fuite de fond tend à augmenter avec l'âge du réseau et la pression. Le type de matériaux de tuyaux et les techniques d'assemblage sont également des facteurs qui contribuent au niveau des pertes de fond. Dans certains cas, elle est aussi une option moins coûteuse que les alternatives de remplacement de l'infrastructure, mais souvent cette dernière est un bon investissement à long terme. (*Réseau environnement, 1999*).

Les fuites indétectables, qui généralement abaissent le rendement d'un réseau, ne lui permettent pas d'avoir une valeur supérieure à 90% (*J.EISENBEIS, 1996*).

La notion de rendement d'un réseau a l'inconvénient de ne pas tenir compte du linéaire sur lequel se produisent les pertes. Il est admis depuis plusieurs années que l'on ne peut pas qualifier de façon absolue un réseau par son rendement, de plus il ne permet pas de comparer l'état de fonctionnement des réseaux, d'où l'intérêt de calculer l'indice linéaire de perte (*N. MERZOUK, 2007*).

Le rendement du réseau et l'indice de perte permettent d'apprécier l'état du réseau, tandis que les débits minimums nocturnes doivent être pris en considération dans la mise en place du modèle de fonctionnement hydraulique (*A. NAFI, 2006*).

La relation entre le débit de fuite et la pression a fait l'objet de nombreuses études et plusieurs documents ont été publiés sur le sujet. Ces travaux ont établi que les débits de fuite sont liés à la

pression par une loi de puissance. Ce facteur est appelé N , à savoir $Q=P^N$. Cette relation s'inscrit dans le prolongement de la relation hydraulique normal de flux à partir d'un orifice fixe ou le débit est proportionnel à la racine carrée de la pression i.e. $N=0.5$. Plusieurs études ont toutefois montré que les fuites provenant de nombreux systèmes de distribution impliqueraient une valeur de N supérieur à 0.5 et souvent à 1. Une étude de (*J. MAI, 1994 ; A. LAMBERT, 2001*) a montré que cela peut s'expliquer par le fait que certains orifices ne sont pas de dimensions fixes. Ce phénomène est connu comme la théorie de *FAVAD* (Fixed and Variable Area Discharges). Ce travail a suggéré que N peut être aussi élevé que 1.5 et peut même atteindre 2.5 dans le cas des fuites dans certains systèmes de tuyaux en plastique (*D. PEARSON, M.FANTOZZI et al, 2005*).

Détections des fuites

Les pressions économiques, la menace pour la santé publique et, tout bonnement, la nécessité d'économiser l'eau ont poussé les exploitants de réseaux d'aqueduc à mettre en place des programmes d'élimination des fuites. Tous ces programmes de contrôle, quelle que soit la formule adoptée, comportent deux volets principaux : la surveillance des débits et la détection des fuites. Les programmes de surveillance des débits visent le relevé précis de l'écoulement aux points d'entrée et de sortie des réseaux de distribution ou dans des tronçons déterminés. Ces vérifications permettent de déceler les sections où les fuites sont importantes.

Malheureusement, il est impossible d'en connaître l'endroit précis, c'est alors qu'entre en jeu la détection des fuites. (*Réseau environnement 1,999*).

Méthodes d'intervention

Le choix de la méthode d'intervention la plus appropriée pour réduire le volume des pertes réelles dépend des facteurs qui causent ces pertes et de l'analyse avantage cout de chaque méthode.

- 1- La réduction du délai de détection et de localisation et la réparation rapide des fuites peuvent réduire substantiellement le volume des fuites. (*O. HUNAIDI, 2000*).
- 2- La détection proactive des fuites consiste à utiliser des méthodes acoustiques pour rechercher les fuites avant qu'elles ne deviennent des bris visibles en surface. Cette détection est normalement précédée d'une sectorisation temporaire ou permanente permettant de mieux focaliser la recherche des fuites dans les secteurs les plus critiques et d'accélérer leur localisation. (*O. HUNAIDI, 2000*).
- 3- La gestion optimale de la pression pour le contrôle des fuites (*A. MANUAL, 2002*) : peut être définie comme, le contrôle de la pression pour assurer un service efficace aux consommateurs tout en évitant l'excès inutile de cette pression qui fait augmenter indument les fuites et les bris. La modulation de la pression peut être obtenue en utilisant différentes méthodes dont les plus fréquentes sont le contrôle à pression de sortie constante, le contrôle modulé selon l'heure de la journée, le contrôle modulé selon le débit de consommation et le contrôle par télémétrie plus ou moins automatisé(*D.PEARSON et al, 2008*).
- 4- La réhabilitation des infrastructures : Les objectifs visés par cette méthode d'intervention vont bien au delà du simple contrôle des pertes. La réhabilitation des réseaux englobe les méthodes de nettoyage abrasives et non abrasives qui visent l'amélioration de la qualité de

l'eau, Les méthodes de projection d'un revêtement interne non structurant, les méthode de gainage interne structurant et non structurant ainsi que le remplacement des conduites pour assurer la pérennité des infrastructures (*CERIU, 2007*).

Actions après modulation de pression :

Exploitation et maintenance:

Cette 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. (*Réseau environnement 1999*).

Recherche de fuites : (détection de fuites et identification des débits de nuit à travers la sectorisation temporaire et mesure de nuit (*STEP-TEST*))

La mise en œuvre de la modulation de pression doit toujours être complétée par une campagne de détection de fuites en utilisant de préférence une méthode de sectorisation.

Avec cette méthodologie, il est possible de:

- Détecter des éventuelles anomalies de fonctionnement sur la circulation de l'eau à l'intérieur de la zone modulée ;
- Connaître les débits de nuit minimaux atteignables (suivi pérenne de la modulation)
- Pérenniser les gains dans le temps (détection de tous types de fuites indépendamment de leur niveau de bruit).
- La détection de fuites dans un système modulé est très efficace car il n'y aura pas d'augmentation de pression comme conséquence des réparations (*Réseau environnement 1999*).

a. Sectorisation temporaire et mesures Step-Test (nuit) :

Les mesures de STEP-TEST consiste à tester l'étanchéité d'une zone en l'a délimitant (sectorisation), en laissant une seule entrée et bien sur en identifiant tous les consommateurs de nuit. Cette méthode permet donc de détecter rapidement les fuites les plus importantes.

Généralement les fuites ayant un débit important sont peu nombreuses alors que les fuites de petit débit (fuites invisibles, micro-fuites) sont souvent présentes en grand nombre. Le principe de la détection des fuites les plus importantes repose sur le fait que 20 à 30% des fuites visibles représentent 70 à 80 % du volume d'eau perdu (*Réseau environnement 1999*).

b. Débit de nuit minimum et mise en place d'un suivi régulier :

Après réparation des fuites, le débit de nuit minimum doit être identifié sur la zone par secteurs étanches. Cette valeur servira de référence pour des mesures ultérieures. Un contrôle périodique du débit de nuit par secteur est conseillé toutes les 6 à 8 semaines hors période de forte consommation estivale afin de détecter l'apparition de nouvelles fuites.

Après cette campagne de mesures « Step-test » et la réparation de fuites, il peut être judicieux de créer des secteurs d'écoute permanents avec la mise en place de comptage à poste fixe (prélocalisation) (*Réseau environnement 1999*).

Suivi pérenne de la modulation :

Les points de mesure de pression, les points d'installation des appareils de mesures (logger) et

les points de mesure Step-tests doivent être bien identifiés dans le SIG ou à défaut sur plan pour permettre un suivi annuel (*Réseau environnement 1999*).

I.13.Conclusion :

Ce chapitre a permis de définir et d'expliquer ce qu'est une perte, ses méthodes de calcul, ainsi que son application dans un réseau de distribution. Une fois ces pertes sont évaluées il est primordial d'œuvrer dans le but de préserver cette ressource et garantir une bonne continuité de service dans le cadre d'un développement durable.

La maîtrise de ses pertes physiques implique donc, de la part des distributeurs d'eau la décision de lancer un programme de recherche de fuites et de gestion de pression à court terme mais aussi un combat à long terme de renouvellement et d'entretien du réseau.

La modulation de pression au cœur de Tipaza Est était la condition obligatoire pour alimenter la zone en H24.

L'instauration de cette modulation de pression est fortement bénéfique 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 de Tipaza Est 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.

Dans ce mémoire on va s'intéresser surtout à la relation qui lie la réduction de la pression et le débit de fuites, à l'impact que peut avoir cette réduction de pression sur le réseau au niveau technique et hydraulique.



Chapitre II
Caractéristiques de l'étage de
distribution-Tipaza Est (T3)

Chapitre II

Caractéristiques de l'étage de distribution-Tipaza Est (T3)

II.1.Introduction :

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons présenter la ville de Tipaza Est, le réservoir d'accumulation (T3) ainsi que l'étage de distribution de Tipaza Est (T3) et leurs caractéristiques. Ensuite nous allons nous intéresser au calcul des Eaux Non Facturées (E.N.F) de cet étage, dans le but d'estimer les pertes physiques avant et après élaboration de la modulation de pression.

En effet, nous pourrions à l'issue de ces estimations, voir l'impact de la modulation de pression sur le volume introduit dans le réseau mais aussi sur le débit de fuites à l'aide des campagnes de mesures effectuées sur le terrain et des données réelles de facturations.

II.2.Présentation générale de la ville de Tipaza Est T3 :

II.2.1.Situation géographique :

La zone d'étude se trouve à l'est de la commune de Tipaza.et couvre une superficie d'environ 233.7hectars.

Le site objet de notre étude est limité :

- Au nord par la route nationale N°11
- Au sud par la cité oued Merzoug.
- A l'est par CW106 (partie nord) et par la piste agricole reliant le CW106 à la voie principale de la cité oued Merzoug (pour la partie sud)
- Et à l'ouest par le tissu urbain (Hai Rabta et cité oued Merzoug).



Figure II.1: plan de situation de la zone d'étude

II.2.2. Données naturelles du site :

a. Topographie :

La topographie joue un rôle déterminant dans la conception du réseau, vu que l'évacuation doit s'effectuer généralement par gravité.

Sauf dans le cas où le relief est moins accidenté, est constitué par des collines du sahel qui s'allongent parallèlement à la cote depuis les hauteurs du massif montagneux à l'est jusqu'à la dépression de l'oued Nador, et ne présente pas de difficultés majeures naturelles qui empêchent l'extension.

La pente du terrain est moyenne, et va du nord vers le sud, l'altitude varie de 20 à 250m

b. géomorphologie :

La zone d'étude est située sur un plateau constitué par des dunes consolidées de la dernière régression marine du pléistocène de nombreux crues d'eau temporaires ont creusé leur lit dans les dunes, s'illustrant par une sorte de bran-charge.

c. Sismicité :

La ville de Tipaza se trouve dans la zone territoriale où l'activité sismique n'est pas négligeable, car elle se situe au dessus de la faille tectonique qui sépare le continent Africain du continent Européen. Donc les études de génie civil doivent prendre en considération cette particularité.

d. situation climatique :

La zone est assez bien pourvue en stations météorologiques avec comme remarque l'irrégularité des relevés dus à des interruptions dans les différentes stations.

✓ **climat :**

Le climat de Tipaza est de type méditerranéen à tendance subhumide comprenant deux saisons : l'un d'hiver s'étalant d'octobre à mars et l'autre d'été allant d'avril à septembre (c'est-à-dire que en hiver est doux et humide, et en été est chaud et sec).

✓ **Température :**

Le climat de la commune est de type méditerranéen doux avec quelques nuances continentales. Les hivers sont doux et humides d'octobre à mars suivis d'une saison sèche et chaude.

S'étendant entre mai et septembre. la température moyenne annuelle est de 17,55°C avec un minimum de 10.8°C et un max de 24.5°C .

Tableau II.1 : températures moyenne mensuelles en °C. (1998-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
T_{moy}°C	22.5	17.1	14.2	11.5	10.8	11.2	12.3	14.4	17.3	21.4	24.4	24.5

Source : [ONM]

✓ **Pluviométrie :**

La ville de Tipaza est caractérisée par des précipitations annuelles variant entre 0 et 47.5 mm/j. Les pluies sont généralement irrégulières et surtout torrentielles. La sécheresse caractérise le mois de Juin, Juillet, et Août, mais d'une année sur une autre elles peuvent être précoce (Mai) ou tardive (Octobre).

Le nombre moyen des jours pluvieux pour chaque mois sont représentés dans le tableau suivant (Station de Cherchell).

Tableau II.2 : Répartition du nombre de jours de pluie par an à Tipaza (1998-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Nbr.de jours	5	9	10	10	10	8	10	7	6	5	1	3

Source : [ANRH]

Le tableau II.3 représente la répartition mensuelle moyenne interannuelle des précipitations.

Tableau II.3 : Répartition mensuelle moyenne interannuelle des précipitations (1998-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
P_{moy} (mm)	24	74	82	93	92	72	58	46	36	14	2	3

Source : [ANRH]

✓ **Humidité :**

La région d'étude est caractérisée par une forte humidité à l'exception de la période estivale, Les hivers sont doux et humides d'octobre à mars suivis d'une saison sèche et chaude s'étendant entre mai et septembre.

La variation de l'humidité dans l'air est assez considérable comme l'illustre le tableau (II.4)

Tableau II.4: variation annuelle de l'humidité (1998-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
H %	71	76	62	76	79	79	77	73	70	75	70	70

Source : [ONM]

✓ **Vents :**

Si la zone est protégée contre les vents du Sud (Sirocco) le littoral est exposé aux vents marins salés. Les vents proviennent des directions suivantes

N = 1, 0 % - NE= 15,6% - NW= 5,9 % - S = 3,1 %
 SE = 1,6% - SW= 10,2 % - W=18,6 % - E = 5,6 %

En ce qui concerne le Sirocco on note en moyenne 13 jours /an repartis ainsi :

4 jours en juillet, 4 jours en août, les autres jours durant de reste de l'année.

II.3. Pourquoi a-t-on choisi la modulation de pression à Tipaza Est :

Dés sa création, la SEAAL avait pour but principal d'assurer un bon service d'alimentation en eau potable et par conséquent de passer en H24.

Mais dès le début de sa mission, elle a été confrontée à de plusieurs problèmes comme par exemple ; la vétustiter et la méconnaissance du réseau, le manque de mise à jour de données et de plans, mais aussi et surtout le problème des dénivelées qui provoquent des pressions excessives

dans le réseau... etc.

En effet les réseaux historiques de Tipaza ont été peu rénovés. Les conduites y sont encore à 90% en fonte grise à joint plomb, et les branchements en plomb. Ces réseaux ont bien sûr été fragilisés par l'intermittence de l'alimentation.

Des pressions aussi élevées entraînent sur des réseaux fragiles une augmentation importante de la fréquence des casses et du débit de fuites, tant sur le réseau de la ville que dans les installations intérieures.

Ils ont alors tenté d'éviter les conséquences des pressions élevées de diverses manières :

- ✓ création d'étages intermédiaires par tierçage des vannes
- ✓ isolement des conduites les plus fragiles (mise hors service par fermeture des vannes)
- ✓ alimentation à pleine pression pendant dix heures par jour, puis interruption pendant les heures creuses, en fermant presque complètement les principales vannes d'alimentation de l'étage. Ainsi, la plus grande partie du réseau reste en eau ; son temps de réponse est relativement bien préservé, puisque le besoin de stockage et donc la demande de pointe sont limités ; la pression est réduite aux heures creuses.

Il était donc nécessaire de penser stratégie et de réguler la pression, donc opter pour une modulation de pression sur les zones à difficultés en créant des étages de distribution et par conséquent installer des vannes de modulation de pression à l'entrée des zones à moduler dont on fera varier la pression soit selon la demande et la perte de charge qu'elle induit ou bien en fonction du temps.

II.4. Objectifs de la modulation de pression à Tipaza Est :

La figure II.2 représente les objectifs de la modulation de pression à Tipaza Est.

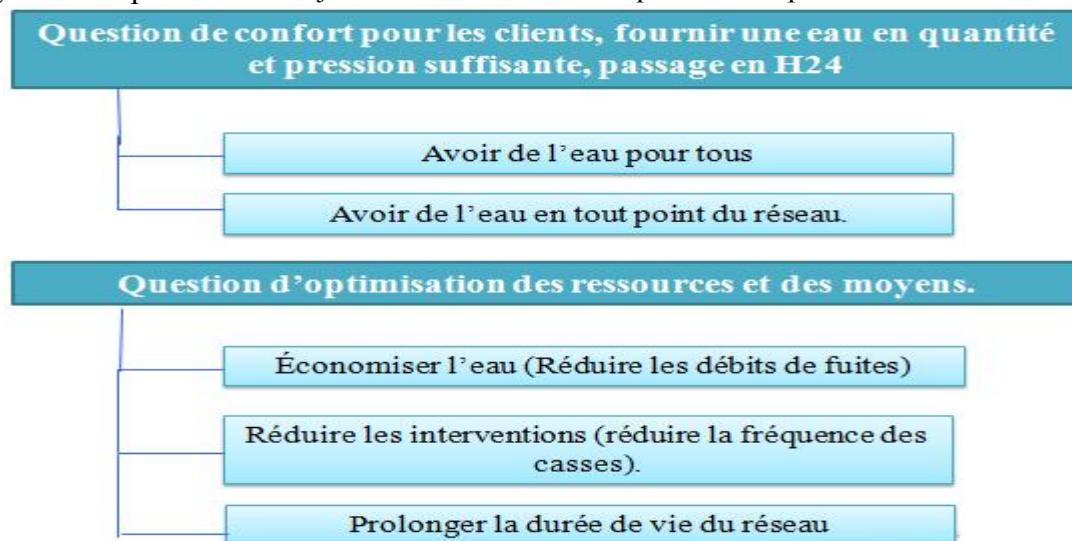


Figure II.2: Objectifs de la modulation de pression à Tipaza Est [Document technique. SEAAL. 2010]

II.5. Présentation et caractéristiques du réservoir de stockage :

II.5.1. Ouvrages de stockage de l'étage de Tipaza Est(T3) :

Les réservoirs d'eau potable jouent un rôle prépondérant pour : [A.DUPONT, 1979]

- ✓ 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.

Tableau II.5 : Caractéristiques de réservoir du Tipaza Est (T3).

	<i>Diamètre (mm)</i>	<i>La cote (m) NGA</i>
Le radier	-	110.12
La conduite de trop plein	500	117.30
La conduite de distribution	700	111.25
La conduite d'arrivé	1000	109.71
La conduite de vidange	500	108.52

[Document technique. SEAAL.2015].

Cet ensemble fait partie du système de pompage de la chaîne Centre du réseau d'eau potable de la ville de Tipaza. Le réservoir est de type semi enterré d'une capacité de **2 000 m³** d'une hauteur de **7 m** et de forme circulaire.

II.5.2.Distribution:

Deux sorties pour la distribution sont ainsi prévues sur chaque compartiment en D.N :500 mm, chacune d'elle est reliée à la conduite de distribution en D.N : 700 mm

II.5.3. Chambre de vannes :

La chambre de vannes est accolée au réservoir sur toute sa longueur, elle relie les conduites d'aménés, de distributions, le collecteur (vidange + trop plein) au trois cuves ; comme les niveaux des entrées et sorties sont différents alors cette dernière s'étale sur trois grands niveaux :

- Premier niveau : vidange et trop plein.
- Second niveau : distributions.
- Troisième niveau : alimentation.

II.6.Présentation et caractéristiques de l'étage de distribution T3 :

L'étage de distribution Tipaza Est T3 est situé entre le réservoir T3 (C.T.P :117.30m et C.R :110.12m) et la mer, il alimente une partie des communes de Sidi Rached, Tipaza Centre et Tipaza Ouest.

L'étage dessert une population d'environ 84 201 habitants

II.7. Calcul des Eaux Non Facturées E.N.F de l'étage de distribution Tipaza Est T3 :

Nous essayerons dans ce paragraphe d'estimer les Eaux Non Factures E.N.F d'une manière générale, et nous nous pencherons plus finement au calcul du débit de fuites avant et après la modulation de pression, afin de comparer les résultats obtenus et en déduire les impacts de cette réduction de pression.

Avant la réduction de la pression dans l'étage de distribution T3, les communes qui étaient reliées à cet étage souffraient d'un manque d'eau car l'alimentation n'était pas continue, elles

recevaient de l'eau quotidiennement 12H/24H.

C'est pour cela qu'il est impossible de comparer les résultats avant et après modulation de pression dans ces conditions. Donc l'idée était de les comparer en supposant une alimentation continue (H24) avant l'élaboration de la modulation de pression, et par conséquent déduire les impacts qu'aurait subis le réseau T3 si on l'avait alimenté en H24 avec des pressions excessives surtout en période de faibles consommations.

II.7.1. Situation après modulation de la pression :

Afin de pouvoir calculer le bilan de l'étage T3 après l'élaboration de la modulation de pression, nous avons besoin des volumes facturés après modulation de pression afin de les retrancher du volume mis en distribution à la sortie de la vanne de modulation située à la rue de El R.T.A.

a. Volume mis en distribution dans l'étage modulé T3 :

Pour pouvoir calculer le volume mis en distribution pour alimenter l'étage T3, nous pouvions faire un bilan des volumes entrants et sortants du réservoir T3 situé à Tipaza Est, mais le volume sortant du réservoir T3 va d'une part alimenter le réseau T3 modulé c'est-à-dire les communes de (Sidi Rached, Tipaza centre et Tipaza Ouest), mais aussi le réservoir de Tipaza 2*500 alimentant la partie de Tipaza Est non modulé, cette dernière se trouvant à l'amont de la vanne de modulation de la rue El R.T.A.

Il était donc impossible d'avoir de bons résultats vu que nos calculs et mesure concernent seulement la partie qui est modulée.

Donc l'idée était de télécharger les données du débit d'un débitmètre situé à la sortie de la vanne de modulation de T3 afin de pouvoir calculer le volume mis en distribution pour cette partie modulée de T3.

La figure II.3 montre le débit de sortie de la vanne de modulation T3.

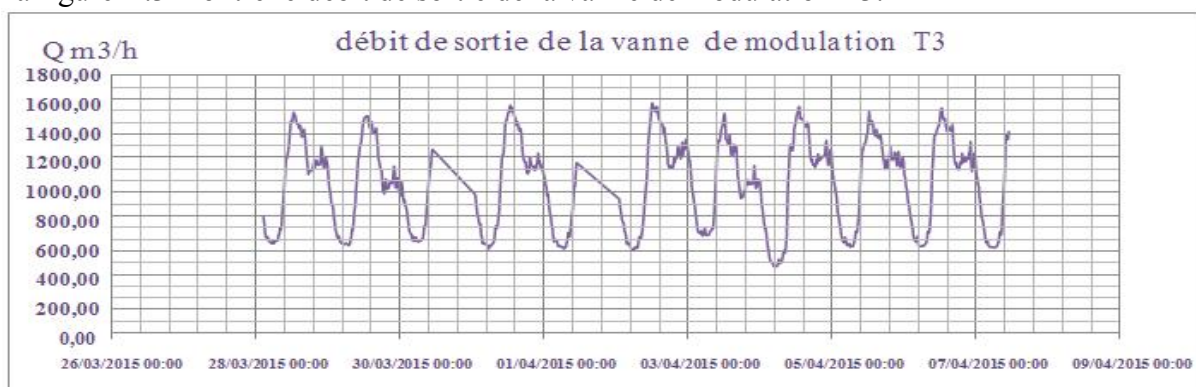


Figure II.3: Débit de sortie de la vanne de modulation T3

Pour pouvoir calculer le volume mis en distribution, nous avons choisi de prendre une période de référence de 10 jours « du 28/03/2015 au 00h :00 au 7/04/2015 a 00h :00 ».

Nous avons donc calculé une moyenne, cette dernière représente le volume mis en distribution dans l'étage modulé de T3

Par conséquent le débit moyen horaire distribué est :

$$Q_{moyen} = 1058 \text{ m}^3/\text{h}$$

Et donc le volume distribué en m³/j est :

$$V_{mis\ en\ distribution} = 25\ 392 \text{ m}^3/\text{j}$$

b. Volumes facturés dans l'étage modulé de T3 :

Les résultats du volume facturé durant le premier trimestre 2014 sont représentés ci-dessous

Tableau II.6: Caractéristiques de bases des communes alimentées par T3

	<i>Population/commune</i>	<i>Clients/commune</i>	<i>Volumes facturés/commune (m³/trim.)</i>
<i>Sidi Rached</i>	65 710	13 713	1 073 374
<i>Tipaza centre</i>	64 164	12 189	1 007 868
<i>Tipaza Ouest</i>	40 001	7 957	596 925

[Document technique. SEAAL.2015].

Le tableau ci-dessous illustre le taux de branchement de chaque commune à l'étage T3 :

Tableau II.7: Taux de branchement des communes à l'étage T3

<i>Communes</i>	<i>Taux de branchement au réseau T3</i>
<i>Sidi Rached</i>	5%
<i>Tipaza centre</i>	70%
<i>Tipaza Ouest</i>	90%

[Document technique. SEAAL.2015].

Par conséquent, les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau II.8: Volumes facturés de l'étage T3 après modulation de pression (1er trimestre 2014)

	<i>Population T3</i>	<i>Clients T3</i>	<i>Volumes facturés sur T3 (m³/trim)</i>
<i>Sidi Rached</i>	3 286	686	53 669
<i>Tipaza centre</i>	44 915	8 533	705 508
<i>Tipaza Ouest</i>	36 001	7 162	537 233
<i>Total</i>	<i>84 201 habitants</i>	<i>16 381 clients</i>	<i>12 96410(m³/trim)</i>

[Document technique. SEAAL.2015].

On peut déduire à travers ce tableau le volume facturé en m^3/j :

c. Calcul des Eaux Non Facturées de l'étage T3

$$V_{\text{facturé}} = 10\,803 \text{ m}^3/j$$

D'après la formule (I.2)

$$E.N.F = 14\,589 \text{ m}^3/j$$

Le bilan de l'étage T3 est donné par la figure ci-dessous :

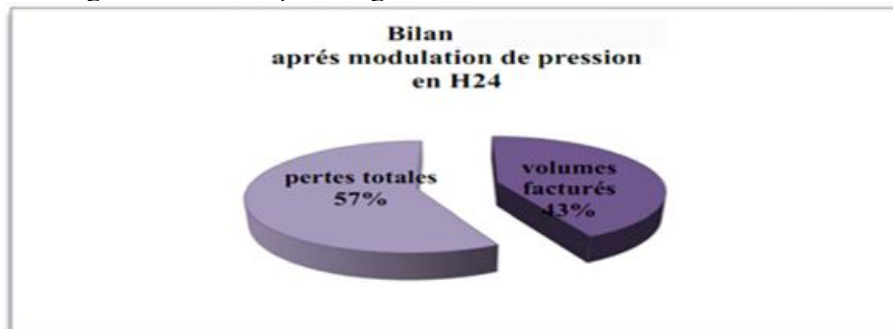


Figure II.4: Bilan de l'étage modulé de T3.

Nous remarquons un pourcentage très élevé des pertes dans le réseau de T3, ceci est dû principalement aux différents types de pertes ; physiques, commerciales (usages illégaux, sous comptage, pertes de facturation, fuites sur réseau primaire, fuites sur branchements) mais aussi et surtout aux fuites sur réseau visible et invisible, car ce réseau est très fuyard.

Cela dit le fait de calculer les pertes physiques à partir de ces données n'est pas vraiment précis, vu le manque de données concernant les pertes clientèles et de comptage ; c'est pour cela qu'on a décidé de calculer les pertes physiques (débit de fuites) d'une autre manière pour des résultats plus précis.

d. Calcul du débit de fuite :

✓ En utilisant l'Indice Linaire de Pertes $I.L.P$ ($m^3/j/km$) :

D'après le centre de recherche de fuites de la direction de distribution de la *SEAAL*, l'Indice Linaire de Pertes ($I.L.P$) de l'étage T3 est de :

$$I.L.P = 172.5 \text{ m}^3/j/km$$

Le débit de fuite de l'étage T3 est donnée par :

$$Q_{\text{fuite}} (\text{m}^3/j) = I.L.P (\text{m}^3/j/km) \times \text{linéaire réseau} (km) \quad (II.1)$$

Avec un linéaire réseau de **86,026 km**, le débit de fuites est égale a :

$$Q_{\text{fuite}} = 14\,840 \text{ m}^3/j$$

✓ En utilisant le débit minimum de nuit (Minimum Night Flow) :

L'idée d'utiliser la méthode du M.N.F est plus correcte et donne les meilleurs résultats. En effet, on sait que le débit de fuite à un rapport avec l'augmentation de la pression, donc il logique de le calculer en périodes de faibles consommations la ou la pression est excessive.

Le calcul du débit de fuite est donc donné par :

$$Q_{\text{fuit}} (m^3/h) = \text{débit minimum moyen de nuit} (m^3/h) - \text{consommations moyennes de nuit} (m^3/h) \quad (II.2)$$

D'après la figure (II.1), nous remarquons une stagnation de débit minimum de nuit de 00h00 et 4h30 du matin, il est égal à :

$$Q_{\text{minimum moyen de nuit}} = 639 m^3/h$$

Cette valeur est obtenue en faisant une moyenne de plusieurs jours lorsque que les débits minimums de nuit sont stables c'est-à-dire entre 00h00 et 04h00 du matin.

Le tableau ci-dessous illustre les consommateurs de nuit sur l'étage modulé de T3 :

Tableau II.9: les gros consommateurs de nuit de l'étage de T3

Type de consommation	Domestique	Industriel
Consommation de nuit (m3/h)	négligeable	125

[Document technique. SEAAL.2015].

Par suite le débit de fuite enregistré en période de nuit est :

$$Q_{\text{fuite}} = 504 m^3/h \text{ soit } 12\,096 m^3/j$$

D'après les deux méthodes, nous remarquons que plus de 80% des pertes (fuites) se produisent en période de nuit (00h00 – 4h30) la ou la consommation est minimale.

Le bilan des résultats obtenus est représenté dans la figure suivante :

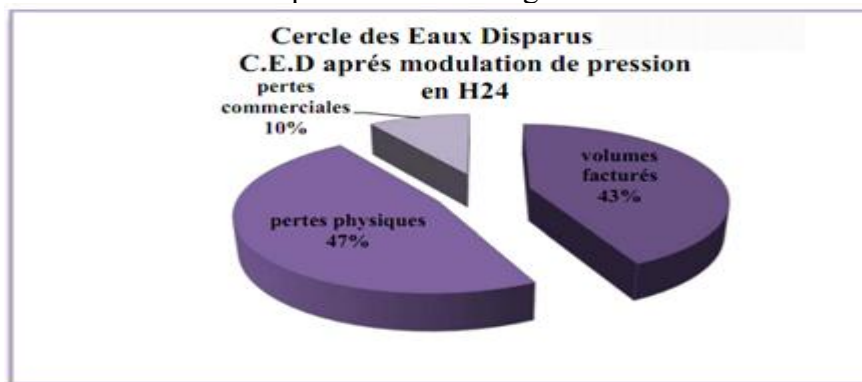


Figure II.5: Cercle des Eaux Disparus de l'étage T3 après modulation de pression.

Avec

$$\boxed{\text{Pertes commerciales} = \text{pertes totales} - \text{pertes physiques}} \quad (II.3)$$

II.7.2.Situation avant modulation de pression :

Avant l'élaboration de la modulation de pression, le réseau de l'étage T3 recevait de l'eau quotidiennement avec une moyenne de 12H/24H

La figure suivante illustre la variation du débit mis en distribution avant et après la modulation de pression :



Figure II.6: Débit mis en distribution avant et après modulation de pression dans l'étage T3. [Document technique. SEAAL.2015].

A l'issue de ce graphe nous pourrions déduire que le volume d'eau qui mis en distribution après modulation de pression, de l'étage T3 est supérieur à celui avant modulation de pression de 8% ,chose qui peut s'expliquer ; d'une part , le temps d'alimentation a augmenté de 70% ,d'autre part des modification ont été effectuées sur le réseau comme la délimitation de la zone de frontière qui a eu pour conséquence l'intégration de certaines ruelles à l'étage T3.

Il est impossible de faire une étude E.N.F dans ce cas (alimentation 12h/24h), donc nous allons supposer que le réseau recevait de l'eau en H24 avant modulation de pression, afin de faire par la suite une comparaison des résultats.

La figure ci-dessous illustre l'allure de la consigne de pression avant et après modulation de pression en alimentation continue :

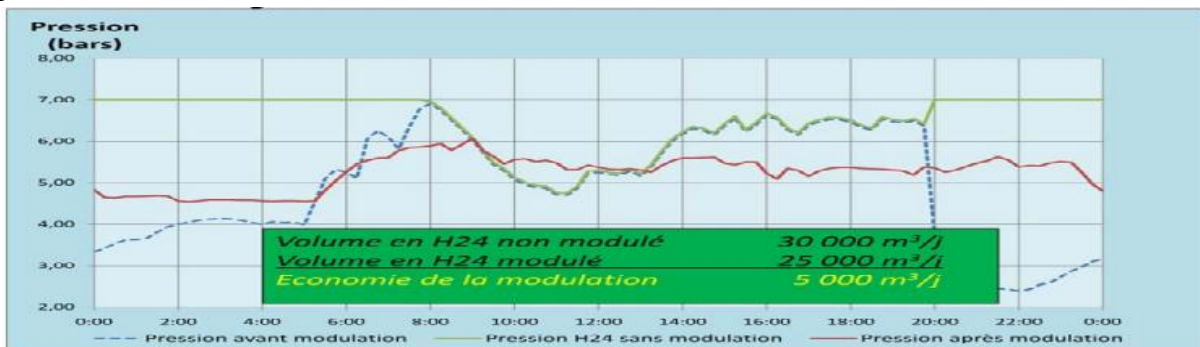


Figure II.7: Consigne de pression avant et après modulation de pression dans l'étage T3. [Document technique. SEAAL.2015].

L'intérêt de cette représentation de la consigne de pression dans l'étage T3 est d'estimer les volumes gagnés en diminuant la pression aux heures creuses, en supposant que l'alimentation était continue avant la réduction de la pression.

Nous remarquons à travers ce graphe l'importante pression qu'aurait subi le réseau vétuste de Tipaza Est T3, si on l'avait alimenté en H24 sans pour autant mettre en œuvre la modulation de pression

a. Volumes mis en distribution (cas d'une alimentation continue H24) :

D'après la figure (II.7) le volume mis en distribution avant la modulation de pression en H24 est de :

$$V_{\text{mis en distribution (h24)}} = 30\,000 \text{ m}^3/\text{j}$$

Remarque :

Ce résultat est purement théorique basé sur une étude de simulation effectuée par le personnel de la SEAAL.

b. Estimation des volumes facturés dans l'étage T3 :

Le tableau suivant illustre les volumes facturés de l'étage T3 avant la modulation de pression en alimentation quotidienne (12h/24h) :

Tableau II.10: Volumes facturés de l'étage T3 avant modulation de pression (1^{ère} trimestre 2013)

<i>communes</i>	<i>Taux de branchement %</i>	<i>Volumes factures/commune m³/trim.</i>	<i>Volumes facturés sur T3 (m³/trim.)</i>
<i>Sidi Rached</i>	5%	1 171 172	58 559
<i>Tipaza centre</i>	70%	586 444	410 511
<i>Tipaza Ouest</i>	90%	901 783	811 605
<i>Total</i>	-	-	1 280 675

[Document technique. SEAAL.2015].

On peut déduire à travers ce tableau le volume facturé en m³/j :

$$V_{\text{facturés}} = 10\,672 \text{ m}^3/\text{j}$$

c. Calcul des Eaux Non Facturées de l'étage T3

D'après la formule (I.2)

$$E.N.F = 19\,328 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le bilan des pertes de l'étage avant la modulation de pression est illustrée dans la figure ci-dessous :

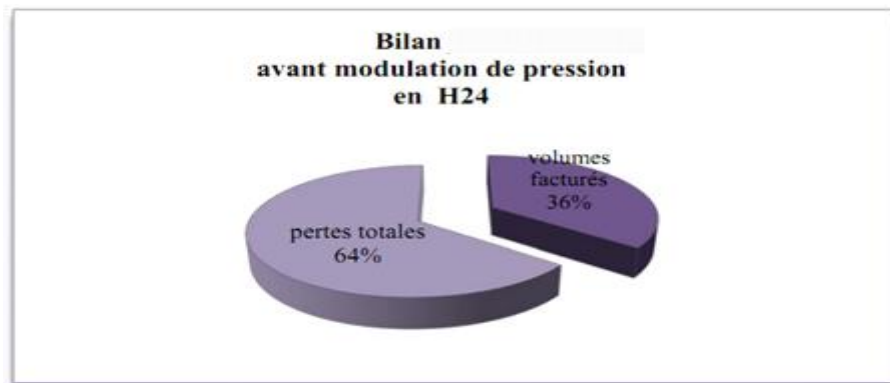


Figure II.8: Bilan de l'étage de distribution T3 avant modulation de pression.

En ayant un volume facturé presque constant avant et après la modulation de pression, nous pourrions par conséquent garder les 10% de pertes commerciales déjà estimées plus haut.

d. Calcul du débit de fuites :

Le débit de fuites (pertes physique) est déduit de la manière suivante :

$$Pertes\ physiques = volumes\ mis\ en\ distribution - (volumes\ facturés + pertes\ commerciales) \quad (II.4)$$

Nous aurons par conséquent un débit de fuite de l'ordre de :

$$Q_{fuite} = 16\ 328\ m^3/j$$

Le cercle des Eaux disparus de l'étage T3 avant la modulation de pression est présenté dans la figure (II.9).

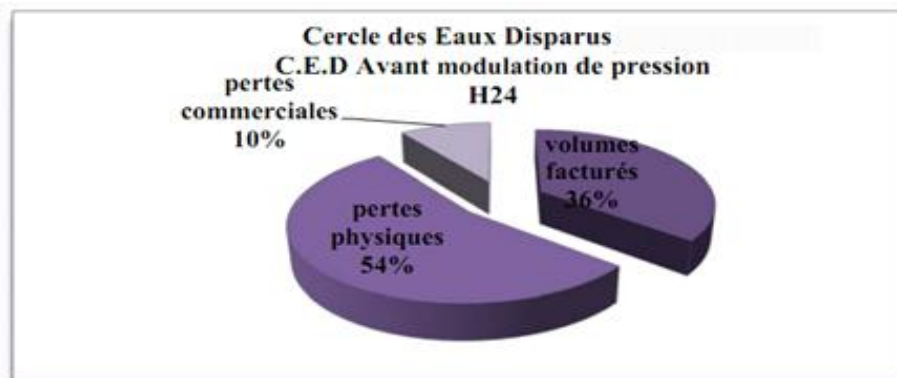


Figure II.9: Cercle des Eaux Disparus de l'étage de distribution T3 avant modulation de pression.

II.7.3. Interprétation des résultats obtenus :

Le tableau suivant illustre les résultats obtenus des Cercles des Eaux Disparus avant et après modulation de pression :

Tableau II.11: Etude comparative du bilan avant et après modulation de pression.

	<i>Avant modulation de pression en H24</i>	<i>Après modulation de pression en H24</i>	<i>Différence</i>	<i>En %</i>
<i>Volumes mis en distribution (m³/j)</i>	30 000	25 392	4 608	-15.36%
<i>Volumes facturés (m³/j)</i>	10 672	10 803	Négligeable	Négligeable
<i>E.N.F total (m³/j)</i>	19 328	14 589	4 739	-24.51%
<i>Pertes commerciales (m³/j)</i>	3 000	2 493	Négligeable	Négligeable
<i>Pertes physiques (m³/j)</i>	16 328	12 096	4 232	-25.91%

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure ci dessous :

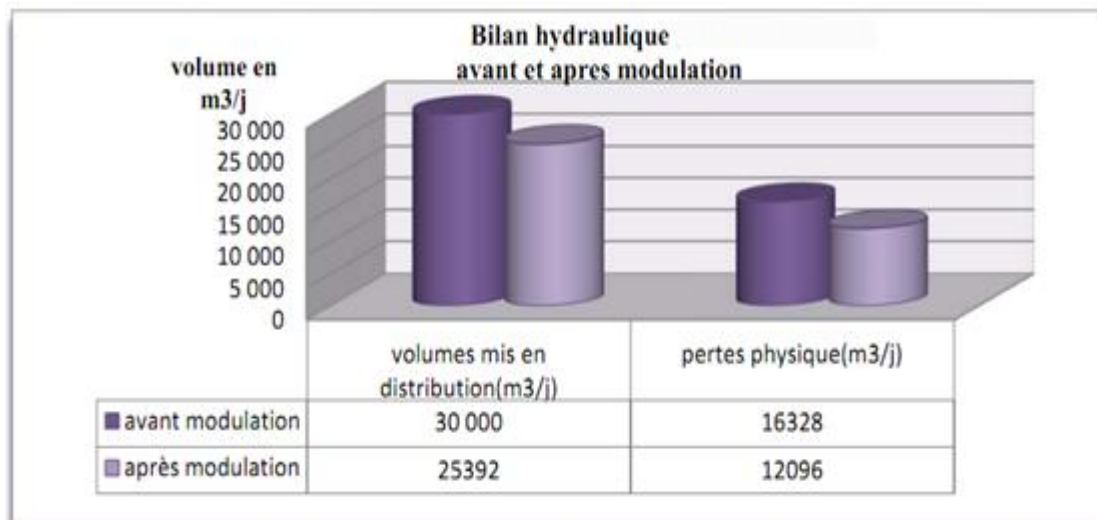


Figure II.10: Bilan hydraulique de l'étage T3 avant et après modulation de pression.

Malgré la diminution des pertes physiques de 25% sur le réseau de distribution de Tipaza Est après réduction de la pression, le débit de fuites est encore très important surtout en période de nuit, ceci influe fortement sur le rendement de ce réseau ; les causes probables de cette forte intensité de pertes physiques sont :


- Consommations abusives non autorisées
- Présence d'importantes fuites visibles et invisibles sur le réseau.

II.8. Conclusion :

La réduction de pression a permis de réduire les pertes physiques de plus de 25% dans ce réseau vétuste.

Afin d'augmenter le rendement de cet étage et par conséquent diminuer encore ces pertes physiques, il est nécessaire de maîtriser les gros consommateurs de nuit, en faisant des enquêtes systématiques sur terrain de ce consommateur à risque, dans le but de détecter des éventuelles anomalies techniques et administratives le concernant.

Des campagnes de recherche de fuites doivent être lancées en les associant à des programmes à court-terme et long-terme de renouvellement de réseau comme les conduites et les branchements.

A decorative frame resembling a scroll, with a light blue border and rounded corners. The frame has a vertical bar on the left side and a small scroll-like detail at the top right corner. The text is centered within a rounded rectangular area in the middle of the frame.

Chapitre III
Modélisation des
comportements des pertes
physiques sous –EPANET–

Chapitre III

Modélisation des comportements des pertes physiques sous –EPANET–

III.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 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.

Le but de ce chapitre étant d'élaborer et de caler le modèle de l'étage de distribution T3 sous le logiciel *EPANET*, en passant par des essais et des campagnes de mesures effectuées sur terrain, dans le but de simuler les effets de la variation de la pression sur le débit de fuites.

III.2. Modélisation hydraulique d'un réseau d'A.E.P : [M. ABDELLATIF, 2011]

La modélisation du fonctionnement du réseau cherche à décrire le comportement hydraulique des différents dispositifs du réseau. L'intérêt est de reproduire ce qui se déroule en réalité dans le réseau à l'aide d'un modèle hydraulique.

La représentation et la précision du modèle sont tributaire des objectifs du service de l'eau et des analyses escomptées, le niveau de détail conditionne donc les résultats de la modélisation. Nous pouvons distinguer plusieurs types de modèles :

III.2.1. Modèle pour le dimensionnement d'un réseau :

Le modèle permet de vérifier pour une configuration donnée du réseau, la satisfaction des exigences des abonnés en termes de pression et de débit. L'intérêt est de dimensionner les conduites et dispositifs hydrauliques. L'état des conduites et la demande sont supposés connus. Le niveau de détail est important, toutes les conduites sont représentées.

III.2.2. Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic :

Dans ce cas, le modèle cherche à décrire le fonctionnement d'un réseau existant, par la détermination de l'état des conduites à travers la mesure de la rugosité des conduites et la demande des abonnés. Pour un réseau, des données liées à la topologie du réseau, les types des conduites, la typologie des consommateurs ainsi que des mesures de pression et débits en des points du réseau sont supposés connus. Un calage du modèle permet de déterminer certains paramètres inconnus : rugosité, consommation afin de s'approcher le plus possible du fonctionnement réel du réseau.

III.2.3.Modèle pour la gestion d'un réseau :

Dans ce cas le modèle servira à décrire le comportement des sources d'approvisionnement, des zones de stockage et des stations de pompage. L'intérêt de ce type de modèle est d'optimiser l'exploitation des sources d'eau et de minimiser les coûts d'exploitation du réseau en régulant le

pompage et le stockage de l'eau dans la journée. Ce modèle ne retient que les conduites de grand diamètre servant au transport et à la distribution de l'eau.

III.2.4. Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau :

Dans ce cas le modèle cherche à décrire les temps de séjour (stagnation) de l'eau dans le réseau. En effet des temps de séjour importants altèrent la qualité de l'eau dans le réseau. L'objet du modèle est de mesurer l'évolution d'un produit, à titre d'exemple le chlore, dans le réseau et d'en mesurer les concentrations à des points précis du réseau.

✓ Précision du modèle et représentation du réseau d'AEP : [A. GUESMIA, 2008]

La modélisation du fonctionnement du réseau doit décrire le comportement réel du réseau. En fonction de l'utilisation du modèle, un niveau de détail doit être défini. Le modèle ne considérera que certaines conduites du réseau et certains abonnés seront rassemblés sur des nœuds afin de simplifier la modélisation.

Il n'existe pas de règles précises pour la simplification de réseau, mais certaines sont fréquemment utilisées :

- Suppression des conduites de petits diamètres ou de petites longueurs ;
- Suppression des conduites en antenne ;
- Suppression des nœuds intermédiaires ;
- Agglomération de plusieurs abonnés en un même nœud ;
- Concaténation de conduites de même diamètre et même matériau ;
- Distinction entre abonnés de nature différente : domestique, industriel...etc.

III.2.5. Modélisation dans le logiciel EPANET : [S. GUILSOU, 2007]

Pour satisfaire aux exigences légales et aux attentes du public, les entreprises qui gèrent les services de distribution d'eau expriment une demande toujours plus grande pour une compréhension améliorée des déplacements et des transformations de l'eau dans leurs systèmes de distribution. Dans ce contexte, *EPANET* est un modèle de simulation informatique qui y contribue. **(Voir annexe 5)**

Dans un réseau de distribution d'eau potable, le débit sortant de la conduite de distribution principale alimentant le réseau n'est jamais égal, mais toujours supérieur à celui consommé par les abonnés, car il existe toujours des pertes physiques et commerciales dans le réseau.

Et là, encore nous nous retrouvons face à un paramètre influençant fortement le comportement du réseau, c'est les débits de fuites, leurs positions dans les conduites, leurs caractéristiques dimensionnelles...etc.

Une approche rigoureuse et affinée, applicable à la distribution de la fuite dans un réseau de distribution est d'employer la notion M.N.F (Minimum Night Flow) qui est le débit minimum de nuit lors des faibles consommations, en combinaison avec un modèle hydraulique de simulation tel qu'*EPANET*.

En effet *EPANET* explique le rapport entre la variation du débit de fuite et celle de la pression au niveau d'un nœud car il possède une option dite d'émetteur :

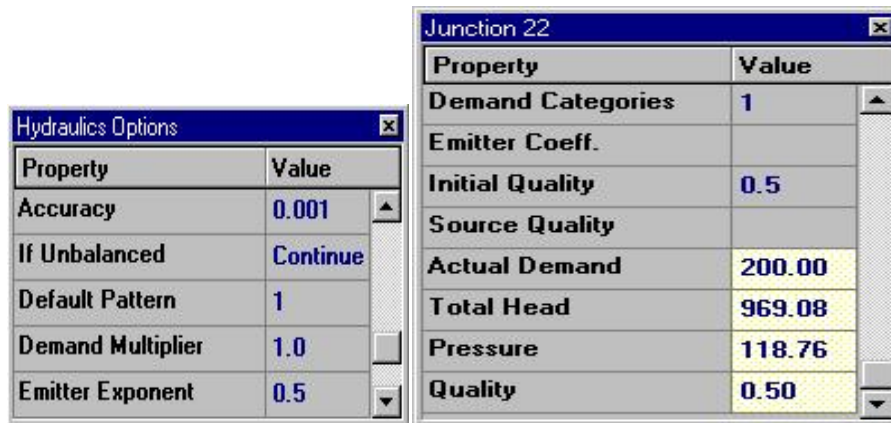


Figure III.1: Options d'émetteurs dans le logiciel *EPANET*. [JOINT.2001].

Cette option a pour but de simuler une fuite dans un tuyau relié à un nœud. Elle applique le rapport débit de fuite-pression le plus simple : [TABESH *et al.* 2009].

$$Q_{fuite} = C_i \times P^N \quad (III.1)$$

Avec :

Q_{fuite} : débit de fuite

P : pression.

C_i : coefficient de décharge (coefficient de l'émetteur) en relation avec les caractéristiques du nœud i comme le type, l'âge et l'état de la conduite...etc.) .

N_1 : exposant de l'émetteur (de pression) pour tout le réseau.

L'exposant N_1 peut varier de 0.5 à 2.5 (d'après des retours d'expérience internationaux suivant les réseaux expérimentés), cette variation a un rapport avec le type de fuites, à savoir la nature du matériau et la forme de la fuite (trou fissure...etc.) [Document technique. Suez environnement.2010].

Par exemple, une valeur élevée de N_1 se traduira par un fort impact d'un changement de pression et de débit de fuites.

A contrario, l'effet sera moins sensible pour un réseau ayant un exposant N_1 faible (Voir annexe 6)

La figure III.2 illustre la valeur N_1 en fonction du type de fuites :

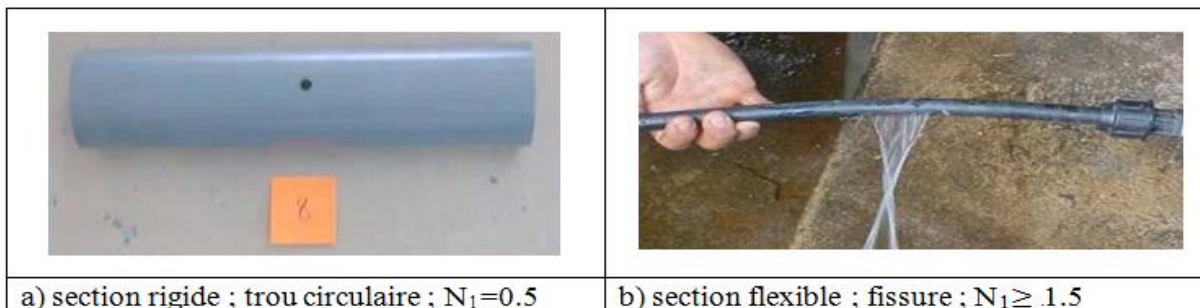


Figure III.2: Influence du type de matériaux et de la section de fuite sur la valeur de N_1 [Document technique. Suez environnement.2010].

Remarque :

On sait qu'*EPANET* comporte une option dite d'émetteur que ce soit concernant le coefficient de l'émetteur ou bien l'exposant de l'émetteur, cependant il est impossible de calculer le coefficient de l'émetteur pour chaque nœuds d'un réseau, sans pour autant utiliser ou créer un outil ou un programme. Le problème réside donc sur la manière de simuler les fuites sans prendre en considération ces coefficients de l'émetteur.

Pour calculer l'exposant de l'émetteur N_1 , il est possible :

- ✓ Soit d'utiliser un logiciel permettant de l'estimer (cette méthode peut être effectuée sous *EPANET* mais l'inconvénient est que ; ce dernier ne simulera aucune fuite sans qu'on lui injecte les coefficients de l'émetteur (coefficients de décharge de chaque nœuds)
- ✓ Soit de réaliser des mesures de pressions et de débits au point moyen et au point critique.

Nous avons donc opté pour la deuxième solution afin de déterminer cet exposant de l'émetteur nécessaire par la suite au calcul du débit de fuite à l'aide de l'équation de *FAVAD*.

Pour calculer l'exposant N_1 , il faut réaliser des mesures de pressions et de débit au point moyen et au point critique dans la zone à étudier.

III.3. Déroulement des essais effectués pour la modélisation de l'étage de Tipaza Est T3 :

Afin de mener à bien notre étude, et d'essayer de trouver la meilleure solution pour estimer les pertes physiques (débit de fuites) à l'étage de Tipaza Est T3, nous avons décidé d'utiliser la méthode du M.N.F (minimum night flow), qui consiste à mesurer le débit minimum de nuit.

En effet, en période de faible consommation (nuit), la pression est importante, donc le débit de fuites est important aussi, donc l'idée était de faire des mesures de débits et de pressions au point moyen (point représentatif du réseau) et au point critique (point le plus loin et le plus haut hydrauliquement) en y faisant varier la consigne de sortie de la vanne de modulation de T3 chaque jour durant une semaine, afin de montrer en premier lieu l'impact de la variation de la pression sur le débit de fuite mais aussi de pouvoir estimer l'exposant de l'émetteur N_1 nécessaire à la suite du projet.

L'étage Tipaza Est T3 est un étage qui compte environ 86 201 habitants répartis dans trois communes de Tipaza, avec un linéaire réseau très important de 86 026 ml, desservis par une seule vanne de modulation d'un diamètre important de 500mm.

Donc si on voulait augmenter la pression de sortie de cette vanne tous les jours de 0.5 bars par exemple ; le réseau vétuste de cet étage n'aurait jamais supporté un tel changement, même si ce changement est graduel, on aurait causé des dégâts importants comme l'éclatement des conduites par exemple.

Et si on voulait diminuer la pression de sortie chaque jour, chose qui pouvait se faire, on aurait perturbé les clients situés aux points critiques durant toute la période d'essai, car la vanne est programmée à s'ouvrir et se fermer selon un profil horaire.

Donc la solution était de trouver une zone en régulation représentative du réseau de Tipaza munie d'un stabilisateur de pression à son entrée dans lequel les variations de la pression n'auront pas un impact nuisible ni pour le réseau ni pour les abonnés.

Le choix de la zone s'est avéré très compliqué vue la complexité du réseau de Tipaza, néanmoins notre choix s'est porté à la fin vers la zone haute de Tipaza Centre.

L'avantage de ce choix est que cette zone se trouve à proximité de l'étage Tipaza Est et que les caractéristiques de ce réseau sont identiques comme l'âge des conduites, la nature des conduites...etc. Mais le seul problème réside dans la méthode qu'on va utiliser pour extrapoler les résultats trouvés vers l'étage de Tipaza Est.

III.3.1. Présentation de la zone d'essai :

La zone d'essai correspond à l'étage de Tipaza centre, située dans la partie haute de Tipaza, construisant une frontière avec l'étage T3, à la rue oued Merzoug où est implantée la vanne de modulation de 200mm, sur une conduite de 250mm à la cote 90m, c'est une petite zone d'un linéaire réseau de 6.8km.



III.3.2. Mesure du débit minimum de nuit (Minimum Night Flow) :

L'intérêt de ces essais est d'essayer de comprendre le comportement de ce réseau en y faisant varier la consigne de sortie. En effet, le stabilisateur de la rue Oued Merzoug est en régulation et délivre une consigne de 2.58bars.

La figure III.3 illustre la consigne de pression avant les essais :

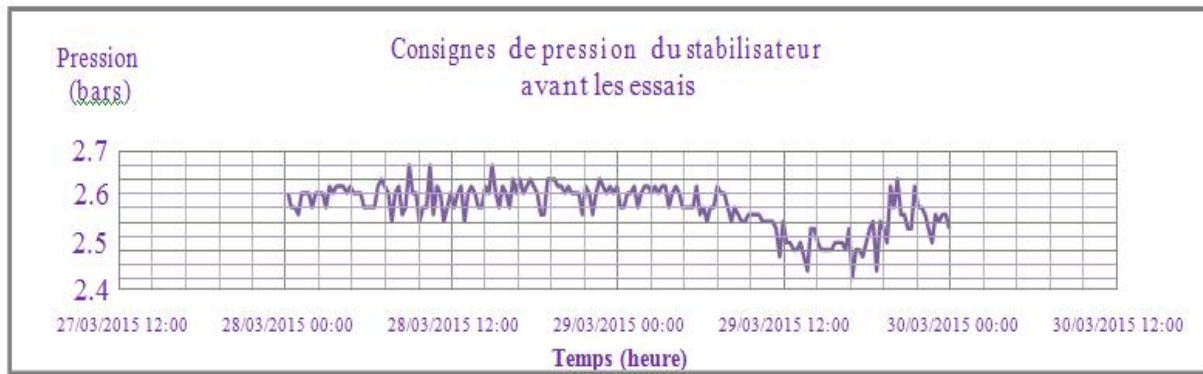


Figure III.3 : Consignes de pression du stabilisateur Oued Merzoug avant le début des essais.

Le but étant de faire varier la pression chaque 24h. Cette variation ne doit être ni trop importante pour la sécurité du réseau, ni trop faible pour pouvoir enregistrer une augmentation de ce débit de fuites.

La variation du débit de sortie du stabilisateur avant les essais est représentée dans la figure III.4

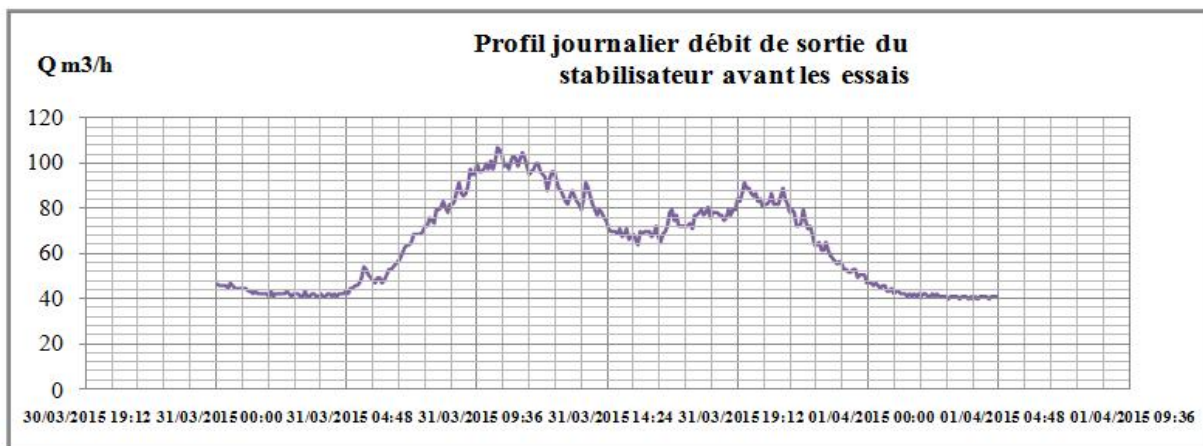


Figure III.4: Profil journalier du débit de sortie du stabilisateur Oued Merzoug avant le début des essais.

Nous remarquons, à travers ce graphe que, le débit minimum de nuit (Minimum Night Flow), est constant, il est d'environ 40m³/h, ce qui signifie qu'entre [00h00 et 4h48] du matin la consommation est minimale.

En réalité ce débit représente le débit de fuite, car la consommation dans cette zone est purement domestique et elle est négligeable, c'est-à-dire que la zone ne comporte pas de consommateurs de nuit comme les industries ou autres.

Pour mieux cerner la zone d'étude et pour avoir des résultats plus fins et précis, nous avons décidé de prolonger ces essais sur une période de quinze jours de la manière suivante :

1^{ère} semaine :

- On a fait varier la consigne de pression de 4 à 7 bars c'est-à-dire augmenter cette pression chaque jours de 0.5bar on aura alors (P₀ ; P₁ ; P₂ ; P₃ ; P₄ ; P₅ ...etc.) avec (p₁ =p₀ +0.5 bars ainsi de suite ...)

- On a mesuré dans cette zone la pression de sortie du stabilisateur et la pression au point critique on aura par conséquent une variation du débit sur 24H (Q_0 ; Q_1 ; Q_2 ; Q_3 ; Q_4 ; Q_5 ...etc.).

2^{ème} semaine :

Refaire le chemin inverse en variant la pression de 7 à 4 bars avec le même principe que la première semaine, l'avantage de cette étape est de déceler les scénarios possibles.

III.3.3. Interprétations des résultats obtenus :

1^{ère} semaine :

✓ **Pressions :**

➤ **Consigne de pression (sortie du stabilisateur rue Oued Merzoug) :**

La première partie des essais, nous avons augmenté la pression de sortie de la vanne de régulation de 5m (0.5bars) chaque jour à 10h00 du 01/04/2015 au 08/04/2015.

Remarque :

A l'issue de cette première semaine d'essai nous n'avons pas pu avoir une représentation des consignes de pression, ceci est dû à une mauvaise connexion lors du téléchargement des données à partir de l'enregistreur de pression.

Le profil de pression n'est pas vraiment important pour notre étude, car le but recherché est de constater que si on augmente progressivement la pression de sortie d'un stabilisateur (chose qui a été effectuée) le débit minimum de nuit augmente.

Sachant qu'on sait de combien on a augmenté la consigne de pression, et qu'on dispose d'un profil de débit de sortie de stabilisateur (Figure III.6) donc nous pourrions interpréter nos résultats le plus normalement possible, afin de pouvoir par la suite modéliser notre réseau.

Nous avons eu aussi, à l'issue de cette première semaine, un problème de remplissage du réservoir alimentant cette zone le 04/04/2015 de 9h45 à 22h45 et le 05/04/2015 de 7h00 à 15h45, la pression a donc chuté, même si on augmentait la consigne de sortie du stabilisateur, on n'aurait jamais atteint la pression souhaitée.

✓ **Pression au point critique (rue Rabta Mohamed) :**

Pour plus de précision, nous avons effectué des enregistrements de pression au point critique situé dans la rue Rabta Mohamed dans la zone haute de Tipaza Centre.

Le but étant de montrer l'augmentation de la pression au point critique durant la période d'essai.

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure ci-dessous :

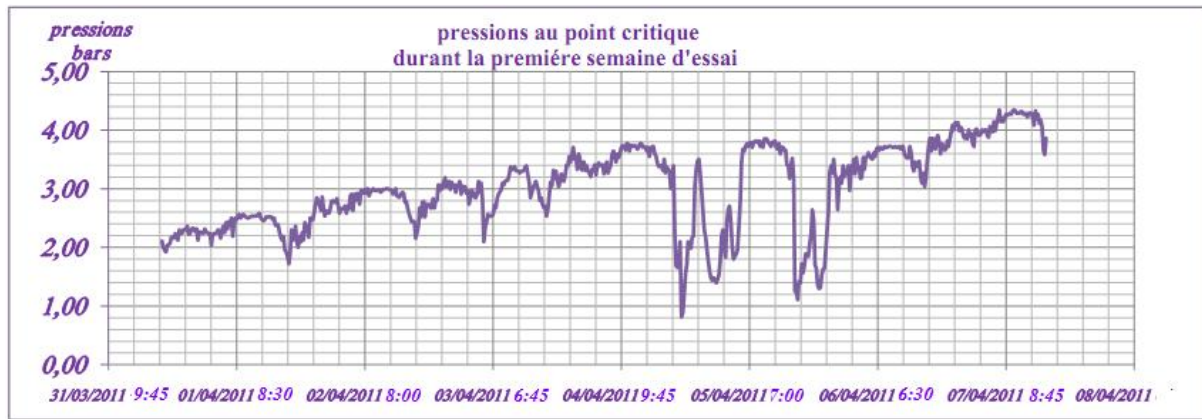


Figure III.5: Pression au point critique rue Rabta Mohamed durant la première semaine d’essai.

On remarque à travers ce graphe, une augmentation logique de la pression au point critique, qui est due à la variation de la consigne à la sortie du stabilisateur.

Les perturbations observées le 04/04/2015 de 9h45 à 22h45 et le 05/04/2015 de 7h00 à 15h45, correspondent à celles constatées à la sortie du stabilisateur dues à la chute de pression car le réservoir ne se remplissait pas.

✓ **Débit de sortie du stabilisateur (Oued Merzoug) :**

La figure III.6 illustre la variation du débit minimum de nuit (Minimum Night Flow) à la sortie du stabilisateur durant la période d’essai :



Figure III.6: Débit de sortie du stabilisateur Oued Merzoug durant la première semaine d’essai.

Les deux pics observés [le 01/04/2015 et le 08/04/2015 de 11h15 à 12h15] représentent la consommation maximale enregistrés durant la semaine (vendredi).

Cet enregistrement du profil du débit nous permet de voir la variation du débit minimum de nuit [M.N.F], lorsqu’on a varié la consigne de pression de 0.5bars chaque 24h durant une semaine.

En effet, avant de commencer les essais, nous avons constaté que le débit minimum de nuit, [M.N.F] soit le débit de fuite pour cette zone, était constant et égal à $40\text{m}^3/\text{h}$.

Mais dès qu'on a commencé à augmenter la consigne de pression le 01/04/2015 à 10h00, nous avons remarqué que le débit de fuite augmentait lui aussi et qui avait atteint un débit de $54\text{m}^3/\text{h}$ le 08/04/2015 à 02h45 du matin

2^{ème} semaine :

On n'a pas pu avoir des résultats concrets concernant les mesures de pressions à cause de la défaillance de l'enregistreur de pression posé à la sortie du stabilisateur Oued Merzoug et au point critique (rue Rabta Mohamed), néanmoins les enregistrements du débit de sortie de la vanne de régulation existe, ce qui est important pour l'interprétation de nos résultats.

Le graphe suivant illustre la diminution de débit minimum de nuit [M.N.F] lors de la deuxième semaine d'essai.



Figure III.7: Profil du débit de sortie du stabilisateur Oued Merzoug durant la deuxième semaine d'essai.

Durant la deuxième semaine, on a effectué un chemin inverse en diminuant graduellement la consigne de pression de 7 à 4bar c'est-à-dire revenir à l'état initial.

Nous remarquons à travers ce graphe une légère diminution voir une stagnation du débit minimum de nuit [M.N.F] représentant le débit de fuite de cette zone, chose qui était prévisible, ce débit de fuite est de l'ordre de $54\text{m}^3/\text{h}$.

La remarque essentielle qu'on doit faire sur ce graphe est que le retour vers la pression initiale ne permet pas de retrouver le débit minimum de nuit initiale, cela s'explique que de nouvelles fuites se sont créées, ou des fuites existantes se sont agrandies.

Remarque :

A l'issue de ces essais, aucune fuite n'a été signalée au centre de recherche de fuites de la direction de distribution de la *SEAAL*. Donc nous pouvons conclure que toutes ces fuites étaient invisibles.

III.4. Modélisation des effets de la variation de la pression sur le débit de fuite en utilisant le concept de FAVAD :

Pour pouvoir évaluer le rapport entre la pression dans la conduite et le débit déchargé à l’atmosphère par une fuite, un ingénieur se réfère généralement à la formule ci-dessous :

Le principe de conservation de l’énergie dicte que la vitesse v d’une fuite d’eau par un orifice de section S , change avec la racine carrée de la pression.

$$Q = C_d \times S \times \sqrt{2gp} \quad (III.2)$$

Avec :

Q : débit de fuite en (m³/s).

C_d : Coefficient de décharge

g : accélération de l’apesanteur (9.81m/ s²).

P : pression nette à l’orifice en (m)

Cependant, l’exposant dans l’équation (III.2) semblera excéder 0.5 si la section de l’orifice et le coefficient de C_d de décharge, changent également avec la pression par conséquent l’écoulement à travers cet orifice sera plus sensible à cette pression et donc l’équation généralisée utilisée pour simuler une fuite dans un réseau de distribution est l’équation (III.1) [THORNTON et al.2008].

$$Q_{fuite} = C_i * p^{N_1} \quad (III.3)$$

En effet, d’une part ; la vitesse de passage de l’eau à travers un orifice de section fixe varie bien selon la racine carrée de la pression disponible à l’orifice. Cependant la section de passage des fuites sur un matériau souple comme (le plomb, le PVC, le polyéthylène...etc.) n’est pas constante.

Et d’autre part, si le coefficient de décharge de l’équation énoncé plus haut est constant en régime turbulent 0.75, il varie en régime laminaire. Le régime d’écoulement de fuites de petite section. Comme les points de corrosion, est laminaire, et la variation de pression peut y entraîner une variation du coefficient de décharge d’un facteur 3 (de 0.25 à 0.75). [LAMBERT.2000]. (Voir annexe 7)

III.4.1. Concept de FAVAD :

Le modèle EPANET est associé au concept de FAVAD, il permet de simuler les impacts de la pression sur le débit de fuite.

Le terme FAVAD provient de l’anglais « Fixed And Variable Area Discharge », ce concept via la définition de l’exposant N_1 de l’équation (III.1), définit la relation entre le débit de fuite et la pression. [Document technique. Suez environnement.2010].

Depuis Mai 1994, ce concept est recommandé par le Royaume Unis et le Japon comme étant le meilleur moyen de prédire le comportement d’un réseau de distribution du point de vue pertes physique. [THORNTON et al.2008].

III.4.2. Mesure de l’exposant de l’émetteur N_1

Suite aux essais que nous avons effectués dans l’étage de distribution de Tipaza centre dans la zone haute de Tipaza, afin de déterminer l’exposant de fuite N_1 , nous avons aboutis aux résultats suivant :

Tableau III.1: Résultats des essais effectués dans la zone haute de Tipaza

Date	01/04/2015	02/04/2015	03/04/2015	04/04/2015	05/04/2015	06/04/2015
Pression (bars)	4	4.5	5	5.5	6	6.5
Q_{fuite} (m^3/h).	42,16	43.85	46.8	52.35	57.6	59

Le graphe ci-dessous illustre la variation du débit de fuite en fonction de la variation de la consigne de pression :

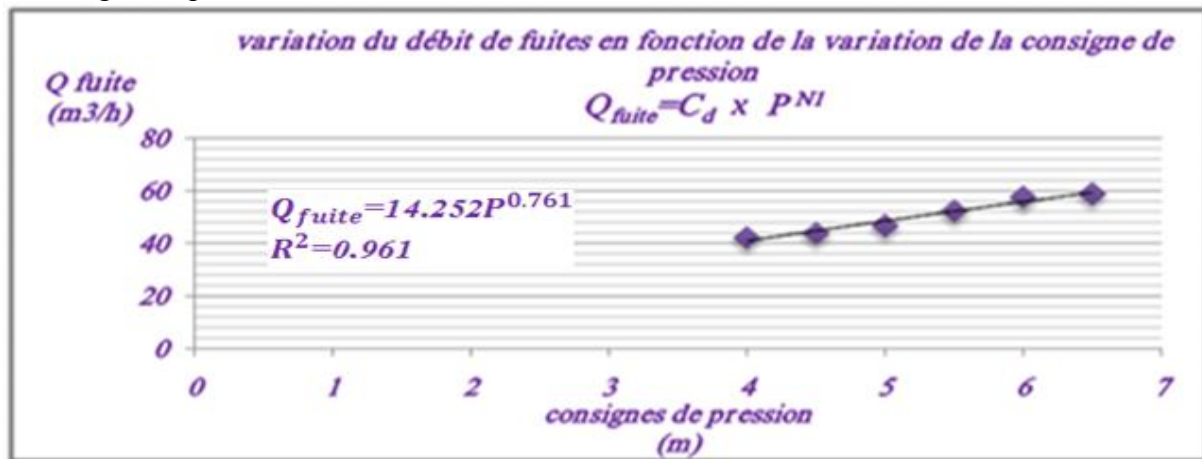


Figure III.8 : Variation du débit de fuites en fonction de la variation de la consigne de pression.

Nous remarquons à travers ce graphe que le débit de fuites augmente en fonction de l’augmentation de la consigne.

En effet, une augmentation de la pression de 4 a 6.5 bars a eu pour conséquence une augmentation du débit de fuite de 17m³/h.

Remarque :

En réalité la consommation de nuit existe toujours mais elle n’est pas vraiment importante comparer au débit de fuites c’est pourquoi nous l’avons négligé dans ces mesures.

Par suite nous pouvons déduire le coefficient de l’émetteur et de décharge nécessaires, pour la suite du projet :

$$N_1 = 0.761 \text{ et } C_d = 14.25$$

III.5. Elaboration du modèle sur l'étage T3 :

L'idée d'élaborer un nouveau modèle du réseau de T3 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 essayé de construire ce modèle par une autre méthode plus rapide et efficace, qui était d'extraire la base de données de T3 d'un logiciel nommé *PICCOLO* vers le logiciel *EPANET*.

En effet *PICCOLO* contient le modèle de tout le réseau de Tipaza, 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.

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

La figure III.9 illustre le modèle élaboré par *SOGREAH* sous le logiciel *PICCOLO* :

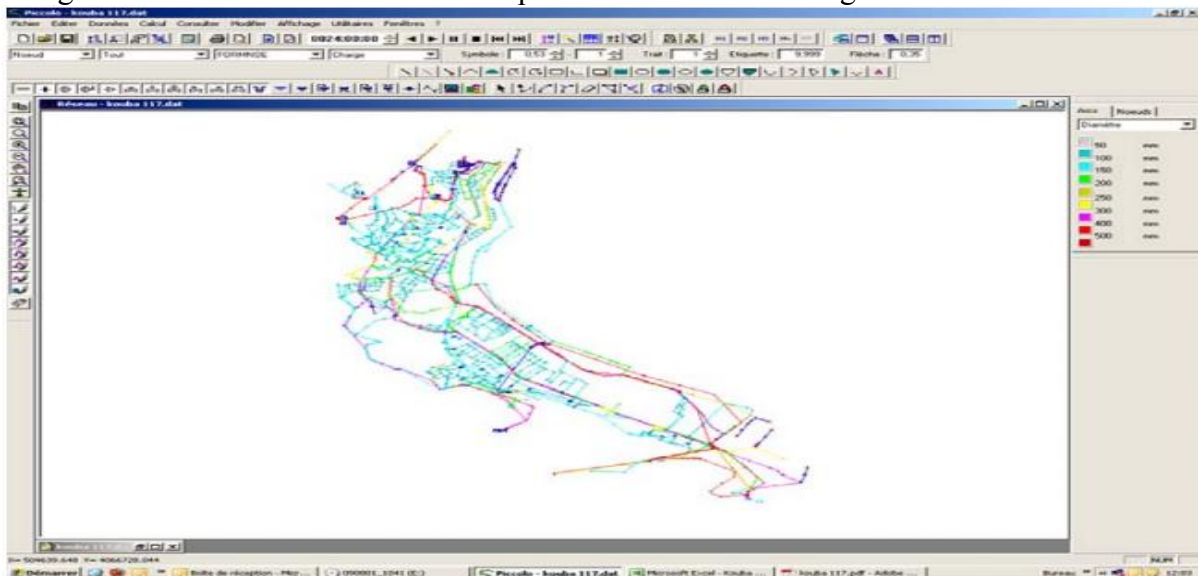


Figure III.9: Modèle du réseau T3 élaboré par *SOGREAH* sous *PICCOLO*. [Document technique. *SEAAL*.2015].

Pour pouvoir extraire la base de données du réseau T3 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*.

Dans le fichier d'entrée, une logique, ou une organisation, bien spécifique doit être respectée pour que le logiciel puisse traiter la base de données correctement.

- ✓ Importation de ce fichier d'entrée. [B. *RAMAROJAONA*, 2009]

Après l'élaboration du fichier, nous avons réussi à faire le passage *PICCOLO – EPANET* et on a pu avoir le modèle suivant affiché en figure III.10.



Figure III.10: Modèle obtenu de l'étage T3 sous *EPANET*.

Après quelques modifications apportées à ce modèle afin de l'actualiser (fermeture des frontières en consultant les plans du Système d'Information Géographique S.I.G), nous avons obtenu le réseau correspondant à l'étage de distribution modulé de T3.

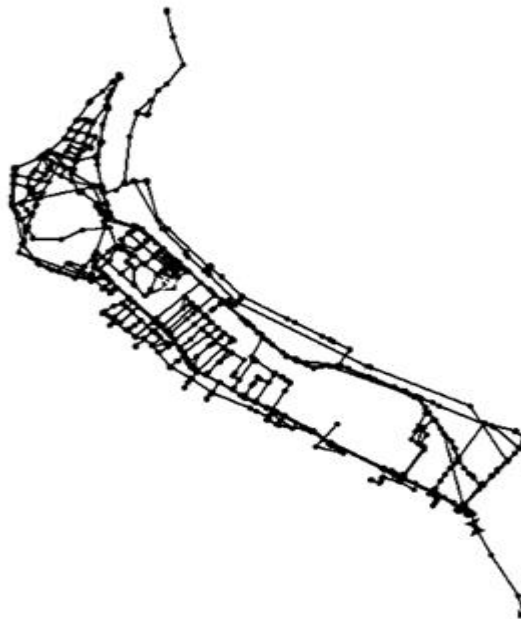


Figure III.11: Modèle actualisé de l'étage de distribution T3 sous *EPANET*.

Remarque :

- Nous avons pris comme repère du début de la zone modulée, l'emplacement de la vanne de modulation de pression situé a rue de El R.T.A, et non pas l'emplacement du réservoir T3.
- On a préféré enlever les conduites qui ne sont plus concernées par l'étage modulé T3, que de les laisser est de mettre des vannes de frontières comme l'avait fait le bureau d'étude SOGREAHA sur le logiciel *PICCOLO* (figure III.9).

III.5.1. Rugosité des conduites :

Dans un premier temps, nous attribuons une rugosité arbitraire de 0,1 mm. La rugosité permet de refléter l'état intérieur de la conduite.

Ce paramètre variant suivant l'âge, la nature de la canalisation et les sollicitations subies par les conduites, fait partie des paramètres de calage auxquels nous ne pouvons attribuer une valeur définitive en début de projet.

III.5.2. Réservoir :

Il n'est pas nécessaire de représenter un réservoir avec des entrées et des sorties, on optera seulement pour une référence de pression (hauteur de d'eau), cette référence de pression peut être obtenue dans EPANET par l'installation d'une bache infinie et de lui attribuer une charge totale égale à la cote du trop plein du réservoir (117 m).

En effet on prendra en considération seulement ce qui se trouve en aval de la vanne de modulation, car ce qui se trouve en amont n'est pas modulé.

III.5.3. 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, tout 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 caractéristiques de ces tronçons qui permettent 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 III.12 : Principe de la théorie du service en route [GUESMIA.2008].

Cette approche n'est valable que si les deux conditions, répartition uniforme des abonnés et sens unique d'écoulement, sont remplies. Sinon, 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 :

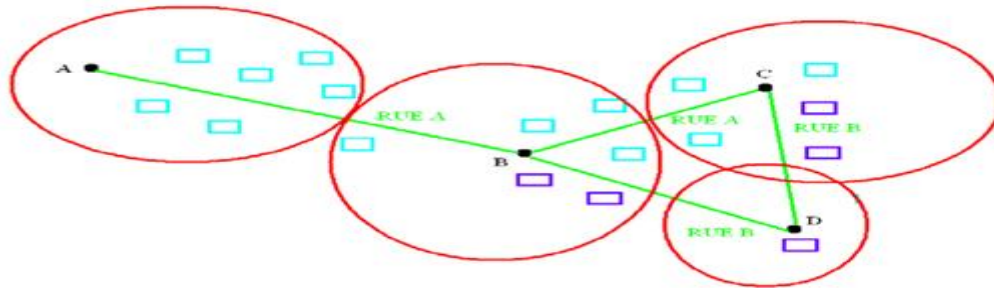


Figure III.13: Répartition de la consommation des abonnés sur les différents nœuds/[GUESMIA.2008].

Pour encore plus de précision du modèle, il est préférable, si possible, de bien localiser les nœuds à partir desquels les gros consommateurs sont alimentés, car leur consommations sont très variables et elles provoquent d'importantes perturbations de la pression dans le réseau.

Dans notre cas, la répartition de la consommation a été établie par *SOGREAH* en utilisant le logiciel *PICCOLO* qui possède un moteur de calcul pour la répartition de celles-ci.

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

✓ **Variation journalière 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.

➤ **Catégories de consommations :**

Quatre catégories de consommation ont été définies suite à des études faites par *SOGREAH* pour l'établissement du modèle de consommations :

- Consommations industrielles (Gros Consommateurs GC).
- Consommations domestiques(DOM).
- Consommations commerciales(COM).
- Consommations administratives(ADM).

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

La consommation domestique est évaluée à partir des dotations individuelles, fonction de la typo morphologie de l'habitat. **(Voir annexe 8)**

➤ **Courbes 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. [ROSSMAN.2000].

C'est une courbe représentant un coefficient de consommation horaire (multiplicateur) en fonction du temps (sur une journée avec un intervalle d'une heure).

La consommation d'un nœud à une heure bien précise de la journée est donnée par le produit du multiplicateur à cette heure par la consommation moyenne à ce nœud, et ceci pour les trois types de consommations.

Les figures suivantes représentent respectivement les courbes affectées aux catégories GC, DOM et DIF elles ont été établies par le bureau d'étude *SOGREAH* de façon empirique en prenant en considération des tendances connues.

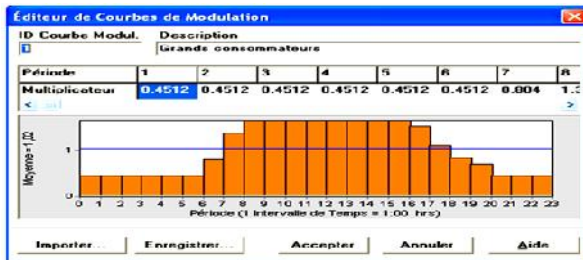


Figure III.14 : Profil GC.



Figure III.15: Profil ; DOM et DIF

III.5.4.Vanne de modulation :

La vanne de modulation de pression de l'étage T3 est située a la rue de El R.T.A, de type stabilisatrice de pression aval à pilote (**voir annexe 9**) ce type de vanne garantit une pression avale constante quelque soit les conditions de pression en amont ou de demande.

Le pilote de régulation est équipé d'un contrôleur électronique (**Voir annexe 9**) (alimenté par une batterie) qui permet de modifier la consigne de pression en fonction du débit délivré ou bien en fonction d'un profil horaire.

Nous avons par conséquent choisi d'appliquer le type réel de vanne se trouvant dans le terrain (stabilisateur aval) dans notre modèle, cette option se trouve dans « type de vanne » dans *EPANET* :

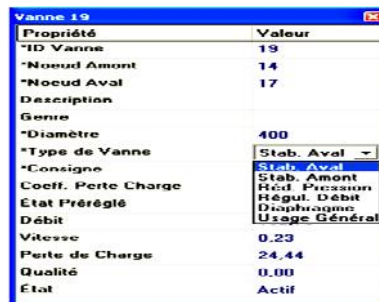


Figure III.16: Vanne stabilisatrice aval dans *EPANET*.

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

- Partiellement ouvert (c'est-à-dire, en régulation) pour maintenir une pression aval correspondant à la consigne donnée, quand la pression en amont est plus élevée que la pression de la consigne ;
- Entièrement ouvert si la pression en amont est au-dessous de la consigne souhaitée ;
- Fermé, 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 est en régulation, elle est programmée à s'ouvrir ou à se fermer selon un profil horaire.

Les consignes de pressions injectées dans le modulo sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2: profil horaire de régulation de la vanne stabilisatrice aval T3.
[Document.technique .SEAL.2015]

<i>Heure (h)</i>	<i>Consigne</i>	<i>Charge (m)</i>	<i>Heure (h)</i>	<i>Consigne</i>	<i>Charge (m)</i>	<i>Heure (h)</i>	<i>Consigne</i>	<i>Charge (m)</i>
00h00	38	66.5	08h00	58	86.5	16h00	50	78.5
01h00	38	66.5	09h00	62	90.5	17h00	50	78.5
02h00	38	66.5	10h00	62	90.5	18h00	50	78.5
03h00	38	66.5	11h00	62	90.5	19h00	53	81.5
04h00	38	66.5	12h00	60	88.5	20h00	53	81.5
05h00	38	66.5	13h00	57	85.5	21h00	53	81.5
06h00	49	77.5	14h00	55	83.5	22h00	49	77.5
07h00	53	81.5	15h00	52	80.5	23h00	49	77.5

III.5.5.Régulation dans *EPANET* (commandes) :

Les commandes sont des instructions qui déterminent comment le réseau est géré pendant la simulation. Elles indiquent l'état des 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 [ROSSMAN.2000].

Dans notre modèle on a programmé la vanne stabilisatrice avale en lui attribuant les consignes de pression (tableau ci-dessus) selon un profil horaire.

Il existe par conséquent deux types de commandes :

✓ **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 rédigées en suivant l'un de ces trois modèles:

```
LINK IDArc état IF NODE ID Noeud ABOVE/BELOW valeur...1)
LINK IDArc état AT TIME temps...2)
LINK IDArc état AT CLOCKTIME heure AM/PM...3)
```

Dans lesquels :

- **IDArc** : 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 = 12 : 30 AM)
- [ROSSMAN.2000].**

Nous avons opté pour ce type de commandes, et précisément le deuxième modèle, afin d'introduire le profil de régulation horaire. la figure de cet éditeur est représenté ci-dessous :

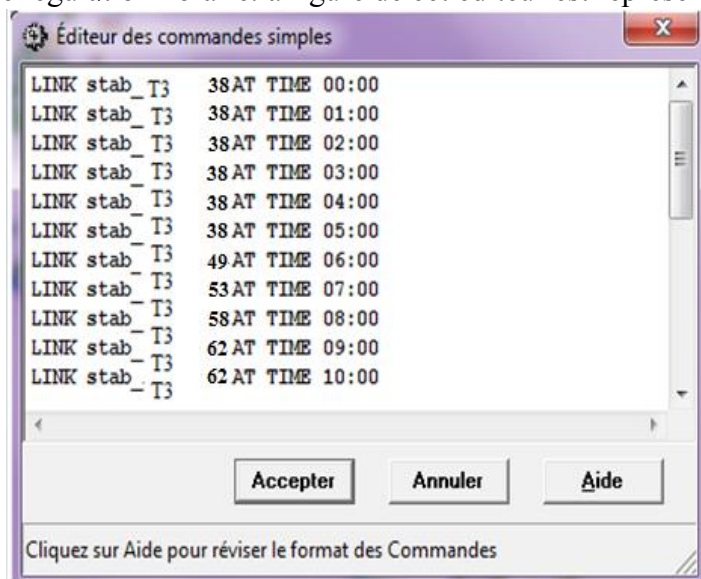


Figure III.17 : consignes de pression du stab_T3 injectées dans l'éditeur de commandes d'EPANET.

Exemple :

Tableau III.3: Exemple de commande simple appliquer a notre modèle.

Commande	Signification
LINK stab_T3 58 AT TIME 08:00	Mettre la consigne de pression de la vanne stab_T3 à 58m ,8 heures après le début de la simulation.

✓ **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 suivantes entrées informent sur la construction de ces commandes.

Chaque commande élaborée est une série de déclarations de la forme suivante :

```
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).

Exemple :

Cet ensemble de règles arrête une pompe et ouvre un tuyau de déviation quand le niveau dans un réservoir dépasse une certaine valeur, et fait l'inverse quand le niveau passe au-dessous d'une autre valeur.

```
RULE 1
IF TANK 1 LEVEL ABOVE 4.8
THEN PUPM 335 STATUS CLOSED
AND PIPE 330 STATUS OPEN

RULE2
IF TANK 1 LEVEL BELOW 0.5
THEN PUPM 335 STATUS IS OPEN
AND PIPE 330 STATUS IS CLOSED
```

Règle 1 : Arrêt de la pompe 335 et ouverture du tuyau 330 quand le niveau du réservoir 1 monte au-dessus de 4,80 m

Règle 2 : Démarrage de la pompe 335 et fermeture du tuyau 330 si le niveau dans le réservoir 1 descend en dessous de 0,50 m.

Ce type de commande peut être utilisé pour l'établissement du profil de régulation en fonction du débit. [ROSSMAN.2000].

III.6. Première simulation (état actuel ; après modulation de pression) :

Une première simulation a été effectuée afin de faire tourner le modèle correctement, les résultats de cette simulation sont représentés dans les figures suivantes :

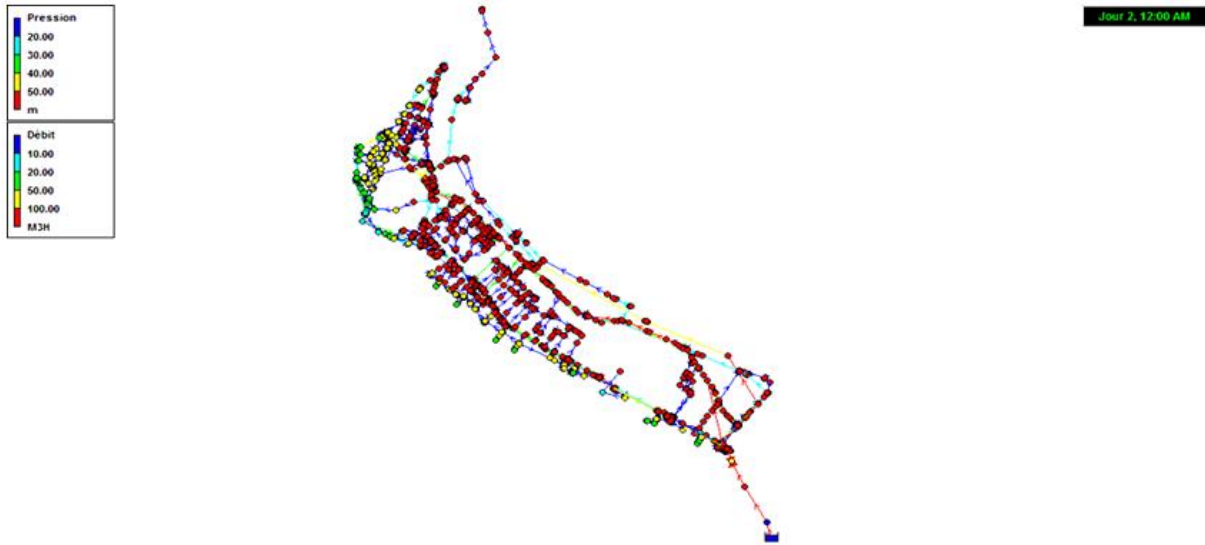


Figure III.18: Situation actuelle (après modulation) aux heures creuses [00 :00].



Figure III.19: Situation actuelle (après modulation) aux heures de pointes [12 :00].

Nous remarquons à l'issue de ces deux figures la différence de pression entre les heures de faibles consommations et les heures de pointe.

En effet en périodes de nuit les pressions sont très faibles de l'ordre de 20 à 30 m dans les parties hautes du réseau.

Tandis qu'en période de pointe les pressions sont plus au moins importantes, ils dépassent les 50m dans la majeure partie du réseau.

Nous pouvons en conclure que l'élaboration de la modulation de pression à l'étage de distribution T3, a permis de gérer le réseau en diminuant les pressions excessives surtout en périodes creuses.

III.7. Campagnes de mesure :

Dans le but de caler notre modèle et de déceler des éventuelles anomalies dans le réseau T3, nous y avons placé quatre enregistreurs de pressions ; un à la sortie de la vanne de modulation, un au point critique, et deux dans deux autres points, mais aussi un débitmètre a la sortie de la vanne de modulation de T3.

Ces mesures ont été effectuées durant une période de 15 jours du 01/04/2015 au 15/04/2015 et on a pris comme jour de référence commun aux mesures le 04/04/2015 afin d'affiner les résultats du calage.

La figure ci-dessous illustre le positionnement des enregistreurs de pressions et de débits dans le réseau T3:

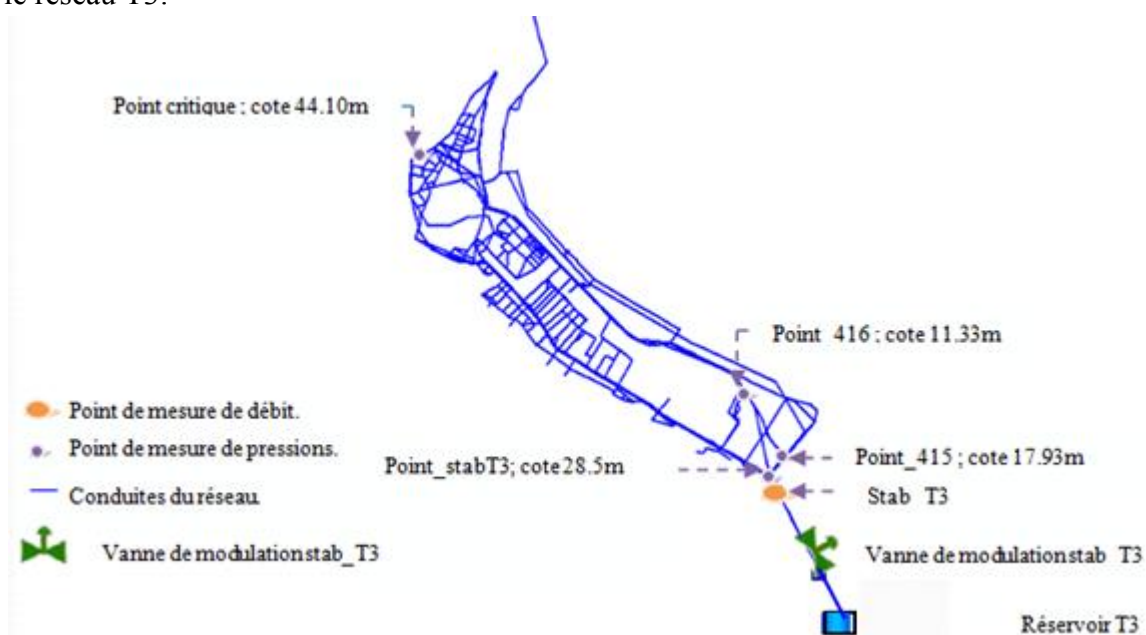


Figure III.20: Positionnement des points de mesure de pressions et de débits.

III.8. Calage du modèle :

Le calage consiste à essayer d'approcher au mieux possible le comportement du modèle à celui de la réalité, et ce dans le but de rendre le modèle représentatif de la réalité du terrain.

Nous n'avons pu avoir qu'un seul point de mesure de débit sur tout le réseau, c'est celui à la sortie de la vanne de modulation piquée sur une 700mm à rue de El R.T.A et seulement quatre points de mesure de pressions. Ce qui est un point négatif pour le calage.

III.8.1. Situation initiale :

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

La courbe représente l'évolution du débit calculé par *EPANET*, et les points représentent les résultats de débit moyen mesuré a la sortie de la vanne de modulation et ceux le 04/04/2015.

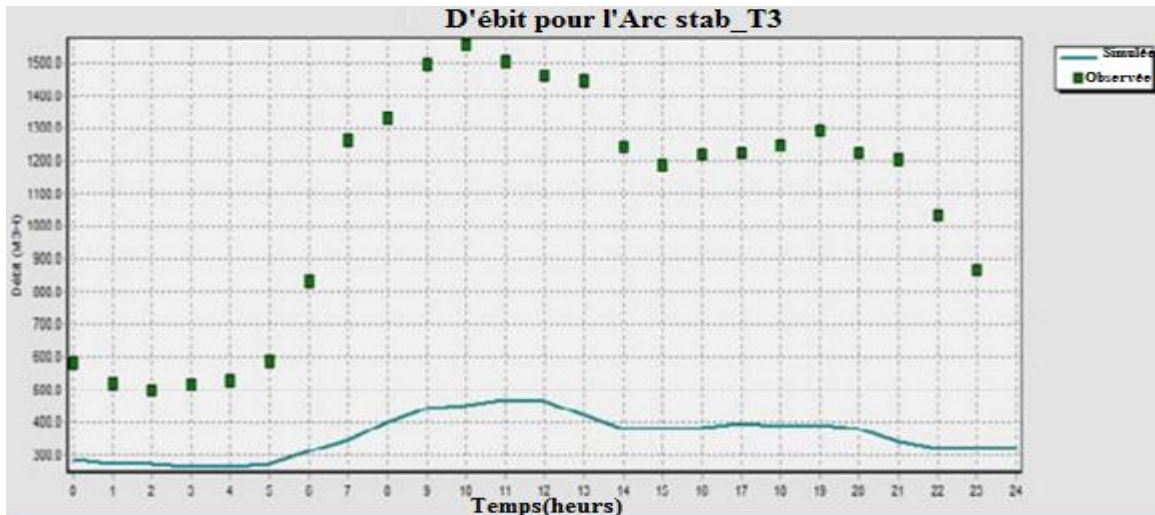


Figure III.21: Débit mis en distribution simulé et observé.

Les résultats du modèle ne sont pas représentatifs de la réalité, Cette non représentativité peut être prouvée par *EPANET* qui fournit un rapport statistique sur le calage du modèle (tableau III.4).

Tableau III.4: Statistique de calage pour le débit

T3					
Statistique de calage pour le débit					
Point de mesure	Nombre obs.	Moyen obs.	Moyen Sim	Erreur moy	Dev stand
Stab_T3	24	1077.75	360.55	717.196	774.821
réseau	24	1077.75	360.55	717.196	774.821
Corrélation entre valeurs moyenne : 0.000					

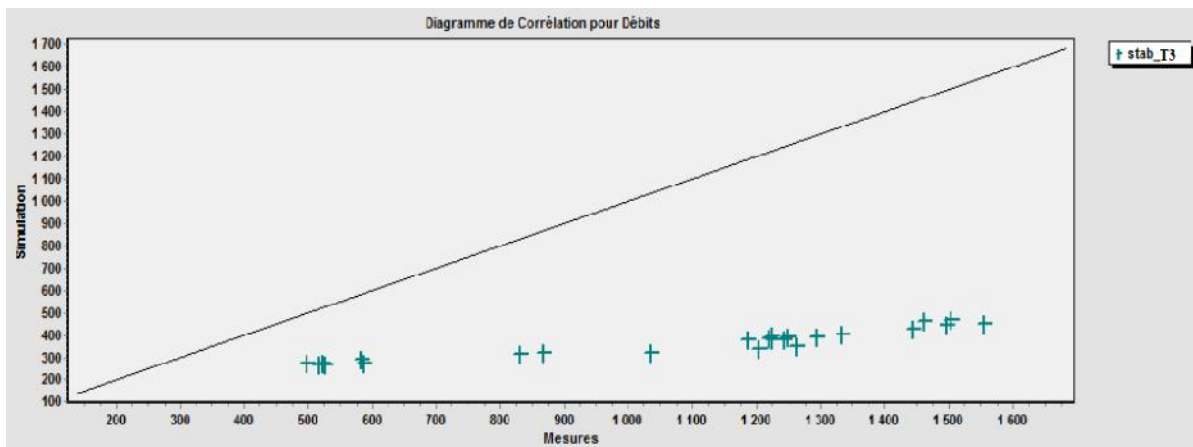


Figure III.22: Diagramme de corrélation pour le débit.

En ce qui concerne les points de pressions nous remarquons une légère ressemblance des pressions simulées et observées au point stab_T3 et au point_ critique, mais à ce stade de l'étude nous ne pouvons pas tirer de conclusions vu que le calage en débit n'as pas encore était effectué.

Les figures III.23, III.24, III.25 et III.26 illustrent la variation de la pression observée et simulée :

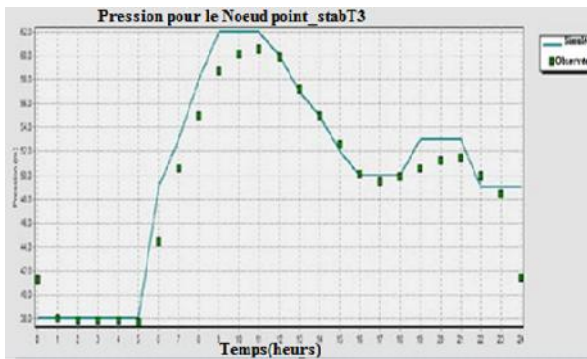


Figure III.23: Pression pour nœud point_stabT3

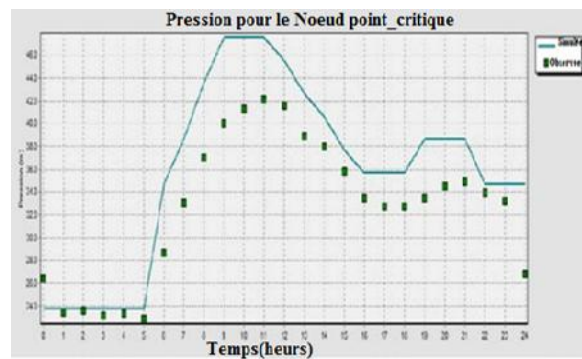


Figure III.24: Pression pour nœud point_critique

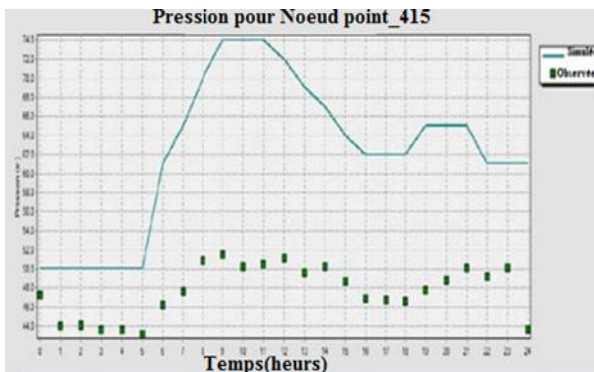


Figure III.25: Pression pour le nœud_415

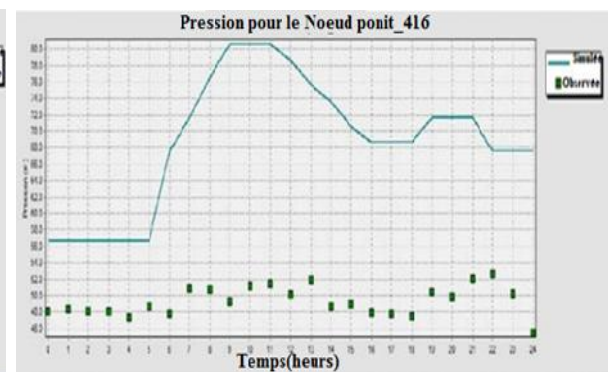


Figure III.26 : Pression pour le nœud_416

Les statistiques du calage et le diagramme des corrélations des pressions données par EPANET sont représentés ci-dessous :

Tableau III.5: Statistique de calage pour pressions

T3					
Statistique de calage pour pressions					
Point de mesure	Nombre obs.	Moyen obs.	Moyen Sim	Erreur moy	Dev stand
point_stabT3	25	47.69	61.76	14.067	15.286
Point_critique	25	32.59	35.37	3.242	3.881
Point 415	25	49.35	68.34	18.992	20.345
Point 416	25	49.11	49.72	1.304	1.860
réseau	100	44.69	53.80	9.401	12.904
Corrélation entre valeurs moyennes : 0.842					

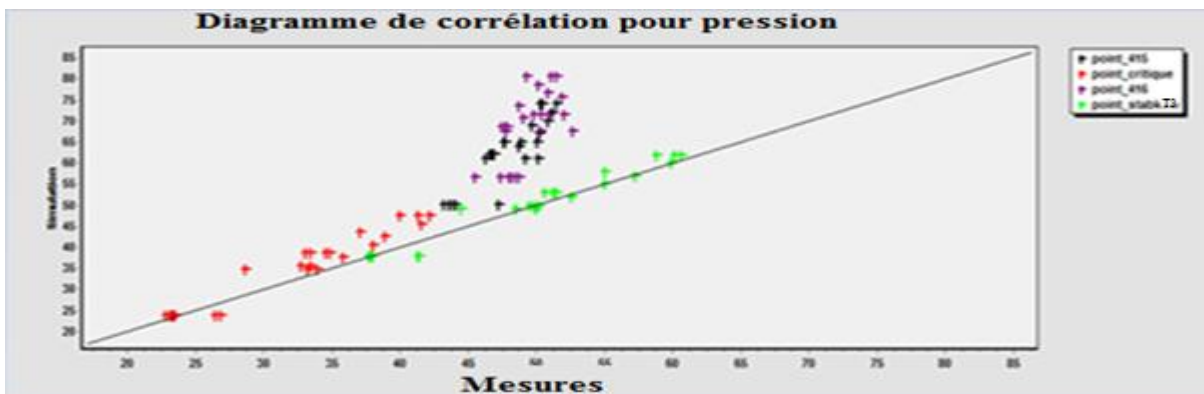


Figure III.27 : Diagramme de corrélation pour les pressions.

Les résultats de pressions obtenus dans les deux figure III.25 et III.26 de la figure a sont très différents par rapport à la normale.

La logique des choses était de trouver des allures qui se ressemblent entre les mesures et les simulations même avant le calage du modèle. Ce qui n'est pas le cas.

Nous procédons alors au calibrage du modèle.

III.8.2. Calibrage et validation du 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.

✓ 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-estimés.

✓ Modification des demandes aux nœuds :

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

- Nous avons dans un premier cas et à partir d'un fichier *EXEL* 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. (**voir annexe 11**)

✓ 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 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. (**voir annexe 11**)

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

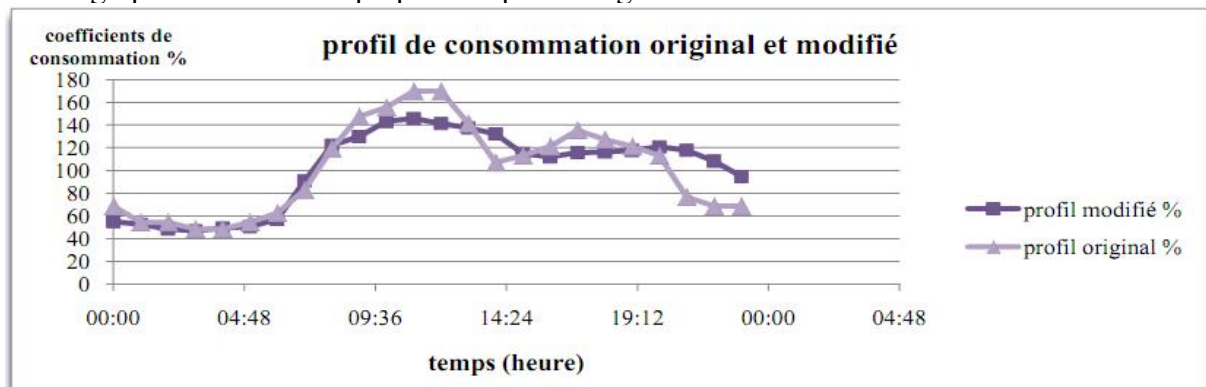


Figure III.28: Profil de consommation ; original et modifié.

La figure suivant illustre les nouveaux coefficients de consommation domestique (multiplicateurs)

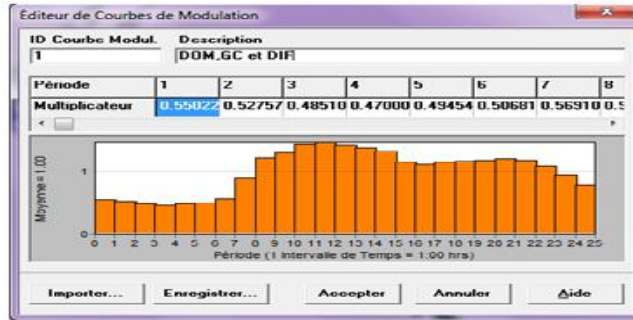


Figure III.29: Nouvelle courbe de modulation.

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



Figure III.30: Comparaison des débits simulé et observer après modification.

Nous remarquons à partir 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 III.6: statistique de calage pour le débit après calibrage du modèle.

T3					
Statistique de calage pour le débit					
Point de mesure	Nombre obs.	Moyen obs.	Moyen Sim	Erreur moy	Dev stand
Stab_T3	24	1069.29	1069.29	0.000	0.000
réseau	24	1069.29	1069.29	0.000	0.000
Corrélation entre valeurs moyenne : 1.000					

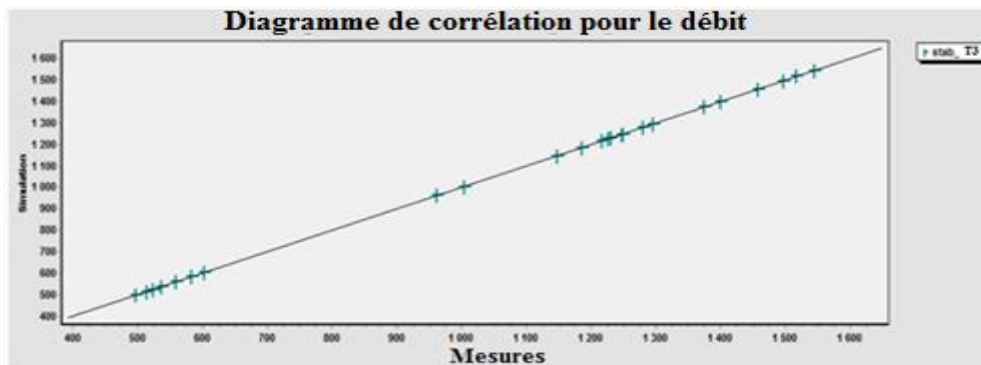


Figure III.31: Diagramme de corrélation pour le débit après calage.

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.

✓ **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 et de la courbe de modulation des consignes de pression du modulo de la vanne stabilisatrice aval de T3

➤ **Modification de la rugosité des conduites :**

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 de Tipaza qui est très vétuste.

Il aurait été plus intéressant de prendre un échantillon de différents types et de diamètres des conduites de l'étage T3, pour une représentation très affinée, néanmoins nous avons décidé d'augmenter cette rugosité et la prendre égale à 1mm, ce qui très logique vu l'état du réseau de Tipaza

➤ **Modification de la courbe de modulation du modulo :**

Pour un calage plus précis en pression, il était nécessaire de modifier les consignes de pression du modulo de la vanne stabilisatrice aval T3 en les remplaçant par les mesures de pressions obtenues au point de sortie de cette vanne étant donné que ce point se trouve à la même altitude et tout près de l'emplacement de la vanne de modulation à la rue de El R.T.A.

Le graphe III.32 illustre la comparaison des consignes de pressions de la vanne de modulation et les mesures de pressions effectuées au point_stabT3

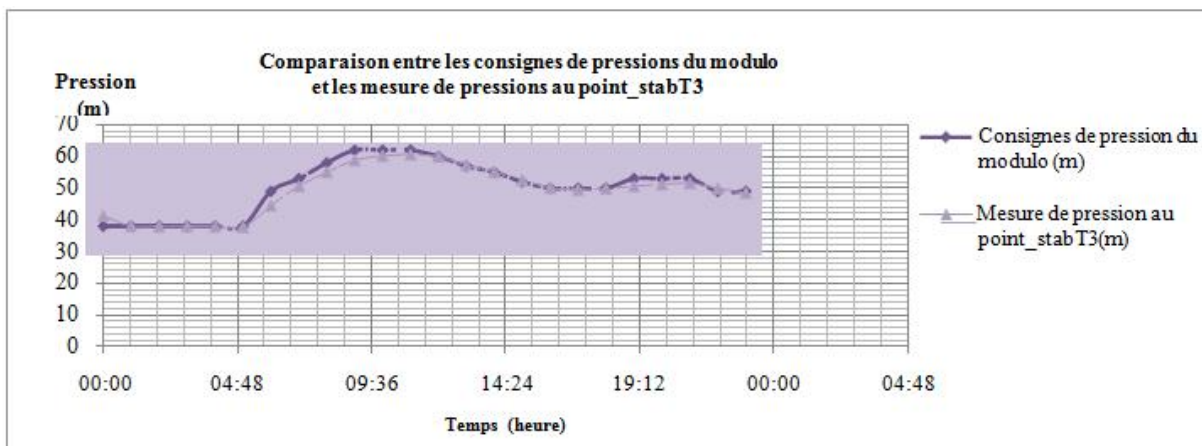


Figure III.32: Comparaison entre les consignes de pression du modulo et les mesures de pression au point_stabT3.

Les nouvelles consignes de pressions sont représentées ci-dessous :

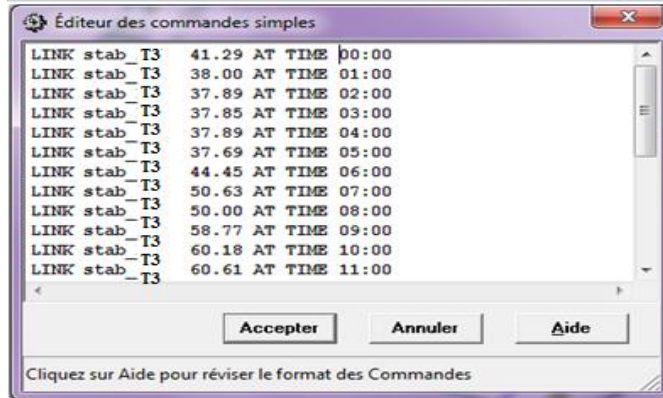


Figure III.33: Nouvelles consignes de pressions injectées dans l’éditeur de commande d’EPANET.

Après avoir introduit la nouvelle rugosité et les nouvelles consignes de pressions, les résultats obtenus sont affichés dans les figures III.34, III.35, III.36 et III.37.

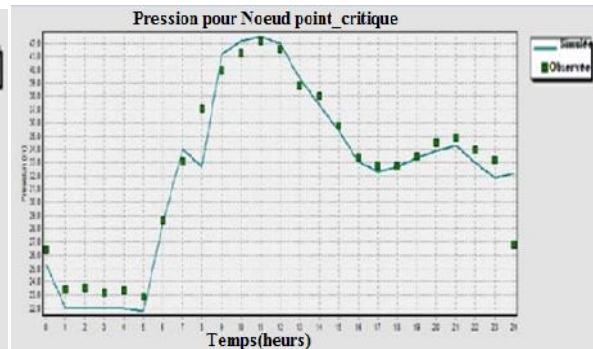
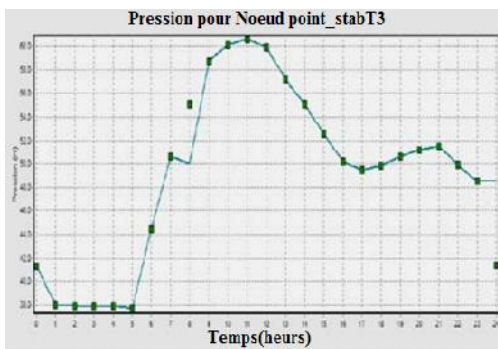


Figure III.34: Pression pour nœud point_stabT3

Figure III.35: Pression pour nœud point_critique

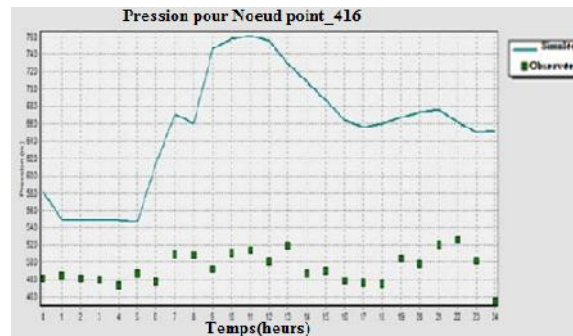
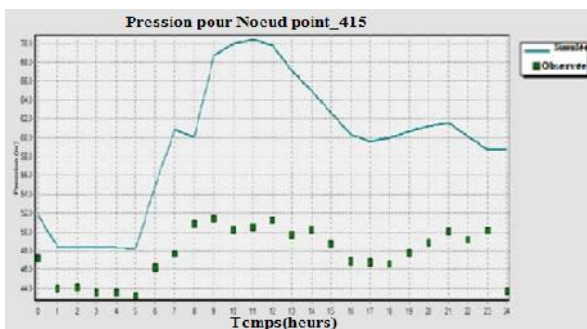


Figure III.36: Pression pour le nœud_415

Figure III.37: Pression pour le nœud_416

Le rapport du calage des pressions après les modifications effectué est illustré ci-dessous :

Tableau III.7 : Statistiques de calage pour pressions après modifications.

T3					
Statistique de calage pour pressions					
Point de mesure	Nombre obs.	Moyen obs.	Moyen Sim	Erreur moy	Dev stand
point_stabT3	24	47.86	59.38	11.527	12.555
Point_critique	24	32.83	32.28	0.925	1.253
Point_415	24	49.51	65-51	16.005	17.142
Point_416	24	49.43	49.22	0.211	1.023
réseau	96	44.91	51.60	7.167	10.655
Corrélation entre valeurs moyennes : 0.878					

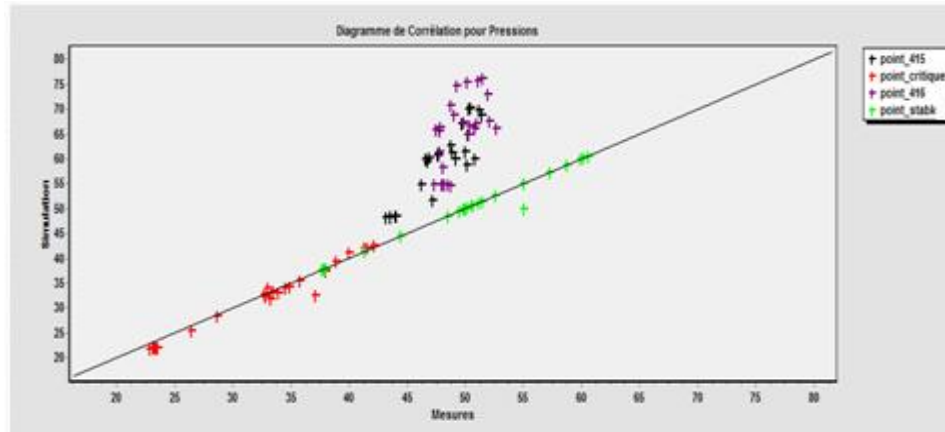


Figure III.38: Diagramme de corrélation pour pression après modifications.

Les résultats du calage en pression pour le point_stabT3 (fig. III.34) et le point_critique (fig. III.35) sont parfaits c'est-à-dire que les pressions simulées sont identique à celles observées sur le terrain.

Par contre les résultats obtenus pour le point_415 et le point_416 ne sont pas vraiment performants voir illogiques.

Les tableaux suivants illustrent plus en détail le comportement en terme de pressions du point_415 et du point_416 :

Tableau III.8: Comparaison entre le pointT3 et le point_415.

<i>heure</i>	<i>Point de pression</i>	<i>Pression mesuré P(m)</i>	<i>Altitude Z (m)</i>	<i>Charge H (m)</i>	<i>Pertes de charge H (m)</i>
12 :00 <i>(Heure de pointe)</i>	Point_stabT3	59.94	28.5	88.44	19.31
	Point_415	51.2	17.93	69.13	
00 :00 <i>(Heure creuse)</i>	Point_stabT3	41.29	28.5	69.79	4.66
	Point_415	47.205	17.93	65.135	

Tableau III.9: Comparaison entre le point_T3 et le point_416.

<i>heure</i>	<i>Point de pression</i>	<i>Pression mesuré P(m)</i>	<i>Altitude Z (m)</i>	<i>Charge H (m)</i>	<i>Pertes de charge H (m)</i>
12 :00 <i>(Heure de pointe)</i>	Point_stabT3	59.94	28.5	88.44	26.96
	Point_416	50.145	11.335	61.48	
00 :00 <i>(Heure creuse)</i>	Point_stabT3	41.29	28.5	69.79	10.385
	Point_416	48.07	11.335	59.405	

Nous remarquons à l’issue des deux tableaux III.8 et III.9 que la perte de charge entre le point_stabT3 c'est-à-dire le point de sortie de la vanne de modulation et les deux points (415 et 416) est très importante malgré que ces derniers se situent à proximité du point_stabT3. (Le point_415 se trouve à environ 1 km et le point_416 a environ 1.5km de la vanne de modulation (figure III.20).

Le tableau ci-dessous illustre une comparaison entre le point_stabT3 et le point_critique afin d’en savoir plus sur l’origine de cette perte de charge excessive.

Tableau III.10: Comparaison entre le point_T3 et le point_critique

<i>heure</i>	<i>Point de pression</i>	<i>Pression mesuré P(m)</i>	<i>Altitude Z (m)</i>	<i>Charge H (m)</i>	<i>Pertes de charge H(m)</i>
12 :00 <i>(Heure de pointe)</i>	Point_stabT3	59.94	28.5	88.44	2.7
	Point_critique	41.565	44.104	85.669	
00 :00 <i>(Heure creuse)</i>	Point_stabT3	41.29	28.5	69.79	Négligeable
	Point_critique	26.43	44.104	70.534	

Nous remarquons à partir du Tableau (III.10) une faible perte de charge au niveau du point_critique ; car ce dernier est pris directement sur une grande conduite de diamètre DN 800 mm.

L’intérêt de cette comparaison était de montrer le bon comportement du réseau de l’étage T3. En effet, lors de la mise en place de la modulation de pression, il fallait ouvrir toutes les vannes présentes dans le réseau pour une bonne circulation hydraulique et une diminution de la perte de charge.

Mais reste à comprendre pourquoi la perte de charge des deux points (415 et 416) est excessive ?

Après avoir longuement cherché la solution à ce problème, nous avons abouti aux suppositions suivantes :

- Les deux points (415 et 416) se situent dans une zone à maillages très compliquée, ou certaines conduites non détectées peuvent être fermées, d’où une circulation anormale de l’eau.
- Présence de vannes fermées non détectés et d’autres vannes tiercés.
- L’excessive chute de pression à l’heure de pointe est peut être due aux fuites présentes dans ce réseau vétuste.

Remarque :

Nous avons du extraire le point_415 et le point_416 de notre calage pour des résultats plus logique.

III.8.3. bilan du calage du modèle :

Après avoir calé notre modèle au mieux avec des données minimales nous présenterons dans ce qui suit le bilan du calage de notre modèle.

✓ **Bilan du calage en débit :**

Les résultats du calage du débit ont été présentés dans le paragraphe III.8.2.de ce chapitre, néanmoins nous présenterons ci-dessous la comparaison des valeurs moyennes données par *EPANET* :

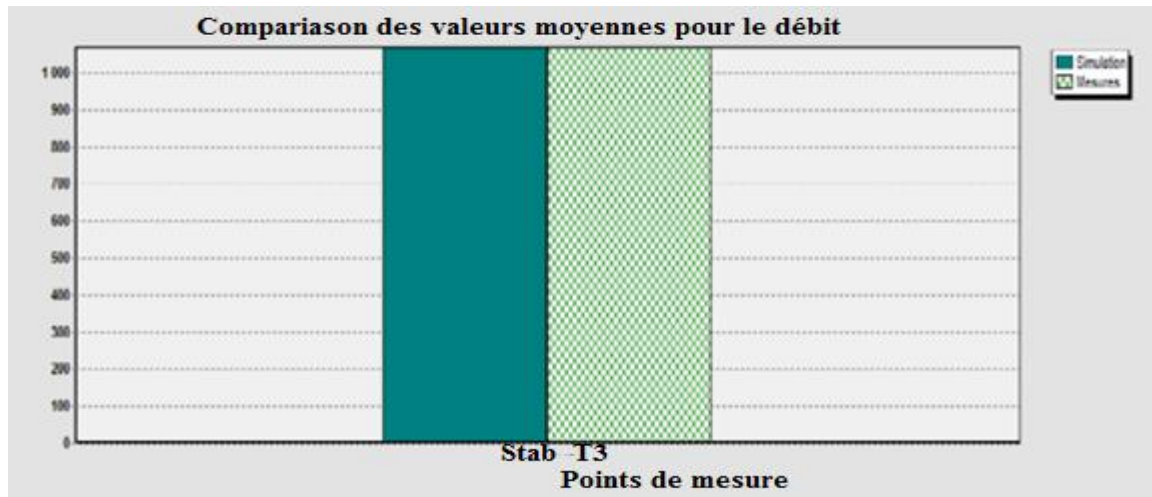


Figure III.39: Comparaison des valeurs moyennes pour le débit au point stab_T3.

✓ **Bilan du calage en pressions :**

Après avoir éliminé le point_415 et le point_416 de notre calage afin de ne pas avoir des perturbations dans notre modèle, nous avons obtenu à travers *EPANET* le rapport de calage suivant :

Tableau III.11: Statistiques de calage pour pressions (final).

T3					
Statistiques de calage pour pressions					
Point de mesure	Nombre obs.	Moyen obs.	Moyen Sim	Erreur moy	Dev stand
Point stabT3	24	32.83	32.28	0.925	1.253
Point critique	24	49.43	49.22	0.211	1.023
réseau	48	41.13	40.75	0.568	1.144
Corrélation entre valeurs moyennes : 1.000					

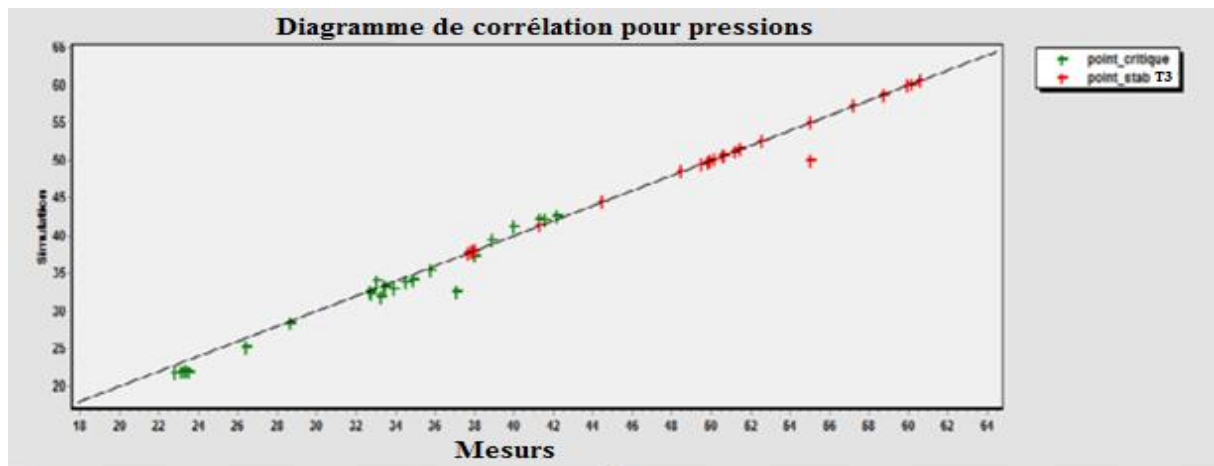


Figure III.40: Diagramme de corrélation pour pressions (final).

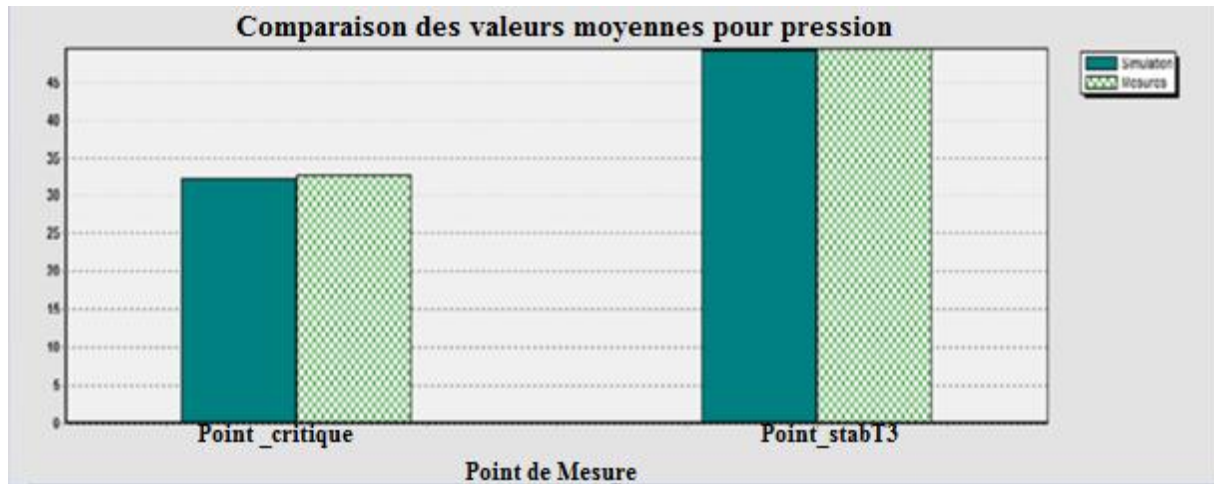
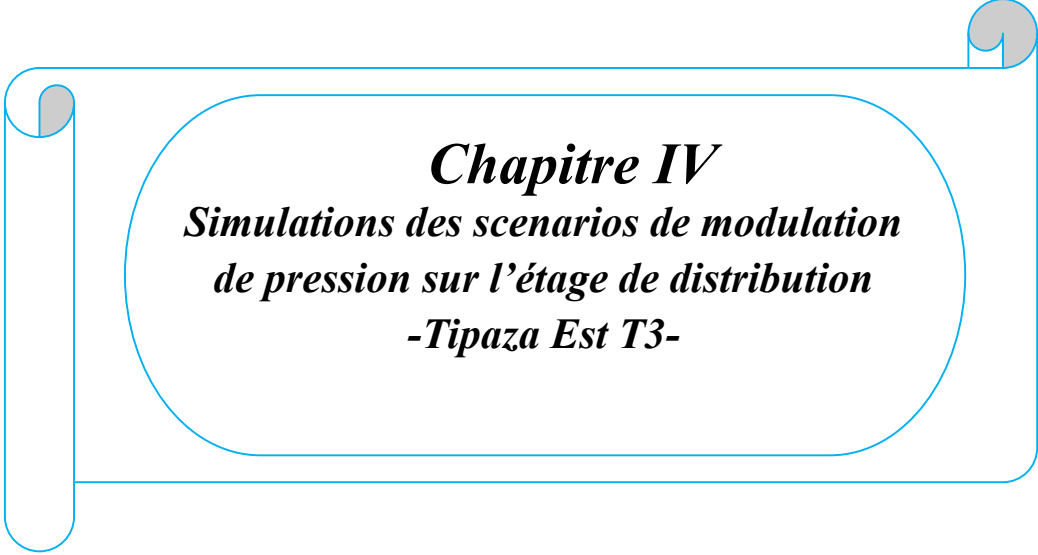


Figure III.41: Comparaison des valeurs moyennes pour pressions au point_stabT3 et au point_critique.

III.9.Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de construire un modèle assez performant et représentatif de la réalité de l'étage de distribution Tipasa Est T3, et ce malgré le manque et l'indisponibilité d'un nombre considérable de données, surtout en termes de consommations et de demandes aux nœuds qui sont des facteurs prépondérants 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, de la réaffectation des consommations aux nœuds, mais aussi à la modification des consignes de pression du modulo. Par conséquent ce modèle peut être utilisé comme un outil d'aide à la décision dans un futur proche.

A decorative frame resembling a scroll, with a light blue border and rounded corners. The frame has a vertical bar on the left side and a small circular element on the right side, suggesting a scroll's edge. The text is centered within a rounded rectangular area in the middle of the frame.

Chapitre IV
***Simulations des scenarios de modulation
de pression sur l'étage de distribution
-Tipaza Est T3-***

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

Chapitre IV

Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution -Tipaza Est T3-

IV.1.Introduction :

Après avoir calé au mieux notre modèle et après avoir lancé des simulations des scénarios de régulation de pression sous *EPANET*; nous présenterons dans ce qui suit les différents résultats de ces simulations et leurs interprétations avant et après modulation que ce soit en terme de pression ou de fuites.

IV.2.Résultats des simulations de la réduction de pression :

IV.2.1.Situation avant modulation de pression :

Afin de pouvoir lancer une simulation avant modulation de pression on doit effectuer quelques modifications comme :

- ✓ 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*.

Les résultats de la simulation avant modulation de pressions sont représentés dans les figures IV.1, IV.2, IV.3, IV.4, IV.5, IV.6, IV.7 et IV.8.

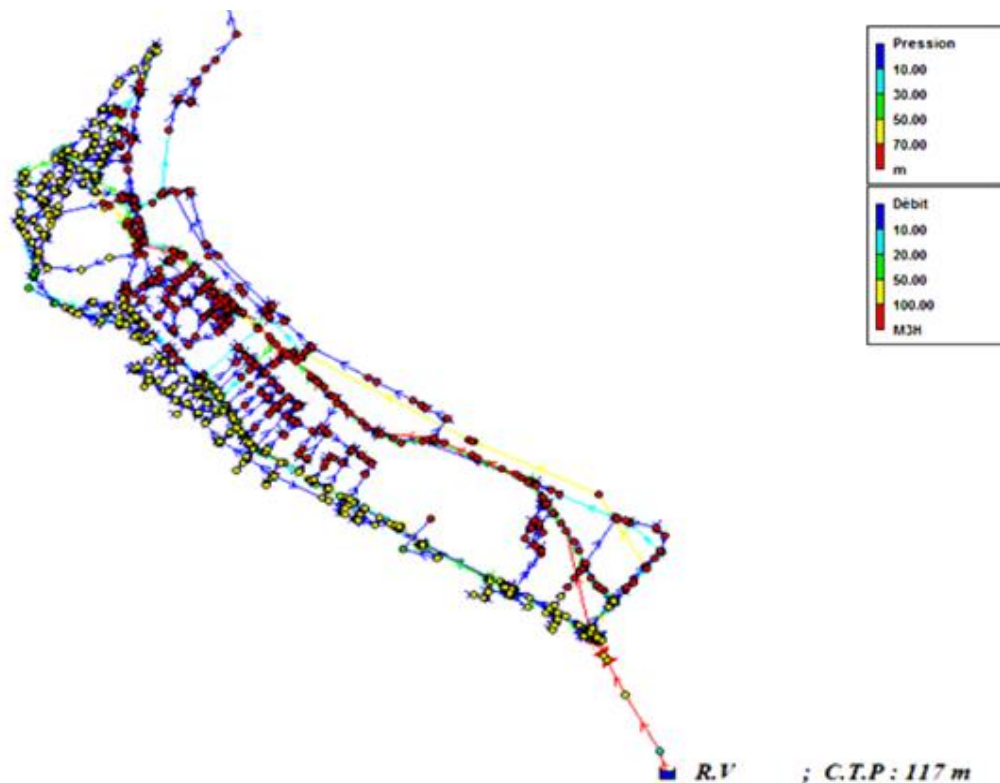


Figure IV.1: Comportement du réseau aux heures creuses [00 :00] avant modulation de pression.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

D'après la figure (IV.1) les pressions aux heures creuses sont excessives dans la majeure partie du réseau.

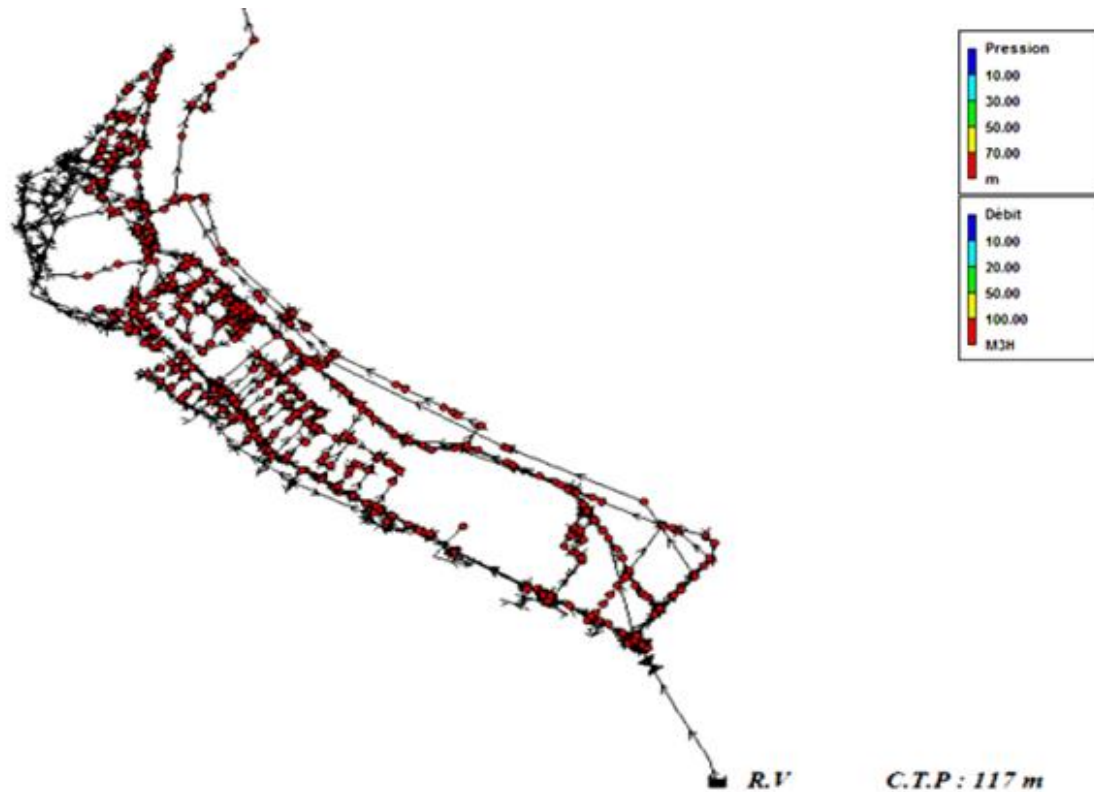


Figure IV.2 : Pressions supérieures à 90 m aux heures creuses [02 :00] avant modulation de pression.

Nous remarquons à l'issue de la figure ci-dessus l'excès de pression dans la majeure partie du réseau T3 en périodes creuses qui atteignent les 11 bars dans les points bas du réseau.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

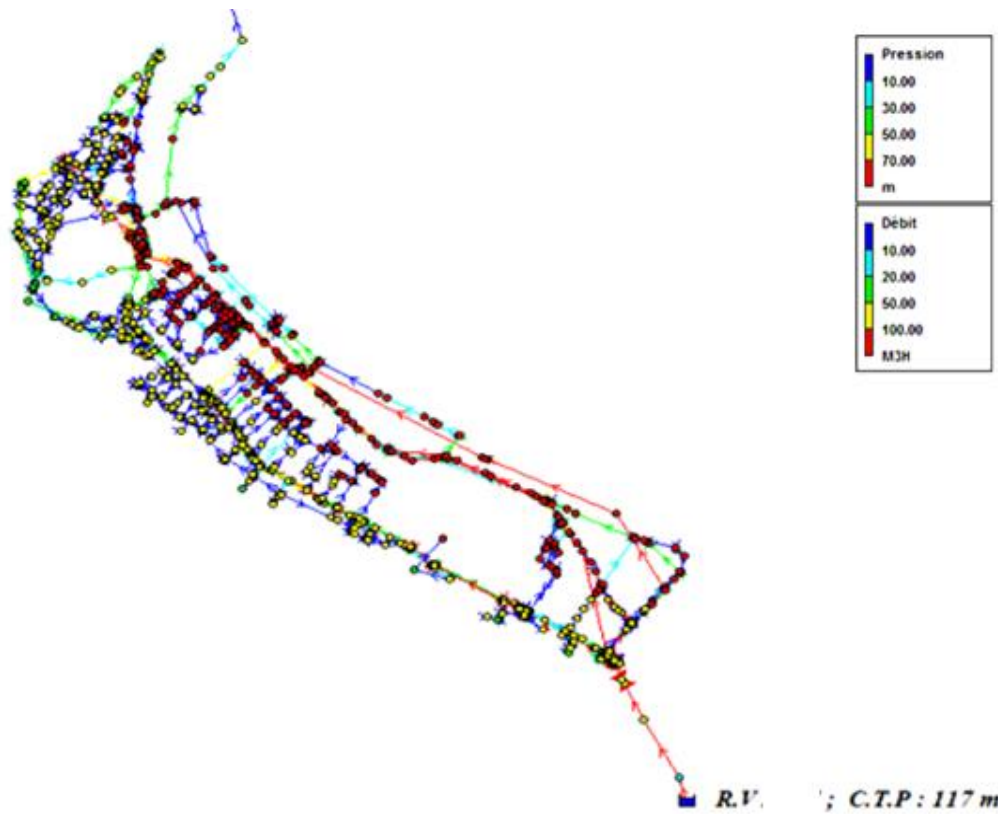


Figure IV.3: Comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.

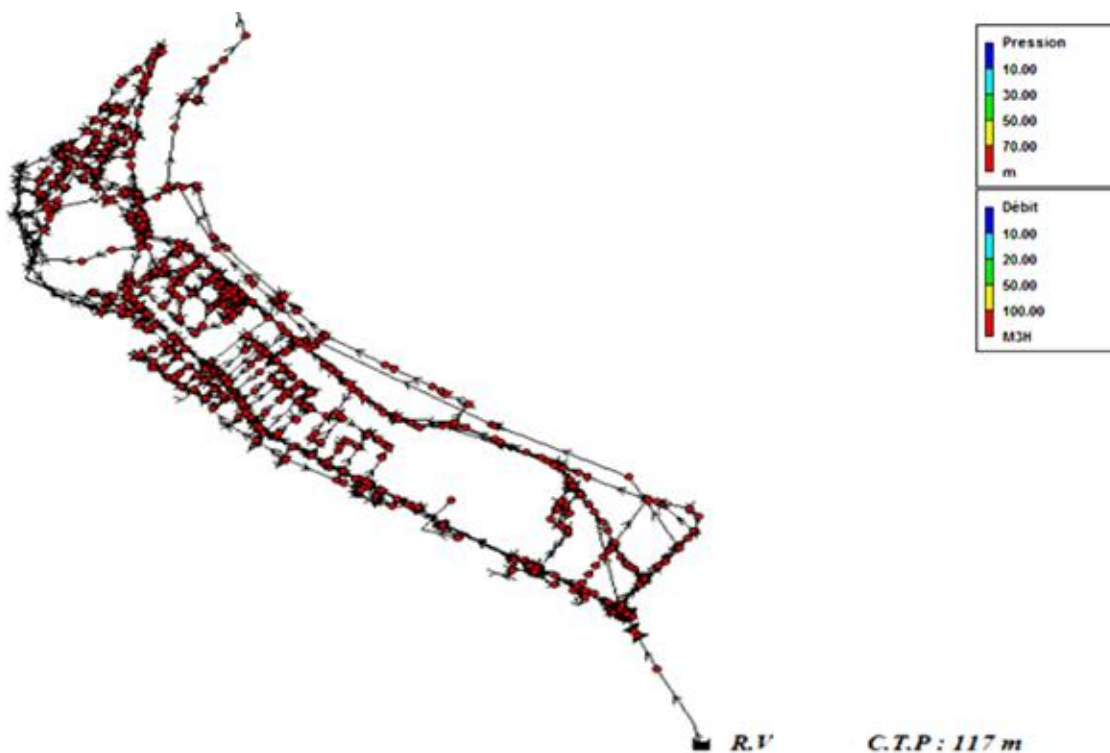


Figure IV.4: Pressions supérieures à 80 m à l'heure de pointe [11 :00] avant modulation de pression.

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

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

IV.2.2. Situation après modulation de pression :

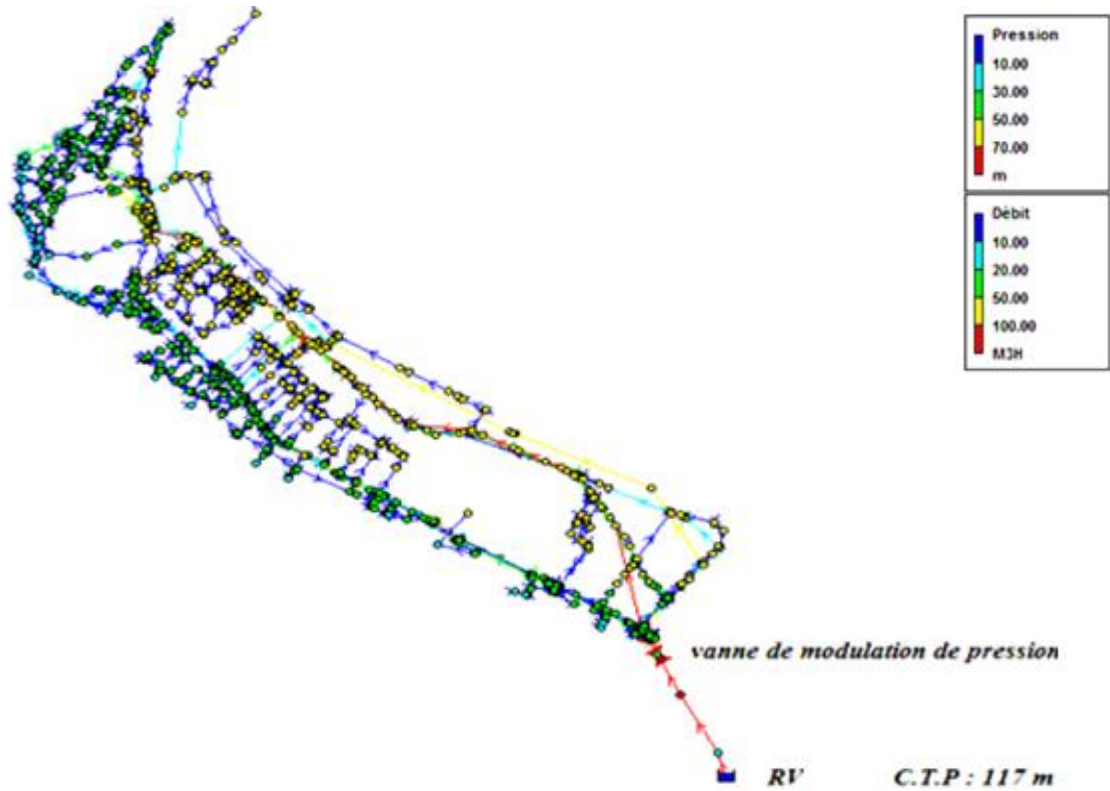


Figure IV.5: Comportement du réseau à l'heure creuse [02 :00] après modulation de pression.

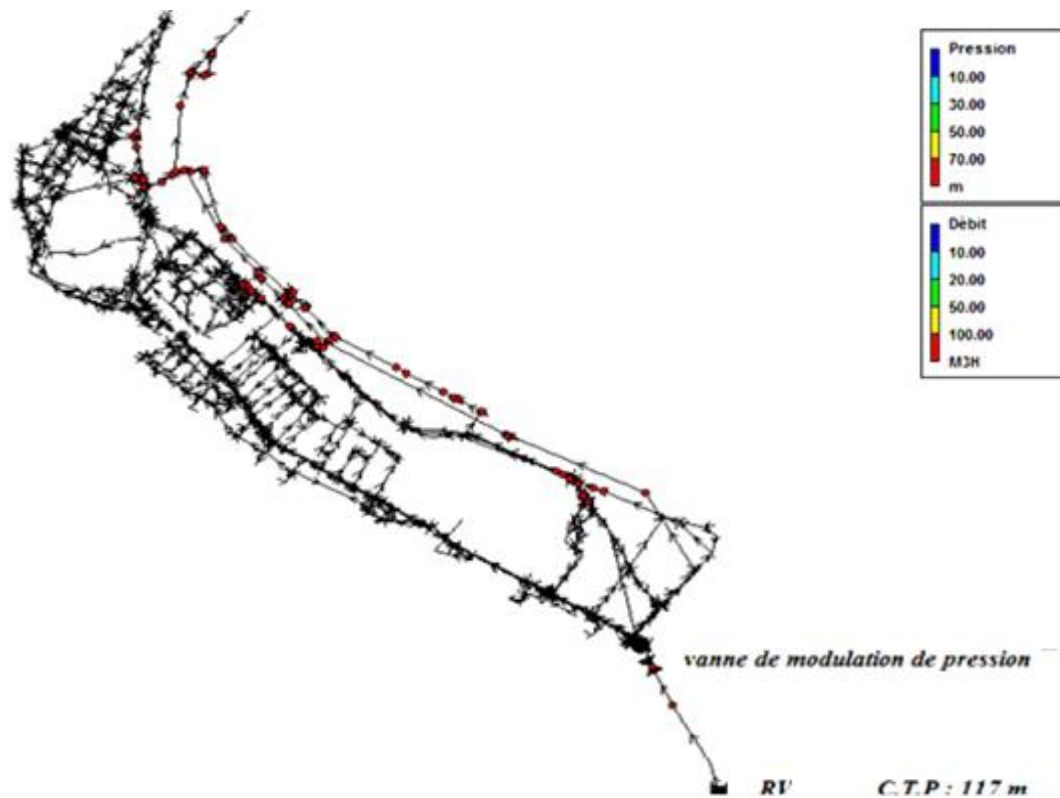


Figure IV.6: Pressions supérieures à 60 m à l'heure creuse [02 :00] après modulation de pression

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

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.

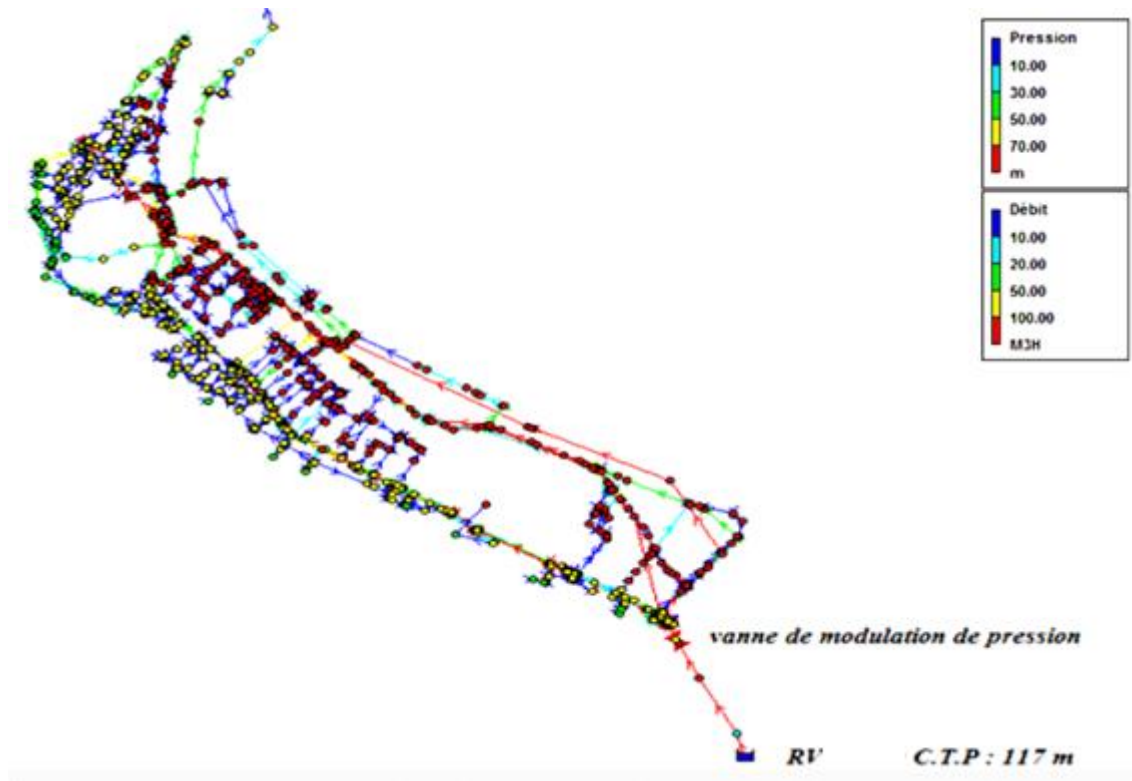


Figure IV.7 : Comportement du réseau a l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression.

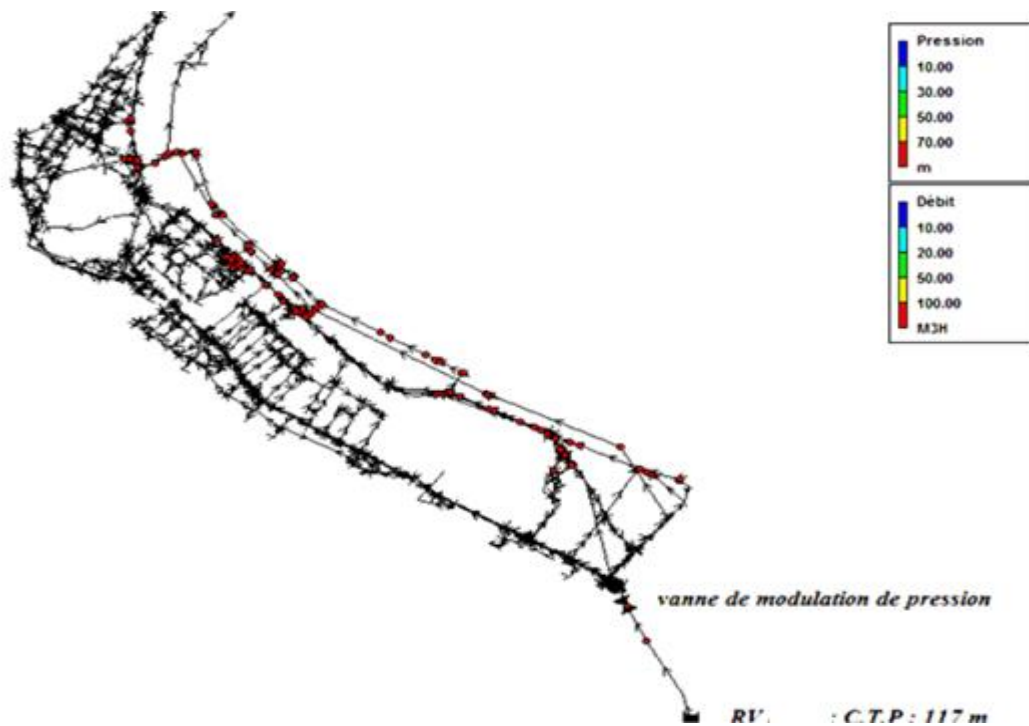


Figure IV.8: Pressions supérieurs à 80m à l'heure de pointe [11 :00] après modulation de pression.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

D'après la figure (IV.8), 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 délivrée à cette période de forte consommation.

IV.2.3. Scenarios de la modulation de pression :

Parmi les scenarios de modulation de pression, nous pouvons constater l'importante diminution des consignes de pression délivrées à la sortie du stabilisateurs T3 et au point critique, cela se traduit par une diminution du débit de fuites et la fréquence de casses des conduites.

✓ Point de sortie de la vanne de modulation :

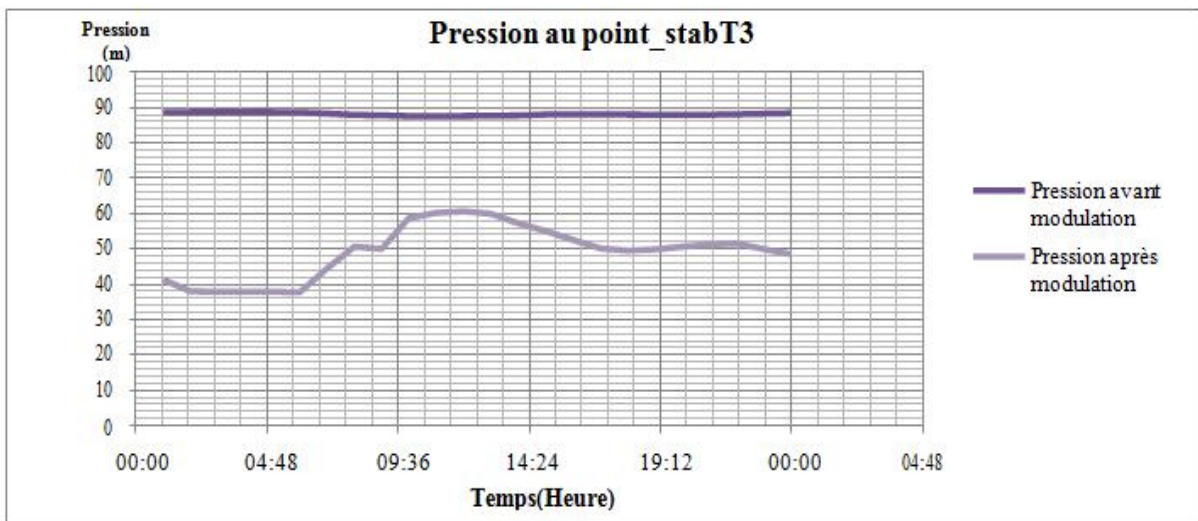


Figure IV.9: Variation de la pression a la sortie de la vanne de modulation T3 avant et après modulation.

✓ Point critique :

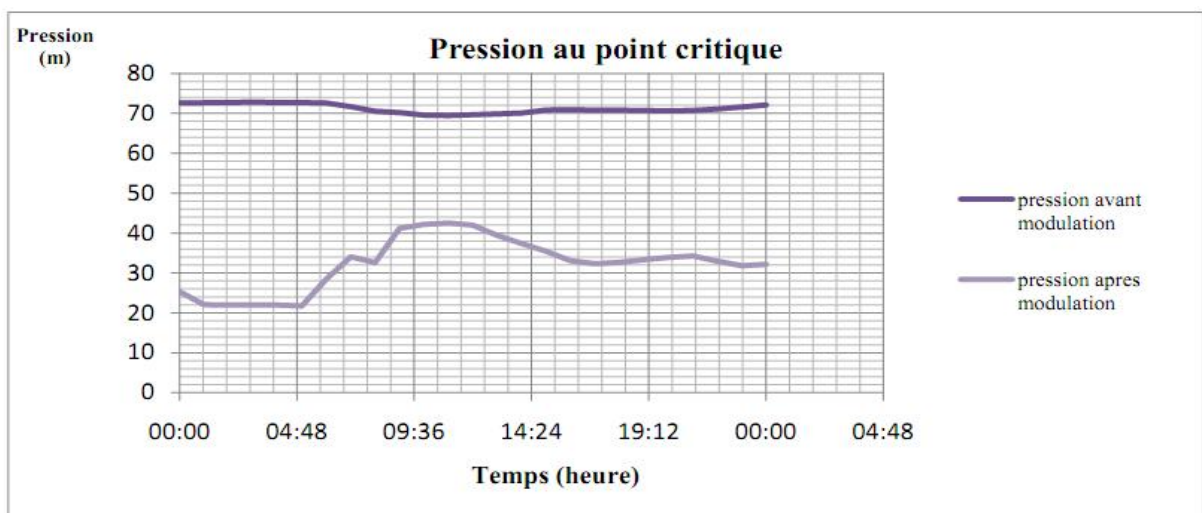


Figure IV.10: Variation de la pression au point critique avant et après réduction de pression.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

IV.3. Simulation des scénarios des pertes physique sous *EPANET* :

Après le calage du modèle, nous pouvons nous intéresser à l'objectif principal de notre étude qui est d'essayer à travers l'élaboration du modèle de l'étage distribution T3, de prévoir le comportement des pertes physiques avant et après la modulation de pression, afin de pouvoir par la suite comparer ces résultats avec ceux obtenus au calcul des Eaux Non Facturées au chapitre II.

IV.3.1. Utilisation du concept de *FAVAD* :

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

$$Q_{fuites} = C_i * p^{N1} \quad (IV.1)$$

Le but de ces simulations est essayé d'évaluer le comportement du réseau de l'étage T3 avant et après modulation de pression, c'est-à-dire que notre objectif est de comparer le débit de fuite avant et après réduction des pressions.

Il était logique de calculer le débit de fuite directement à l'aide cette formule vue que la seule inconnue 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 décharge est différent pour chaque nœud.

Donc l'idée était d'essayer de l'éliminer et nous avons abouti à la résolution suivante :

$$\frac{Q_{fuites\ avant}}{Q_{fuites\ apres}} = \left[\frac{C_d * P_{avant}}{C_d * P_{apres}} \right]^{N1} \quad (IV.2)$$

L'équation de *FAVAD* devient :

$$\frac{Q_{fuites\ avant}}{Q_{fuites\ apres}} = \left[\frac{P_{avant}}{P_{apres}} \right]^{N1} \quad (IV.3)$$

Donc

$$Q_{fuites\ avant} = Q_{fuites\ apres} * \left[\frac{P_{avant}}{P_{apres}} \right]^{N1} \quad (IV.4)$$

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

IV.3.2. Indentification du point moyen à l'aide du modèle *EPANET* :

Le point moyen doit être un point représentatif du réseau où la dénivelée est pondérée par la densité de population comme par exemple : un point de cote moyenne ou moins haute mais

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

présentant une forte densité de population et on estime 2 a 3 points moyens. [Document technique. Suez environnement.2010].

Donc l'idée était de repérer les nœuds du réseau présentant une importante demande de base à l'aide de l'option de requête dans *EPANET*.

Les trois points moyens choisis sont représentés ci-dessous :

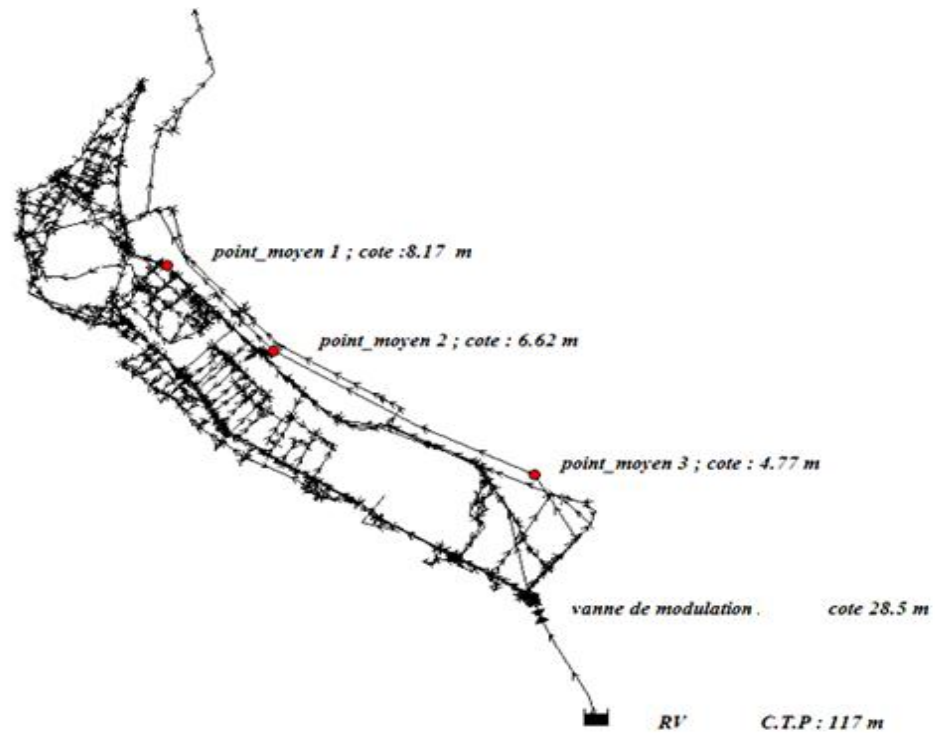


Figure IV.11: Emplacement des points moyen dans l'étage T3.

IV.3.3. Résultats des simulations avant et après modulation de pression :

- ✓ Points moyens :
- Point moyen 1 :

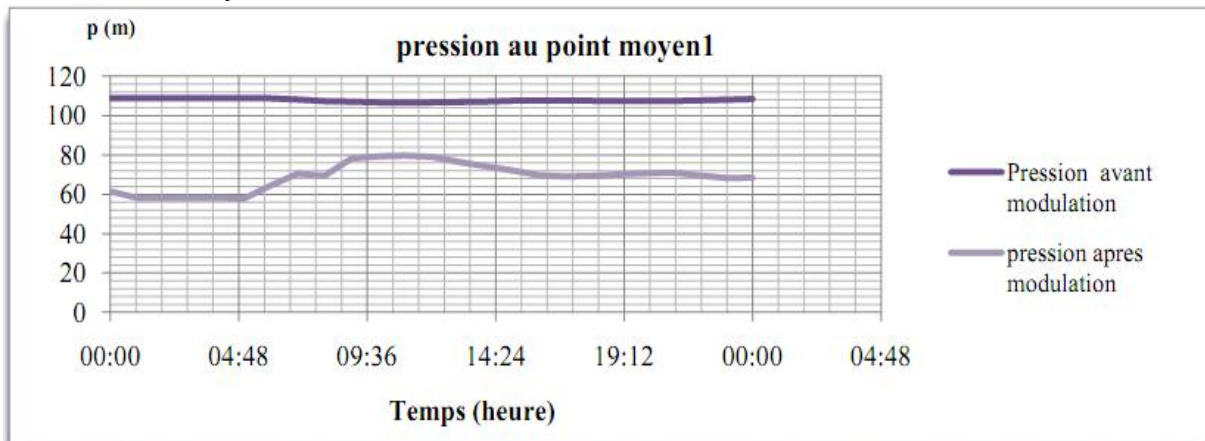


Figure IV.12: Variation de la pression au point moyen1 avant et après modulation de pression.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

- **Point moyen 2 :**

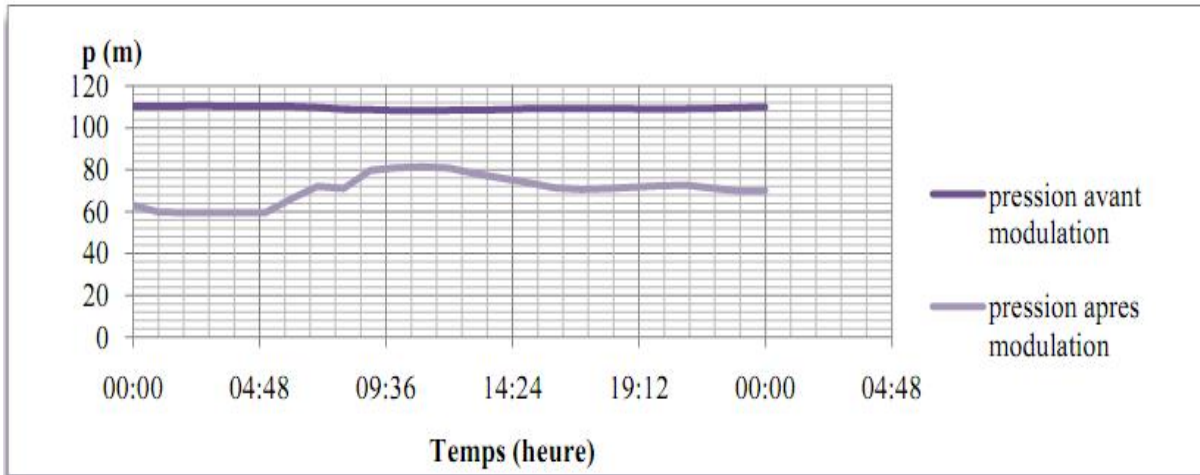


Figure IV.13: Variation de la pression au point moyen 2 avant et après modulation de pression.

- **point moyen 3 :**

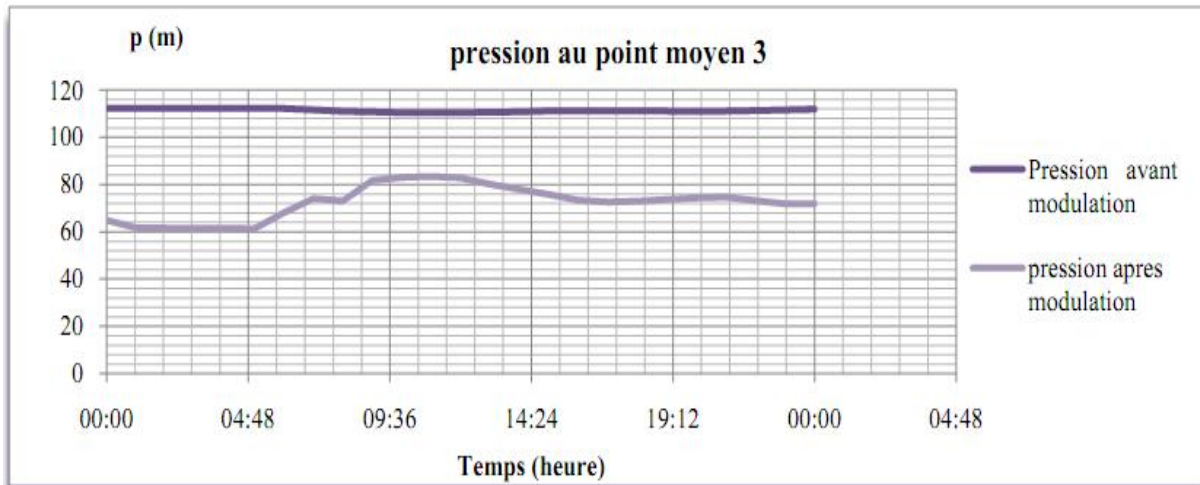


Figure IV.14: Variation de la pression au point moyen 3 avant et après modulation de pression.

Le tableau ci-dessous résume les pressions moyennes simulé avant et après modulation de pression :

Tableau IV.1: Pressions moyennes simulés avant et après modulation de pression.

<i>Points moyens</i>	<i>Pression moyenne avant modulation (m)</i>	<i>Pression moyenne après modulation (m)</i>
<i>Point_moyen1</i>	107.8	68.86
<i>Point_moyen2</i>	109.4	70.46
<i>Point_moyen3</i>	111.4	72.44

Nous avons à travers ce tableau, choisi un seul point moyen qui va représenter l'étage de distribution de T3 ; il s'agit du point moyen 2 situé au centre à la partie basse du réseau de cote 6.62 m.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

✓ Point stab_T3, point critique et point moyen :

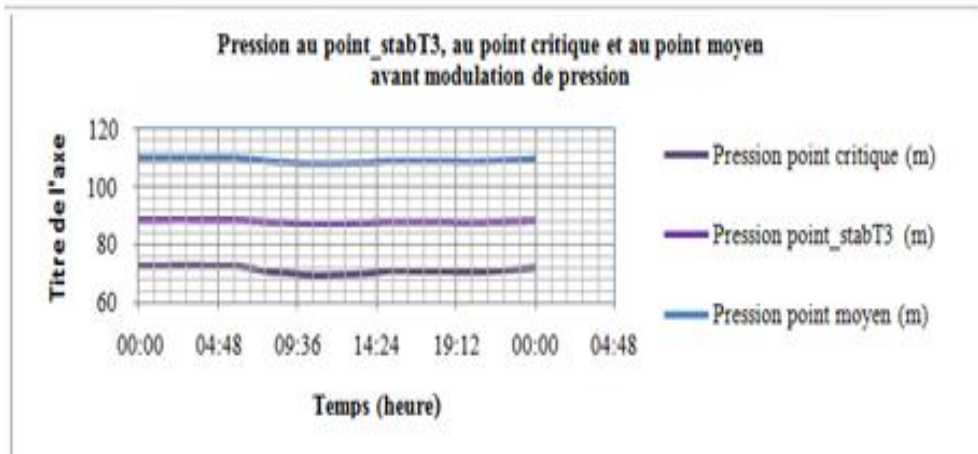


Figure IV.15: Variation de la pression au point_stabT3, au point critique et au point moyen avant modulation de pression.

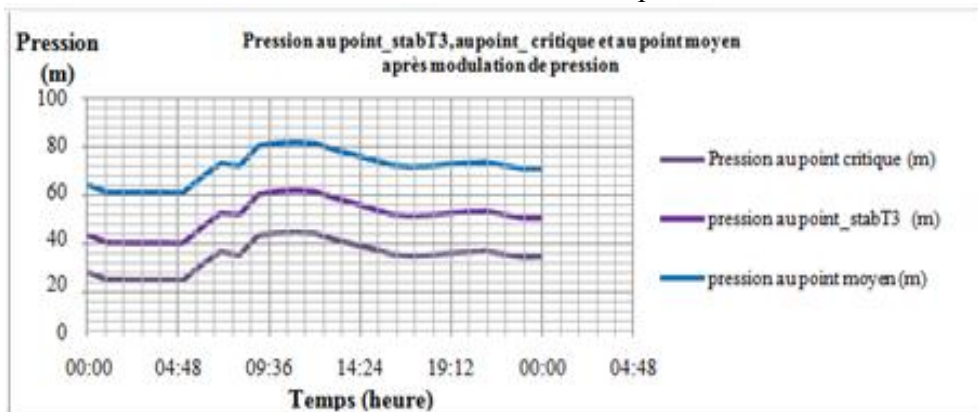


Figure IV.16: Variation de la pression au point_stabT3, au point critique et au point moyen après modulation de pression.

IV.4.Scénarios de la modulation de pression sur le débit de fuite :

D'après le *FAVAD* nous pouvons à présent calculer le débit de fuite avant la modulation de pression afin de le comparer aux résultats obtenus au chapitre II (calcul E.N.F)

D'après l'équation de *FAVAD* est donnée par la formule(IV.4) :

Avec

$Q_{fuites\ avant} = 504\ m^3/h...$ débit de fuite avant modulation.
 $P_{avant} = 109.4\ m...$ pression avant modulation au point moyen.
 $P_{après} = 70.46\ m...$ pression après modulation au point moyen.
 $N_I = 0.761...$ coefficient de l'émetteur.

Par conséquent le débit de fuite simulé est égale a :

$$Q_{fuites\ avant} = 702.88\ m^3/h\ \text{soit}\ 16\ 870\ m^3/j$$

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

V.5.Comparaison des résultats calculés avec ceux simulés par EPANET :

Les résultats de la comparaison sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.2: Comparaison des résultats observés et simulés.

	<i>Observés</i>				<i>simulés</i>			
	<i>avant modulation</i>		<i>après modulation</i>		<i>après modulation</i>		<i>avant modulation</i>	
	<i>Heure creuse 02 :00</i>	<i>Heure Pointe 11 :00</i>	<i>Heure creuse 02 :00</i>	<i>Heure Pointe 11 :00</i>	<i>Heure creuse 02 :00</i>	<i>Heure Pointe 11 :00</i>	<i>Heure creuse 02 :00</i>	<i>Heure Pointe 11 :00</i>
Pression au point_stabT3(m)	-	-	37.89	60.61	117.16	116.04	37.89	60.61
Pression au point_critique(m)	-	-	23.54	42.15	72.76	69.45	22	42.52
Pression au point_moyen(m)	-	-	-	-	110.40	108.25	59.64	81.32
Volume mis en distribution moyen (m³/j)	-		25 392		30 000		25 000	
Pertes physique (m³/j)	16 328		12 096		16 870		12 096	

La figure(IV.17) illustre les résultats des pertes physiques obtenues d'une part manuellement a l'aide de données réelles et d'autre part à partir du modèle hydraulique EPANET :

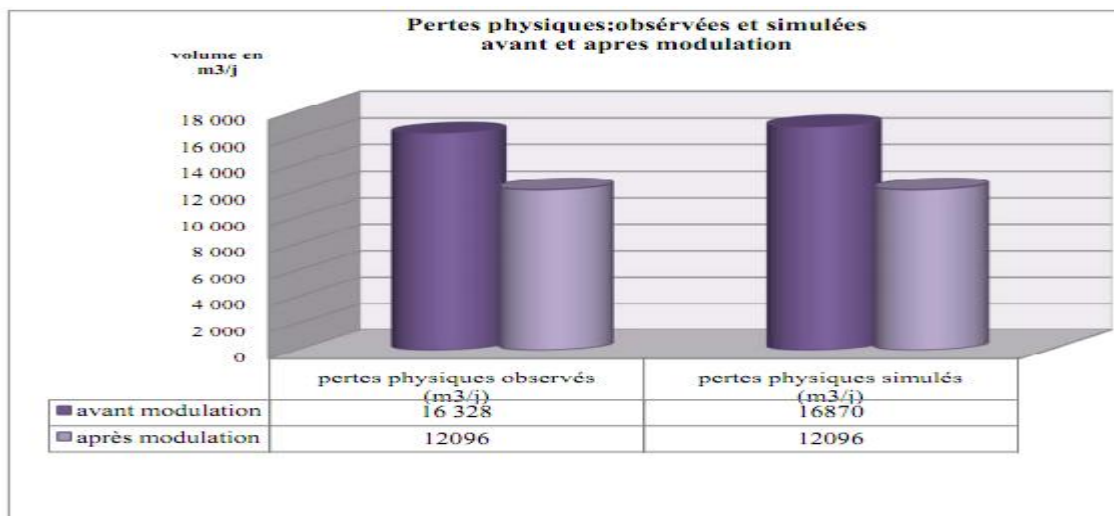


Figure IV.17: Pertes physiques ; observées et simulées avant et après modulation de pression.

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

Nous pouvons donc affirmer la fiabilité de notre modèle ainsi que les estimations effectuées (comme le débit mis en distribution avant modulation en H24 simulé par le personnel de la SEEAL) pour le calcul du bilan hydraulique avant modulation de pression (au chapitre II).

Ces résultats illustrent aussi la fiabilité des essais effectués à la zone Oued Merzoug dans le but de voir l'impact du changement de la consigne de pression sur le débit de fuites et en déduire le coefficient de l'émetteur N_1 nécessaire à au calcul de débit de fuite dans l'équation (IV.4) de FAVAD.

IV.6. Impacts de la modulation de pression à l'étage de distribution T3 :

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

Tableau IV.3: Impacts simulés de la modulation de pression à l'étage de distribution T3.

	avant modulation		après modulation		différence	
	Heure creuse 02 :00	Heure Pointe 11 :00	Heure creuse 02 :00	Heure Pointe 11 :00	Heure creuse 02 :00	Heure Pointe 11 :00
Pression au point_stabT3 (bars)	11.72	11.61	3.8	6.06	7.92 -60.58%	5.55 -47.80%
Pression au point_critique (bars)	7.28	6.95	2.35	4.22	4.93 -67.72%	2.73 -39.28%
Pression au point_moyen (bars)	11.04	10.83	5.96	8.13	5.08 -46.01%	2.7 -24.93
Volume mis en distribution moyen (m^3/j)	30 000		25 392		4 608 -15.36%	
Pertes physique (Débit de fuites) (m^3/j)	16 870		12 096		4 774 -28.30%	

Par conséquent le bilan général des impacts de la modulation de pression sur ; le volume mis en distribution et les pertes sont illustrées dans la figure(IV.18) :

Chapitre IV Simulations des scenarios de modulation de pression sur l'étage de distribution Tipaza Est T3

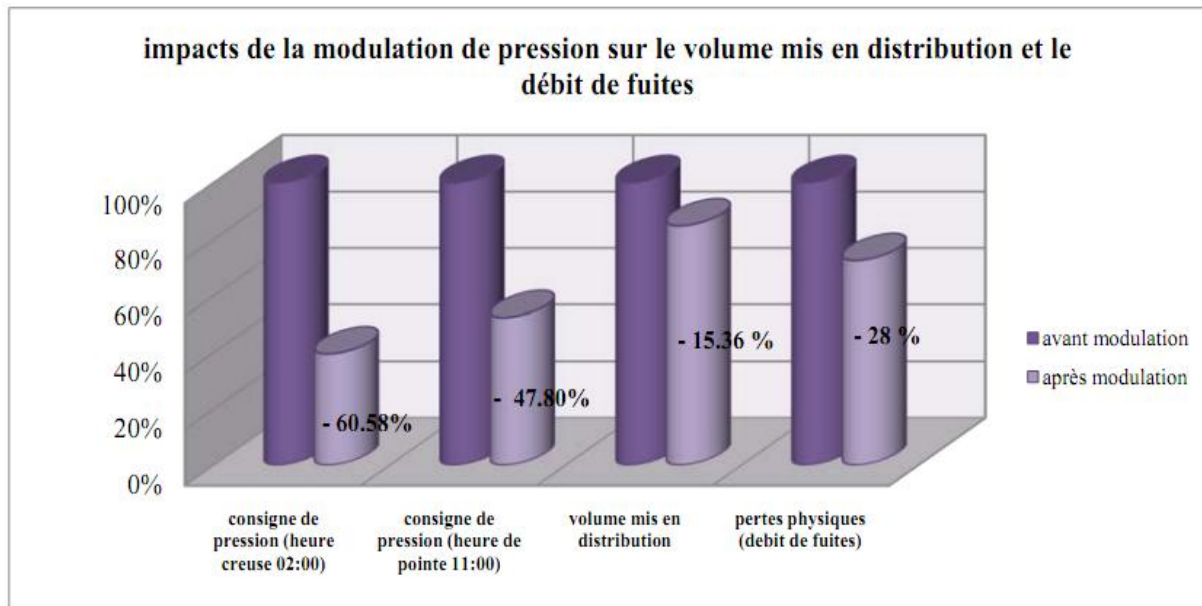


Figure IV.18: Impacts de la modulation de pression sur le volume mis en distribution et le débit de fuites.

Tableau IV.4: Impacts de la modulation de pression sur le volume mis en distribution et le débit de fuites.

GAINS	Consigne de pression		Volume mis en distribution	Pertes physique (Débit de fuites)
	Heure creuse 02 :00	Heure Pointe 11 :00		
	-60.58%	-47.80%	-15.36%	-28.30%

IV.7. Conclusion :

Les résultats des simulations obtenues dans ce chapitre confirment d'une part la réalité obtenue lors du calcul du bilan hydraulique effectué au chapitre II, et permettent aussi de valider la fiabilité de notre modèle.

Nous avons pu remarquer à travers ces résultats qu'une baisse de pression de **60%** en heures creuses et de **47%** en heure de pointe a permis de réduire le volume injecté dans le réseau de plus de **15%** et le débit de fuite de **28%** .

Nous pouvons alors affirmer que l'importante décision stratégique prise par la *SEAAL*, en élaborant la modulation de pression, était primordiale d'une part: pour desservir les abonnés de l'étage de distribution de Tipaza Est T3 en alimentation continue (H24), sans pour autant soumettre le réseau aux pressions excessives de nuit, mais aussi à l'importante économie de la ressource dans ce réseau vétuste.



Conclusion générale

Conclusion générale

La modulation de pression était l'unique solution pour le passage à une alimentation continue au cœur de Tipaza. Les impacts constatés après cette réduction de pression, dans les différents étages de distribution modulés de Tipaza 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.

A la fin de ce projet et d'après les résultats des simulations obtenus, les profils de consommation et les consignes de pression doivent être revus ainsi que la réaffectation des demandes aux nœuds.

L'idée d'utiliser les essais expérimentaux dans la zone de Oued Merzoug de l'étage de Tipaza Centre nous a été bénéfique, car les résultats obtenus étaient assez satisfaisants sur l'impact de la variation de la pression sur le débit de fuites, ainsi qu'à l'obtention de l'exposant de l'émetteur N_1 nécessaire à l'estimation du débit fuites à l'aide de l'équation de *FAVAD*.

A l'issue de cette études et à l'aide des simulations obtenus par *EPANET*, nous avons détecté quelques anomalies réelles comme ; l'importante perte de charge aux deux points (415,416) de mesure de pression réalisés dans le réseau T3.

Néanmoins nous avons élaboré un modèle assez fiable, à l'aide des essais expérimentaux effectués dans une zone en régulation, et à l'étage de distribution T3. Ce modèle constitue donc un outil d'aide aux diagnostics, à la prévision du comportement et des scénarios possibles de ce réseau, que ce soit avant ou après élaboration de la modulation de pression.

Cette étude reste à affiner, et peut servir à l'élaboration d'un programme, ou d'un outil automatisé, sous le logiciel *EPANET*, qui servira à modéliser et à simuler les fuites automatiquement, avant et après modulation de pression.

Références bibliographiques

Ouvrages généraux :

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

S. BENNIS, (2004). « Hydraulique et hydrologie », 2nd Ed, ISBN2-921145-50-02. Ecole de Technologie supérieure, Montréal.

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

A. GUESMIA, (2008), Modélisation d'un réseau de distribution d'eau potable en modulation de pression appliquer à l'étage de distribution K97, Projet de Fin Etude, Ecole Nationale Polytechnique, 128p.

M. TABESH, H. ASDI YANI A, Y. R. BURROWS, (2009), An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems, Water Resour Manage, 23:477- 492. DOI 10.1007/s 11269-008-2.

J. EISENBEIS, (1996). « L'analyse statistique des défaillances appliquée au renouvellement des réseaux d'eau potable ». (Séminaire organisé par la Ful. Tribune de l'eau) : 13-24-23

O. HUNAIDI, (2000). « Programme de réhabilitation des infrastructures urbaines. » Conseil national de recherches du Canada. Juin 2000. ISSN 1206-1239.

H. MALANDAIN, (1999). « Modélisation de l'état de santé de réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de maintenance » Génie Civil, Lion. INSA, P ;205.

N. MERZOUK, (2005) « Méthodologie de détection et de localisation des fuites dans un réseau d'eau potable dans les petites et moyennes collectivités ». Proposition de deux modèles de localisation. Génie Civil, d'Atrois, P : 180.

RESEAU EN VIRONNEMENT, (1999). « Le contrôle de fuites », P : 54. (Réalisé le cadre du programme « travaux d'infrastructures Canada-Québec »-1997).

J. THORNTON and A.L., (2003) «managing leakage by managing pressure» Water 21 by the IWA Water Task Force, P : 2,

D. PEARSON, M. FANTOZZI, et al, (2005). «Searching for N2: How does Pressure Reduction Reduce Burst Frequency ? » Proceeding of IWA Special Conference Leakage 2005. Halifax. Canada, September 2005, P: 14

J. MAY, (1994). « Pressure dependent leakage» World water and water engineering. October 1994.

A. LAMBERT, (2001). «A review of performance indicators for real losses from water supply systems» J. Water SRT-Aqua 48, N° 6, P: 227-237.

J. THORNTON, R. STURM, G. KUNKEL, (2008), Water Loss Control (second Edition), DOI: 10.1036/0071499180.

A. LAMBERT, (2000), What Do We Know About Pressure Leakage Relationships In Distribution System? IWA Conference System Approach to leakage Control and Water Distribution Systems Management in Brno, Czech Republic in May 2000. IWA Conference Proceedings, ISBN 80-7204-197-5.

A. MANUAL, (2005) «Advanced Pressure Management and PRV Selection. Managing and

Reducing Losses from Water Distribution Systems». State of Queensland, Environmental Protection Agency, Wide Bay Water. ISBN 0 7242 9493 7:P 25.

M. FANTOZZI, (2007). «Including the effects of Pressure Management in calculation of Economic Leakage Level». Proceedings of IWA Special Conference “Water Loss 2007”, Bucharest, Romania, September 2007.

CERIU (2007). «Gestion intégrée des infrastructures municipales». Gestion, Vol. 195, P : 51-65.

Les mémoires

MAHBOB ABDELLATIF «Diagnostic et conception d’un réseau d’alimentation en eau potable par la modulation de pression : application à l’étage de Bologhine »Mémoire de fin d’étude, ENSH, promotion 2011.

A. GUESMIA, (2008), Modélisation d’un réseau de distribution d’eau potable en modulation de pression appliquer à l’étage de distribution K97, Projet de Fin Etude, Ecole Nationale Polytechnique,128p.

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

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.

Catalogue :

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.

ROSSMAN.L.A, 2000, *EPANET 2*-Manuel d’utilisateur.

Formation NRW, 2007, Document technique. SEAAL.

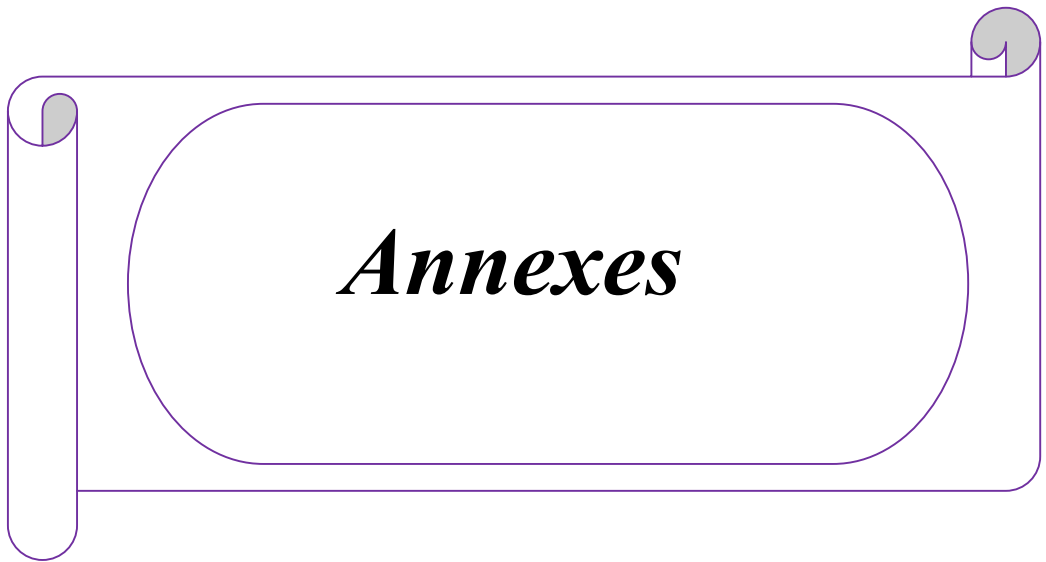
Pressure Management. General Water Savings, 2006, document technique. SEAAL.

Rendement de réseau et pertes, 2003, Document technique. Suez environnement- Dore-.

JOINT. P. W, 2001, Diactatel *EPANET*.

Site internet :

www.wikipedia.org/wiki/Tipaza.fr



ANNEXE 1

INDICES DE COMPARAISON INTERNATIONALE POUR LE CALCUL DE LA PERTE PHYSIQUE DANS UN RESEAU DE DISTRIBUTION

I. Formules générales de calcul de pertes :

I.1. Perte par branchement, par client, par propriété, par habitants (m³/x/jour) :

$$Perte = \frac{\text{Volumemisen distribution} - \text{Volumescosomesfacturesouonmesuresouon}}{\text{Nombredebranchementsoudeclientsoudepropriétésoudehabitants}}$$

Le choix entre les différents paramètres de cette formule dépend souvent des conditions locales qui permettent de dire quel est l'indicateur le plus adapté. Par exemple : Au Royaume Uni le nombre de branchements est presque toujours très proche du nombre de propriétés mais ce n'est pas le cas partout. [Document technique. suez-environnement.2003].

I.2. Perte par km de système par mètre de pression :(m³/km/an/mètre de pression) :

$$Perte = \frac{\text{Volumemisen distribution} - \text{Volumescosomesfacturesouonmesuresouon}}{\text{Longueurdureseaudesbranchement (Km) lapressionnocturneen(m)}}$$

Celle là ramène la perte au mètre linéaire de pression ce qui permet de comparer plus valablement les pertes de réseaux différents ou les pertes de secteurs différents d'un même réseau.

I.3 Infrastructure Leakage Index (ILI) :

On a vu que les indicateurs de perte définis précédemment, qu'ils soient à caractère général comme le pourcentage de perte, ou plus spécifiques comme les indices de perte ramenés à l'une des caractéristiques du réseau, ne permettent pas de comparer différents réseaux de distribution entre eux de manière objective.

Un groupe travaillant pour IWA a eu l'idée de comparer la perte physique annuelle (**CARL** « Current Annual Real Loss ») à la perte minimale « inévitable » susceptible d'être enregistrée sur un réseau de distribution (**URL** pour « Unavoidable Real Loss »).

On définit ainsi un « Infrastructure Leakage Index » (**ILI**). Appelé parfois improprement « International Leakage Index » que l'on calcule comme le rapport de la perte annuelle **CARL** à la perte « inévitable » **URL**.

$$ILI = \frac{CARL}{URL}$$

Avec

CARL: current annual real loss (pertes physiques annuelles).

URL : univodible real loss (pertes physiques minimales).

CARL et **URL** ont la même unité par exemple : **m³/an**.

Ces grandeurs peuvent être divisées par le nombre de branchement (**Nc**) pour rendre les comparaisons plus faciles.

$$TIRL = \frac{CARL}{Nc}$$

$$UARL = \frac{URL}{Nc}$$

Avec

TIRL: Technical Indicator for Real Loss (indicateur technique de la perte physiques).
UARL : Unavoidable Average Real Loss (moyenne de la perte physiques minimale).

TIRL et **UARL** sont exprimés en : **litres/branchement/jour**.

Par suite on pourra écrire l'indicateur adimensionnel :

$$ILI = \frac{TIRL}{UARL}$$

Remarques

- ✓ **ILI=1** ; Pour un réseau qui a été « parfaitement » géré depuis sa création – ce qui suppose la mise en œuvre de plans de maintenance et de plans de renouvellement optimisés.
- ✓ **ILI= x >1** ; dans ce cas la perte physique sera x fois plus importante ce qu'elle pourrait être dans le cadre de la gestion optimisée
- ✓ La « perte inévitable ou minimales » **URL** n'est pas un concept entièrement objectif, mais il est défini de manière à prendre en compte les paramètres classiques qui caractérisent un réseau de distribution.
- ✓ Les paramètres retenus sont: la longueur du réseau de distribution (**Lp** en **Km**), le nombre de branchements(**Nc**), la longueur moyenne des branchements mesurée entre le bord de la rue et le compteur Client (**Lm** en **Km**) et enfin la pression de service (**p** en **m**).
- ✓ Ces concepts ne s'appliquent qu'à des réseaux sous pression, ils s'appliquent donc avec une extrême prudence à des systèmes en fonctionnement continue.

La formule qui permet de calculer l'URL est la suivante :

$$URL = [(A * Lm) + (B * Nc) + (C * Lp)] * P \quad (\text{en litre/jour})$$

Par suite :

$$UARL = [(A * \frac{Lm}{Nc}) + B + (C * \frac{Lp}{Nc})] * P \quad (\text{en litre /jour /branchement.})$$

Avec :

Lm : longueur du réseau en km.

Nc : nombre de branchement

Lp : longueur totale des conduites enterrées du bord de la rue jusqu'au compteur client en (Km).

P : pression de service moyenne en(m).

A, **B** et **C** sont des coefficients qui proviennent d'une enquête réalisée au niveau international à partir des performances de services des eaux qui semblent avoir atteint la limite de ce qui peut

se faire en matière de renouvellement des infrastructures et de programme actif de détection et de réparation des fuites invisibles : il s'agit en fait d'un panier de 27 systèmes répartis dans 20 pays.

En d'autres termes, les valeurs de référence ont été calculées sur la base de réseaux en bonne condition et présentant un taux moyen de fuites non signalées. *[Document technique .suez-environnement.2003]*.

A: 18 litres/Km de canalisation/jour/mètre de pression.

B : 0.8 litre/branchement/jour/mètre de pression.

C : 25 litres/Km de branchement/jour/mètre de pression.

Cette formule peut être appliquée à différents systèmes de caractéristiques très différentes. En fait, si l'on connaît les valeurs de **Lm**, **Nc**, **Lp** et **p** d'une compagnie donnée, on peut calculer ce que pourrait être le niveau minimal de perte que l'on est susceptible d'atteindre. Le mérite de cette formule est de prendre en compte tous les principaux facteurs susceptibles d'influencer directement le niveau de fuites.

ANNEXE 2

LES CARACTERISTIQUES DE L'ILP EN FONCTION DE LA CATEGORIE DU RESEAU

Le tableau est représenté les caractéristiques de l'ILP en fonction de la catégorie du réseau :
Proposé par l'agence de l'eau de la Rhône-méditerranée corse.

Tableau1: valeurs de l'Indice Linaire de Pertes en fonction de la catégorie du réseau
[Document. technique. SEAAL.2007]

ILP (m ³ /km/j)	Catégorie du réseau		
	rural	Semi-rural	Urbain
Bon	<0.06	<0.13	<0.3
Acceptable	<0.1	<0.2	<0.4
Médiocre	0.1<ILP<0.16	0.2<ILP<0.33	0.4<ILP<0.63
mauvais	>0.16	>0.33	>0.63

ANNEXE 3

LES DIFFERENTS TYPES DE MODULATION DE PRESSION

La figure suivante illustre les différents types de modulation de pression :

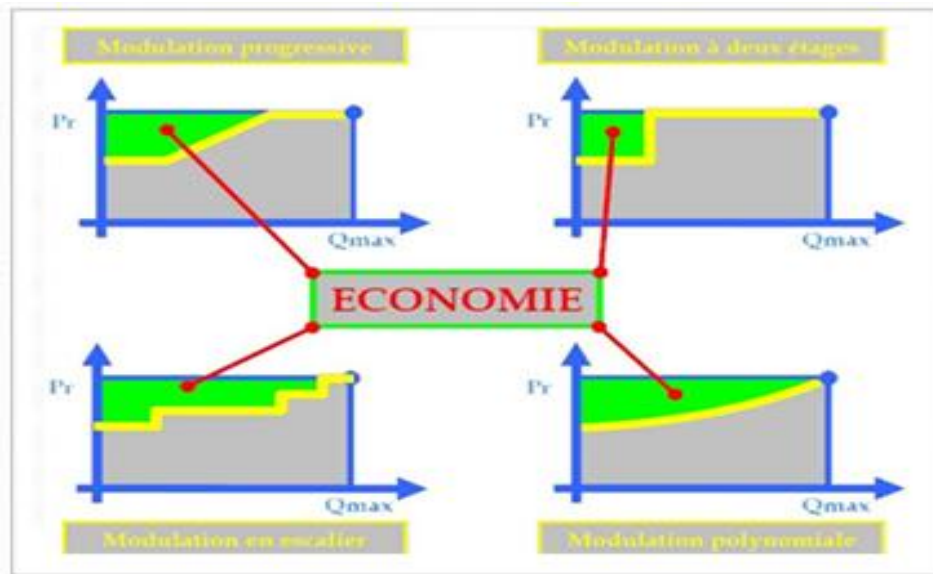


Figure 1: Les différents types de modulation de pression [Document technique. Suez environnement. 2010].

ANNEXE 4

MISE EN SERVICE DE LA MODULATION DE PRESSION

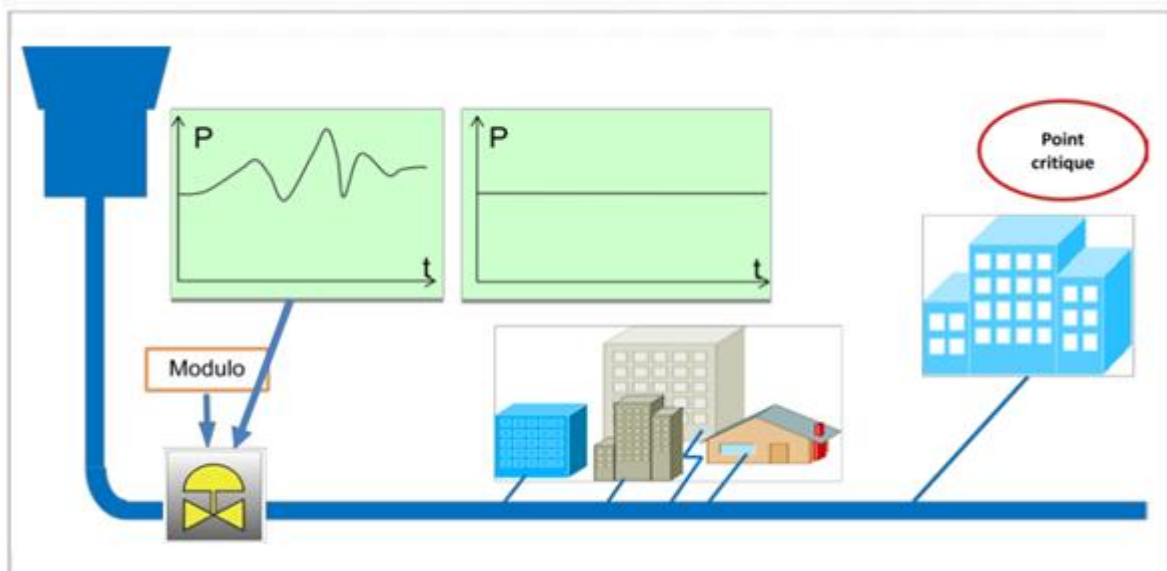


Figure 1: Mise en service de la modulation de pression [Document technique. Suez environnement. 2010].

ANNEXE 5

PRESENTATION DU LOGICIEL EPANET

I. 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.

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.

II. Capacité 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. *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 Chézy-Manning.
- ✓ Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.
- ✓ Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- ✓ Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût.
- ✓ Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- ✓ Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).
- ✓ Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre.

- ✓ Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple). 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.

III. Capacité pour la modélisation de la qualité de l'eau :

En plus de la simulation hydraulique le logiciel présente un module de modélisation de qualité qui permet de calculer les concentrations en substances chimiques, les temps de séjour de l'eau dans différentes parties du réseau, le suivi de l'origine de l'eau...etc. L'utilisation de ce module qualité nécessite un calage hydraulique préalable.

ANNEXE 6

RELATION ENTRE LA PRESSION (P) ET LE DEBIT DE FUITE (Q) EN FONCTION DE LA VALEUR DE N_1

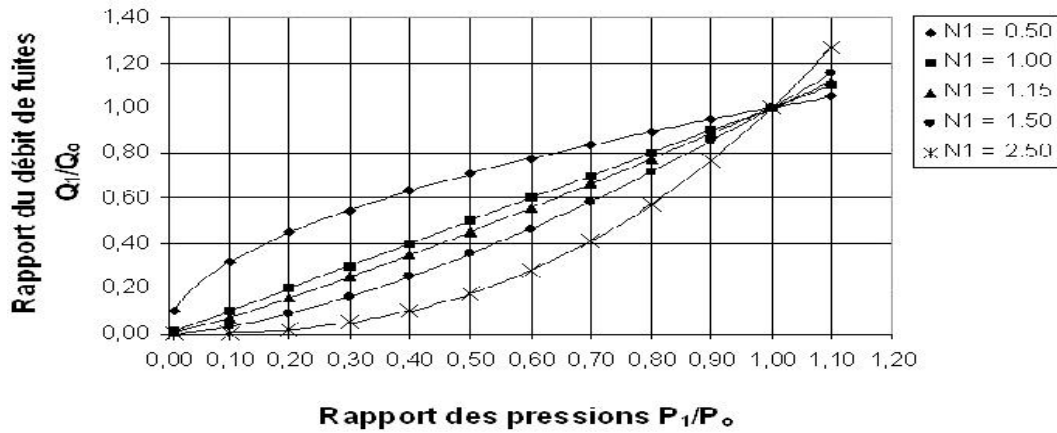


Figure 1: Relations entre la pression (P) et le débit de fuite (Q) en fonction de la valeur de N_1 [Document technique. Suez environnement.2010].

ANNEXE 7

VARIATION DU COEFFICIENT DE DECHARGE C_d EN FONCTION DU NOMBRE DE Re

La figure ci-dessous illustre la variation du coefficient de décharge C_d en fonction du nombre de Reynolds Re .

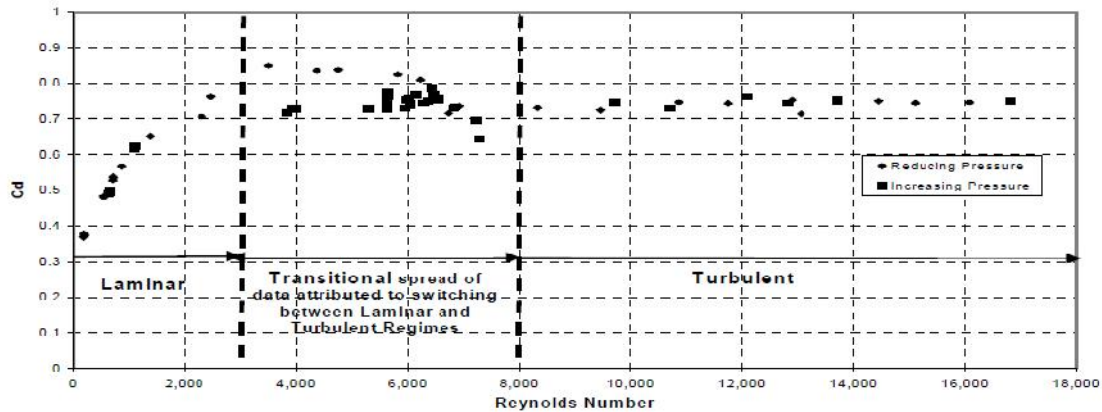


Figure 1: Variation du coefficient de décharge C_d en fonction du nombre de Re [LAMBERT.2000].

ANNEXE 8

DOTATION DOMESTIQUE EN FONCTION DE LA TYPO MORPHOLOGIE DE L'HABITANT

Tableau 1: Dotations domestiques en fonction de la Typo morphologie de l'habitat
[Document technique. SEAAL.2006].

<i>Typo morphologie</i>	<i>Dotation (l/j/hab.)</i>
<i>Très Haut standing (TH)</i>	<i>200</i>
<i>Haut standing (H)</i>	<i>160</i>
<i>Moyen standing Supérieur (MS)</i>	<i>100</i>
<i>Moyen standing Inferieur (MI)</i>	<i>90</i>
<i>Faible standing (F)</i>	<i>60</i>

ANNEXE 9

EQUIPEMENTS

I. 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

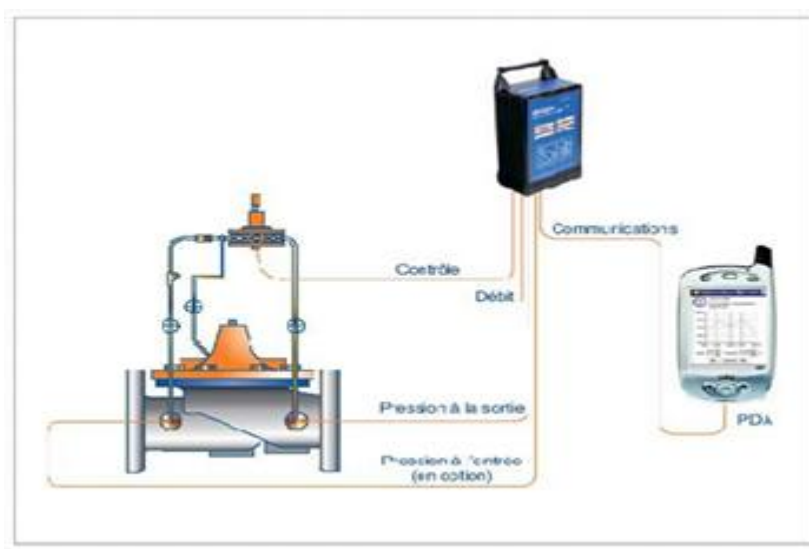


Figure 1 : principe d'un système de modulation de pression.

II. Principe de la vanne de régulation hydraulique à pilote :

Les vannes utilisées pour mettre en œuvre un système de modulation de pression selon la demande sont des vannes de régulation hydraulique à pilote.

Elles se constituent de :

1. une vanne de base comprenant :

- ✓ un corps, séparé en deux parties (Parties A et B, Figure 2) par une cloison médiane, qui comporte une ouverture (siège) ;
- ✓ un chapeau ;
- ✓ un ensemble mobile de fermeture avec une membrane de commande: pièce de liaison, clapet, axe de guidage, contre-siège ;
- ✓ Le chapeau et la membrane constituent et délimitent la chambre de contrôle de la vanne (C).

2. un circuit hydraulique de commande de la vanne, ou circuit pilote, qui comporte :

- ✓ sur sa tubulure amont, une restriction (D) ;
- ✓ sur sa tubulure aval, un pilote (P), qui agit comme un orifice variable, en fonction de la grandeur à réguler (dans le cas présent, la pression aval) ;
- ✓ une liaison avec la chambre de contrôle.

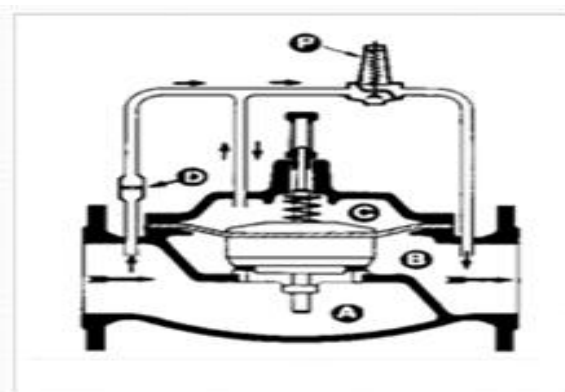


Figure 2 : croquis d'une vanne de régulation de régulation hydraulique à pilote

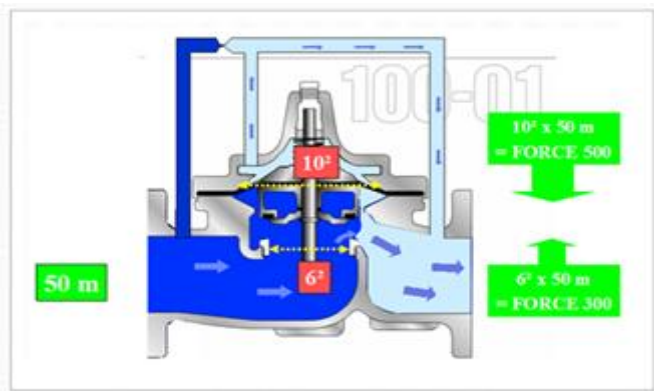


Figure 3 : schéma de principe d'une vanne hydraulique à pilote

Le déplacement vertical de l'équipage mobile, permis par la souplesse de la membrane qui en est solidaire, régule le passage de l'eau à travers la vanne. Il est fonction du rapport des forces exercées par l'eau, d'une part sur la membrane dans la chambre de contrôle, et sous l'équipage mobile de fermeture d'autre part (Figure 3).

La surface de la membrane est plus grande que la section de passage de l'eau à l'intérieur de la vanne : à pression de l'eau égale de part et d'autre, la force exercée de haut en bas sur la membrane est donc supérieure à celle exercée par l'eau pour soulever l'équipage mobile; cette force pousse donc la membrane vers le bas et ferme la vanne. La vanne est dite «naturellement » fermée.

Plus en détails, les figures 4 et 5 ci-dessous en illustrent le fonctionnement.

- ✓ A gauche, le robinet du circuit de dérivation relie l'amont de la vanne à la chambre de contrôle ; la vanne est fermée.
- ✓ A droite, le robinet met à l'atmosphère la chambre de contrôle; le rapport des forces est inversé, la pression amont a repoussé l'équipage mobile vers le haut, la vanne est toute ouverte.

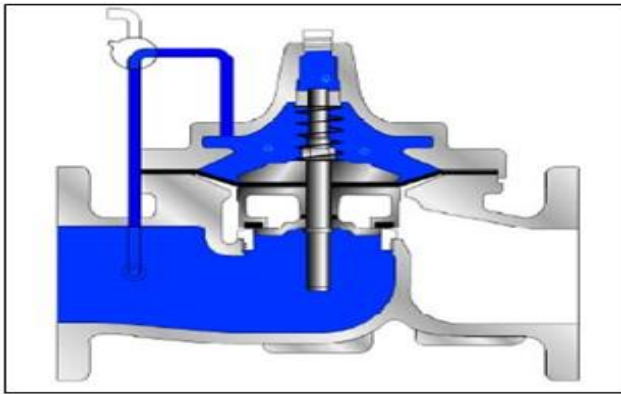


Figure 4 : position fermée d'une vanne de régulation hydraulique à pilote

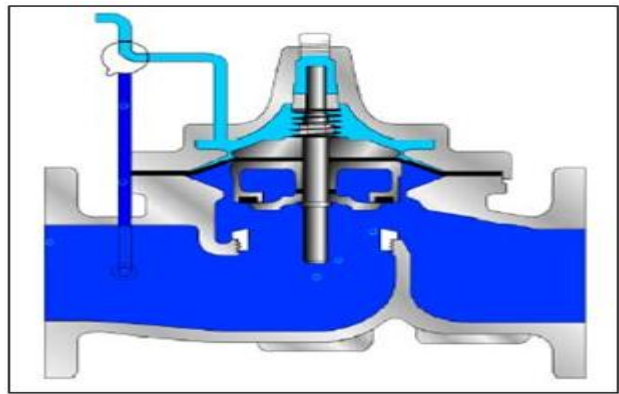


Figure 5 : position ouverte d'une vanne de régulation hydraulique à pilote

L'installation d'un pilote sur le circuit de dérivation permet d'utiliser la vanne comme instrument de régulation. On présente ici le fonctionnement d'une vanne équipée d'un pilote de régulation de la pression aval (figure 6), mais le principe est le même quelque soit le pilote.

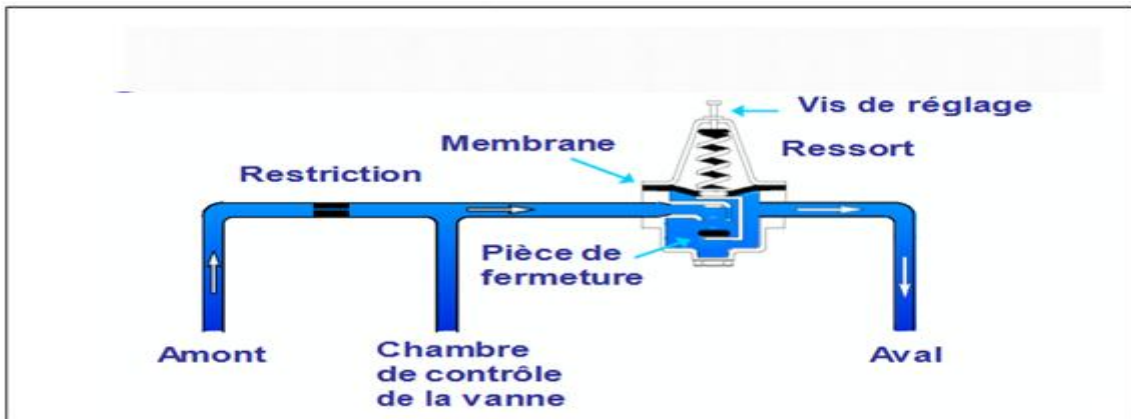


Figure 6: circuit et pilote de contrôle de régulation Aval pour vanne de régulation hydraulique.

Le pilote joue le rôle d'un robinet, à ouverture variable sans intervention manuelle (figure 7).

Comme la vanne principale, il comporte deux parties, séparées par une membrane étanche. Dans la partie sèche se trouve un ressort. La membrane est soumise à la tension du ressort, qu'on règle par enfoncement de la vis accessible à l'extrémité supérieure du pilote.

La pièce de fermeture du pilote est solidaire de la membrane. Cette pièce comporte un opercule, situé en face de l'alimentation du pilote. Le mouvement de bas en haut de la membrane et de la pièce de fermeture règle le passage de l'eau de l'amont à l'aval du pilote.

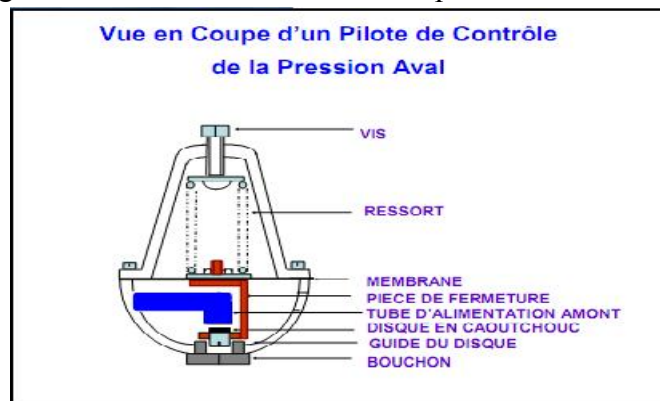


Figure 7 : vue en coupe d'un pilote de contrôle de la pression aval.

C'est le rapport des forces entre la poussée du ressort et la pression exercée par l'eau, de part et d'autre de la membrane, qui va déterminer le degré d'ouverture du pilote (figure 8).

Si le pilote est fermé, c'est que la pression aval est supérieure à la pression de consigne fixée par la poussée du ressort. Au contraire, par exemple à la suite d'une augmentation de la demande, si la pression aval baisse et devient inférieure à cette poussée, le ressort se détend, repousse la membrane et le pilote s'ouvre.

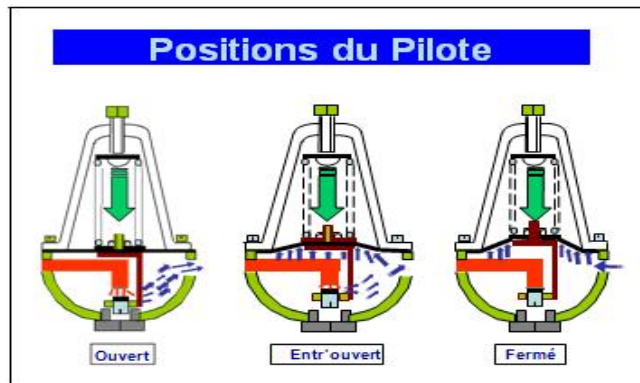


Figure 8 : positions d'un pilote de contrôle de vanne de régulation hydraulique.

Si le pilote (G) est fermé (figure 9), l'eau du circuit de commande, provenant de l'amont de la vanne, est envoyée dans la chambre de contrôle, et la vanne se ferme.

S'il y a demande aval, la pression aval baisse, et le pilote (G) s'ouvre (figure 10).

La restriction (D) située sur la tubulure amont du circuit hydraulique crée une perte de charge, et donc une différence entre la pression résultante présente dans la chambre de contrôle et la pression amont, qui s'exerce sous l'équipage mobile. Le rapport des forces s'inverse, repousse la membrane vers le haut : l'eau présente dans la chambre de contrôle s'échappe vers l'aval, appelée par la demande, et la vanne commence à s'ouvrir.

Une baisse de la demande aval entraîne le mouvement inverse ; la pression aval augmente, le pilote se referme, la chambre de contrôle de la vanne se remplit, et la vanne se ferme jusqu'à ce que l'équilibre entre les forces qui s'exercent sur la membrane du pilote soit rétabli. La vanne principale reproduit les mouvements de son pilote. La pression aval reste constante, quelles que soient la pression amont et la demande aval. La vanne agit comme un «stabilisateur » de la pression aval.

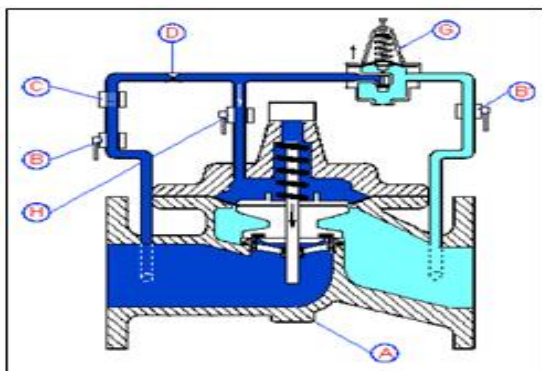


Figure 9 : pilotage de la vanne de régulation position fermée / vanne fermée

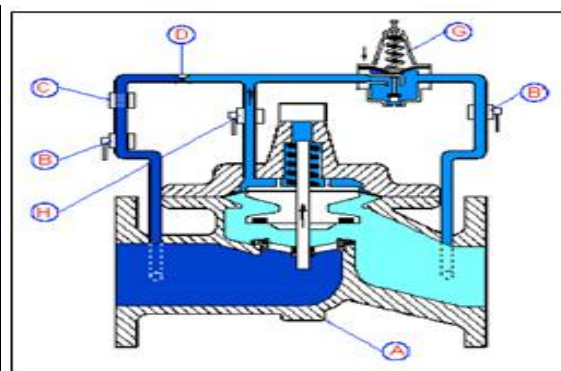


figure 10: pilotage de la vanne de régulation hydraulique position ouverte / vanne ouverte

Avec :

B, B', H : Robinets

C: Filtre

D: Restriction

G : Pilote de contrôle de pression aval

ANNEXE 10

EXPLOITATION ET MAINTENANCE DES VANNES DE MODULATION 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.

Tableau 1 : résume les points de vérification à suivre et la fréquence des contrôles recommandée.

<i>Actions</i>	<i>Fréquence</i>
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 11

CALIBRAGE DU MODELE EN DEBIT

1. Réaffectation des demandes aux nœuds :

Tableau 1 : Réaffectation des demandes aux nœuds.

Nœud	demande de base initiale (SOGREAH)	% demande coeff de demande au nœud	demande de base finale
Noeud 309522	0	0	0
Noeud 311074	0.051190417	0.000444546	0.471023335
Noeud 311075	0.11951625	0.001037899	1.099716432
Noeud 311076	0.12646	0.0010982	1.16360863
Noeud 311077	0.066234167	0.000575189	0.609446847
Noeud 602947	1.251770833	0.010870588	11.51804005
Noeud 602949	0.068754167	0.000597073	0.632634367
Noeud 602950	0.147685	0.001282521	1.358908276
Noeud 602952	0.085771667	0.000744856	0.789219136
Noeud 602955	0.128358333	0.001114685	1.181075945
Noeud 602959	0.061314583	0.000532466	0.564179803
Noeud 609647	0.00983425	8.54023E-05	0.090488836
Noeud 609649	0.011133	9.66808E-05	0.10243915
Noeud 609651	0.186166667	0.001616703	1.712993361
Noeud 609668	0.1505925	0.001307771	1.385661337
Noeud 615687	0.00427575	3.71313E-05	0.039342872
Noeud 615775	0.0196685	0.000170805	0.180977672
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Noeud 615795	0.0095455	8.28947E-05	0.087831932
Noeud 905636	0.1489675	0.001293659	1.370709067
Noeud 905638	0.206775833	0.001795676	1.902626473
Noeud 905639	0.335904167	0.002917048	3.090787503
Noeud 905770	0.345310833	0.002998737	3.177341969
Noeud 905773	0.136653333	0.00118672	1.257401531
Noeud 905779	0.041956667	0.000364359	0.386059938
Noeud 905780	0.022821667	0.000198187	0.209991212
Noeud 905781	0.001456292	1.26467E-05	0.01339992
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Somme	115.15	1	1059.56

2. Réaffectation de la nouvelle courbe de modulation :

Tableau 2 : Réaffectation de la nouvelle courbe de modulation.

Heure	Débit mesuré m ³ /h	Débit simulé m ³ /h	coeff mesure (multiplicateurs)	coeff simulé	Débit simulé 02 m ³ /h
04/04/2015 00:00	583	78.3	0.550228397	0.6871266	583
04/04/2015 01:00	559	62.18	0.527577485	0.54566452	559
04/04/2015 02:00	514	62.18	0.485107026	0.54566452	514
04/04/2015 03:00	498	55.27	0.470006418	0.48502538	498
04/04/2015 04:00	524	55.27	0.494544905	0.48502538	524
04/04/2015 05:00	537	62.18	0.506814149	0.54566452	537
04/04/2015 06:00	603	71.39	0.569104156	0.62648746	603
04/04/2015 07:00	962	94.42	0.907924044	0.82858868	962
04/04/2015 08:00	1296	135.88	1.223149232	1.19242353	1296
04/04/2015 09:00	1375	168.12	1.297708483	1.47534769	1375
04/04/2015 10:00	1518	177.33	1.432670165	1.55617063	1518
04/04/2015 11:00	1545	193.46	1.458152441	1.69772046	1545
04/04/2015 12:00	1498	193.46	1.413794405	1.69772046	1498
04/04/2015 13:00	1458	161.21	1.376042886	1.41470855	1458
04/04/2015 14:00	1401	122.06	1.32224697	1.07114525	1401
04/04/2015 15:00	1217	128.97	1.148589981	1.13178439	1217
04/04/2015 16:00	1186	138.18	1.119332553	1.21260733	1186
04/04/2015 17:00	1227	154.3	1.158027861	1.3540694	1227
04/04/2015 18:00	1232	145.09	1.162746801	1.27324647	1232
04/04/2015 19:00	1248	138.18	1.177847408	1.21260733	1248
04/04/2015 20:00	1281	128.97	1.208992412	1.13178439	1281
04/04/2015 21:00	1249	87.52	1.178791196	0.76803729	1249
04/04/2015 22:00	1148	78.3	1.08346861	0.6871266	1148
04/04/2015 23:00	1004	78.3	0.947563139	0.6871266	1004
05/04/2015 00:00	826	78.3	0.779568878	0.6871266	826
Moyenne	1059.56	113.9528	1	1	1059.56

