

Higher National School of Hydraulic

The Library

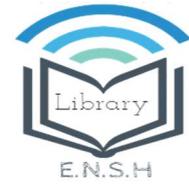
Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Régulation des pressions sur un réseau de distribution d'eau potable Cas de la commune de BouIsmaïl (w. Tipaza).

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0027-17

APA Citation (توثيق APA):

Kortbi, Zaki (2017). Régulation des pressions sur un réseau de distribution d'eau potable Cas de la commune de BouIsmaïl (w. Tipaza)[Mem Ing, ENSH].

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Hydraulique*

Option: Conception des systèmes d'Alimentation en Eau Potable

THEME

**Régulation des pressions sur un réseau de distribution d'eau
potable (Cas de la commune de Bou Ismaïl W. TIPAZA)**

**Présenté Par :
KORTBI Zaki**

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M. HADJ SADOK Ahmed	M.C.A	Président
M. BOUNNAH Younes	M.A.B	Examineur
Mme. KAHLERRAS Malika	M.A.A	Examinatrice
Mme. TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
M. AMMARI Abdelhadi	M.C.B	Promoteur

Session - 2017 H.U.

Remerciements

Je remercie avant tout Dieu de m'avoir guidé et donné la force pour réaliser ce travail.

Ensuite, j'adresse mes remerciements (qui ne sauraient être suffisants) à mes parents, qui ont toujours veillés à mon éducation et instruction ; ainsi qu'à ma sœur pour son soutien indéfectible, particulièrement durant la réalisation de ce projet.

Je remercie tout enseignant m'aillant appris un mot depuis le début de mes études, et plus particulièrement M. AMMARI Abdelhadi, mon promoteur, pour avoir bien voulu m'encadrer et surtout pour m'avoir proposé ce thème que j'ai trouvé fort intéressant.

Aussi, des remerciements à l'attention de mes amis s'imposent, spécialement KRIBES Djalal, BOUTAOUI Aymen et KECHNIT Djamel (dont l'aide pour les logiciels SIG fut indispensable durant ce projet), avec qui j'ai vécu des moments mémorables durant mon passage à l'ENSH.

Je remercie aussi le président du jury M. HADJ SADOK Ahmed et les membres du jury M. BOUNNAH Younes ainsi que Mmes. KAHLERRAS Malika et TAFAT Leïla d'avoir bien voulu juger ce modeste travail.

Pour finir je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, et plus particulièrement les ingénieurs à la SEAAL (TIPAZA) MM. ABED Aïssa et AZAZ Sofiane ainsi que MM. SOLTANI Bilal et MECHRAH Abderrezak du service SIG de la SEAAL (TIPAZA).

A mes parents, ma sœur et ma grand-mère, toute ma famille et mes amis

*A tous les enseignants que j'ai pu avoir, allant de Mmes. MOUAKI et MESSILI au
primaire jusqu'aux enseignants que j'ai eu à l'ENSH*

*A l'ensemble des employés des différents établissements par lesquelles je suis passé
durant mes études*

ملخص :

الضغط الزائد و تغيراته في شبكات توزيع المياه الصالحة للشرب يعتبر مشكلة لهذه الأخيرة. وللد من هذه المشكلة يمكن القيام بعملية تنظيم الضغط على شبكات التوزيع. سنحاول من خلال هذا المشروع وصف طريقة للإتباع عند القيام بهذه العملية.

في نفس الوقت سنحاول تطبيق هذه المنهجية على حالة دراسية حقيقية، حيث نبدأ بإنشاء نموذج هيدروليكي (الذي يجب أن يكون ممثل للشبكة المدروسة قدر المستطاع)، انطلاقاً من مخطط الشبكة على برنامج نظام المعلومات الجغرافية (SIG)؛ ثم يليه تحليل لنتائج المحاكاة لمحاولة استيعاب تصرف الشبكة. بعد هذا سنحاول إسقاط صمامات التحكم في الضغط لتنظيم هذا الأخير على شبكة الدراسة؛ ثم نقوم بمحاكاة ثانية لتقدير تأثير هذه العملية على الضغط في الشبكة.

كلمات رئيسية: تنظيم الضغط؛ صمامات التحكم في الضغط؛ نموذج هيدروليكي؛ المرور نظام المعلومات الجغرافية (SIG) إلى نموذج هيدروليكي.

Résumé :

Les pressions excessives et leurs variations dans les réseaux de distribution d'eau potable sont un réel problème pour ces derniers. Pour pallier ce problème une régulation des pressions sur les réseaux de distribution peut être entreprise. A travers ce modeste projet on va essayer de décrire une méthodologie qui pourrait être suivie pour la mise en place d'une régulation des pressions sur un réseau donné.

En parallèle, on tentera d'appliquer cette méthodologie sur un cas d'étude réel. En commençant par la création d'un modèle hydraulique, aussi représentative que possible, sur la base du tracé du réseau sous logiciel SIG ; suivie d'une analyse du comportement du réseau. Après quoi on fera une projection des moyens de régulation (vannes de régulation) des pressions, avant de faire une deuxième simulation afin de pouvoir apprécier l'impact de ces derniers sur les pressions subites par le réseau étudié.

Mots clés : Régulation des pressions, Vanne de régulation de pression, Modèle hydraulique, Passage du SIG au modèle hydraulique.

Abstract:

Exceeding pressure and its variation in the water distribution networks is a real problem. The latter can be overcome through initiating a pressure regulation program on the distribution networks. This project tries to describe a methodology that could be followed to implement a pressure regulation program on a given network. In parallel, an attempt is made to apply this methodology on a real case study. Starting with the creation of a hydraulic model as representative as possible on the basis of the network layout under a GIS (Geographic Information System) software; this is followed by an analysis of the network's behaviour. After that, we try to project pressure regulating valves (PRVs) to regulate the exceeding pressure on the network; another simulation is carried out to see the impact of the PRVs on the pressure suffered by the studied network.

Key words: Pressure regulation, Pressure regulating valve (PRV), Hydraulic model, GIS to hydraulic model passage.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur la régulation de pression	3
I.1 Intérêt de la régulation de la pression	4
I.1.1 Relation Pression-Fuites.....	4
I.1.2 Méthodes d'évaluation de la pression	5
I.2 Principe de la régulation de la pression	6
I.2.1 Réduction de pression	7
I.2.2 Modulation de pression	7
I.3 Concepts de régulation de pression	7
I.3.1 Fixation de la pression de sortie « Fixed outlet pressure control »	8
I.3.2 Modulation de la pression en fonction du temps « Time modulated pressure control ».....	9
I.3.3 Modulation de pression en fonction du débit « Flow modulated pressure control ».....	10
I.3.4 Modulation de pression en fonction du point critique « Critical point pressure modulation ».....	11
I.4 Les vannes de régulation	12
I.4.1 Les vannes à régulation mécanique.....	12
I.4.2 Les vannes à régulation hydraulique.....	13
I.4.3 Avantages et inconvénients des deux types de vannes.....	15
I.4.4 Autres types de vanne de régulation.....	16
I.5 Champs d'application de la régulation des pressions.....	16
Conclusion.....	17
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	18
II.1 Situation géographique	19
II.2 Relief de la commune	20
II.3 Démographie	21
II.4 Les consommateurs	22
II.5 Les ressources.....	23
II.6 Description du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismail	
23	
II.6.1 Caractéristiques physiques	23
II.6.2 Ouvrages de stockage.....	24

II.6.3	Fonctionnement du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismail	25
II.6.4	Performances du réseau	28
II.6.5	Prévision pour le futur	29
	Conclusion.....	29
Chapitre III	: Création du modèle hydraulique et analyse du comportement du réseau	30
III.1	Choix de la méthode d'estimation des pressions dans notre réseau	31
1 ^{ère} Partie	: Hypothèses et création du modèle hydraulique	31
III.2	Estimation de la consommation moyenne journalière	31
III.3	Régime de consommation	32
III.4	Hypothèses émises pour la création du modèle	34
III.4.1	Les nœuds.....	34
III.4.2	Les conduites/tuyaux	35
III.4.3	Sources d'alimentation du réseau.....	37
III.4.4	Les vannes	37
III.5	Création du modèle	37
III.6	Calage du modèle.....	40
2 ^{ème} Partie	: Analyse du comportement du réseau.....	41
III.7	Analyse des résultats de la simulation	41
III.7.1	Commune	43
III.7.2	Etage Sidi Slimane	45
III.7.3	Etage Route de Chaïba	48
III.7.4	Etage Haouch Saboune.....	51
III.7.5	Etage Ben Derdjine	55
	Conclusion.....	61
Chapitre IV	: Régulation des pressions	63
IV.1	Procédure de mise en place de la régulation de pression sur un réseau.....	64
IV.2	Simulation de la régulation de pression sur modèle hydraulique	66
IV.2.1	Réduction de pression	68
IV.2.2	Modulation de pression	69
IV.3	Régulation de pressions sur le réseau d'étude	70
IV.3.1	Etage Sidi Slimane	70
IV.3.2	Etage Route Chaïba.....	74
IV.3.3	Etage Haouch Saboune.....	79

IV.3.4 Etage Ben Derdjine	81
IV.4 Choix/Dimensionnement des vannes	84
IV.4.1 Principe du choix/dimensionnement des vannes.....	84
IV.4.2 Choix des vannes projetées	87
Conclusion.....	88
Chapitre V : Comportement du réseau après régulation des pressions	90
V.1 Résultats et analyse.....	91
V.1.1 Commune	92
V.1.2 Etage Sidi Slimane	94
V.1.3 Etage Route Chaïba.....	96
V.1.4 Etage Haouch Saboune.....	98
V.1.5 Etage Ben Derdjine	100
Conclusion.....	104
Conclusion générale	105
Bibliographie.....	108
Annexes	110

Liste des figures

Figure I-1 : Fréquence d'apparition des fuites en fonction de la pression moyenne, cas d'un large réseau de distribution (Pays de Galles) (Lambert, 2001)	4
Figure I-2 : Représentation simplifiée des pressions dans un réseau de distribution (Source : http://www.waterloss-reduction.com/index.php/en/solutions/pressure-management)	7
Figure I-3 : Concept de la fixation de la pression de sortie (Mckenzie et Wegelin, 2009).....	8
Figure I-4 : Concept de la modulation de la pression en fonction du temps (Mckenzie et Wegelin, 2009).....	9
Figure I-5 : Concept de la modulation de la pression en fonction du débit (Mckenzie et Wegelin, 2009).....	10
Figure I-6 : Concept de la modulation de la pression en fonction du point critique (Mckenzie et Wegelin, 2009).....	11
Figure I-7 : Vannes de régulation.....	12
Figure I-8 : Vue en coupe d'une vanne à régulation mécanique.....	13
Figure I-9 : Composition d'une vanne à régulation hydraulique	14
Figure I-10 : Vue en coupe du pilote.....	14
Figure I-11 : Vue en coupe de la vanne de base.....	14
Figure I-12 : Vue en coupe de l'ensemble (Vanne de base + Circuit pilote).....	15
Figure I-13 : Vanne à régulation hydraulique en forme de Y	16
Figure I-14 : Vanne annulaire (Plunger valve).....	16
Figure II-1 : Image satellitaire de la commune de Bou Ismaïl.....	19
Figure II-2 : Carte des pentes de la commune de Bou Ismaïl	20
Figure II-3 : Répartition de la population de la commune de Bou Ismaïl.....	21
Figure II-4 : Schéma synoptique du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl	27
Figure III-1 : Graphique de consommation de l'agglomération (Ménages/Equipements)	34
Figure III-2 : Carte des pressions moyennes journalières – Commune	43
Figure III-3 : Courbe de cumul des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune	44
Figure III-4 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Sidi Slimane	45
Figure III-5 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Sidi Slimane ...	46
Figure III-6 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Route Chaïba	48
Figure III-7 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Route Chaïba..	49
Figure III-8 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Haouch Saboune.....	51
Figure III-9 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Haouch Saboune - zone industrielle	52
Figure III-10 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Haouch Saboune - zone résidentielle.....	53
Figure III-11 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Ben Derdjine	55
Figure III-12 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine	56
Figure III-13 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Ouest de l'étage Ben Derdjine.....	57

Figure III-14 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Ouest de l'étage Ben Derdjine (après redimensionnement)	58
Figure III-15 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine (après redimensionnement)	59
Figure III-16 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Nord-Est de l'étage Ben Derdjine.....	59
Figure III-17 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire des points hauts de l'étage Ben Derdjine	59
Figure IV-1 : Schéma explicatif des principes précédemment cités	65
Figure IV-2 : Schéma explicatif de la position de la vanne	66
Figure IV-3 : Schéma explicatif de la zone basse de l'étage Sidi Slimane	71
Figure IV-4 : Modifications projetées – Etage Sidi Slimane	73
Figure IV-5 : Schéma explicatif de l'étage Route de Chaïba.....	74
Figure IV-6 : Modifications projetées du schéma de distribution de l'étage Route de Chaïba	75
Figure IV-7 : Schéma explicatif de l'étage Ben Derdjine	81
Figure IV-8 : Diagramme de cavitation du modèle d'un fabricant	85
Figure IV-9 : Diagramme de fonctionnement d'un modèle d'un constructeur	86
Figure IV-10 : Diagramme de contrôle des taux d'ouverture en fonction du Kv	87
Figure V-1 : Carte des pressions moyennes journalières – Commune	92
Figure V-2 : Courbe de cumul des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune	93
Figure V-3 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Sidi Slimane	94
Figure V-4 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Sidi Slimane	95
Figure V-5 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Route Chaïba	96
Figure V-6 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Route Chaïba...	97
Figure V-7 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Haouch Saboune.....	98
Figure V-8 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Haouch Saboune - zone résidentielle.....	99
Figure V-9 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Ben Derdjine.....	100
Figure V-10 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine	101
Figure V-13 : Graphe de variation de la pression au niveau des points juste en amont des parties Ouest et Nord-Est (Etage Ben Derdjine)	102
Figure V-11 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Ouest de l'étage Ben Derdjine.....	102
Figure V-12 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Nord-Est de l'étage Ben Derdjine.....	102

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Caractéristiques des ouvrages de stockage.....	24
Tableau III-1 : Consommations des industries.....	32
Tableau III-2 : Régimes de consommations.....	33
Tableau III-3 : Rugosité équivalente ε [m] selon la littérature.....	36
Tableau III-4 : Rugosité équivalente ε [mm] appliquées	36
Tableau III-5 : Table des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune.....	44
Tableau III-6 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Sidi Slimane	46
Tableau III-7 : Les écarts de pression – Etage Sidi Slimane.....	47
Tableau III-8 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Route Chaïba.....	49
Tableau III-9 : Les écarts de pression – Etage Route Chaïba	50
Tableau III-10 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Haouch Saboune.....	53
Tableau III-11 : Les écarts de pression - Etage Haouch Saboune (Zone résidentielle)	54
Tableau III-12 : Récapitulatif et résultats des modifications	58
Tableau III-13 : Les écarts de pression des parties Ouest et Nord-Est de l'étage Ben Derdjine	60
Tableau IV-1 : Consigne à introduire selon le type des vannes de régulation	67
Tableau IV-2 : les trois états des vannes stabilisatrices aval et amont.....	68
Tableau IV-3 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Sidi Slimane	72
Tableau IV-4 : Modifications projetées pour l'étage Route de Chaïba.....	76
Tableau IV-5 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Route Chaïba.....	78
Tableau IV-6 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Haouch Saboune	80
Tableau IV-7 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Ben Derdjine	82
Tableau IV-8 : Consignes à affecter à la vanne VR8	83
Tableau IV-9 : Modifications projetées pour l'étage Ben Derdjine.....	84
Tableau IV-10 : résultats de vérification des conditions de fonctionnement des vannes projetées	87
Tableau V-1 : Table des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune.....	93
Tableau V-2 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Sidi Slimane avant et après régulation	95
Tableau V-3 : Tableau comparatif des pressions de l'étage Route Chaïba avant et après régulation.....	97
Tableau V-4 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Haouch Saboune avant et après régulation	99
Tableau V-5 : Les écarts de pression des parties Ouest et Nord-Est de l'étage Ben Derdjine après régulation des pressions	103

Abréviations

- AC : Acier.
- AG : Acier Galvanisé.
- AMC : Amiante Ciment.
- F : Fonte.
- FAVAD : Fixed And Variable Area Discharges.
- FD : Fonte Ductile.
- Irstea : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture - france.
- mCE : mètre Colonne d'Eau.
- MNT : Modèle Numérique de Terrain.
- ONEMA : Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques - france.
- PE : Polyéthylène.
- PEHD : Polyéthylène Haute Densité.
- PVC : Polychlorure de Vinyle (Polyvinyl Chloride).
- PRV : Vanne de réduction de pression (Pressure Reducing Valve).
- SEAAL : Société des Eaux et d'Assainissement d'ALGER.
- SDEM : Système de Dessalement d'Eau de Mer.
- SIG : Système d'Information Géographique.

Introduction générale

Les réseaux de distribution d'eau potable sont communément dimensionnés de telle sorte à garantir une certaine pression de confort au niveau des points les plus défavorables du réseau et à l'heure de pointe (heure de plus grande consommation). Cette manière de procéder fait que les réseaux sont, en général, soumis à des variations de pression ainsi que des pressions excessives durant les heures de plus faible consommation, dans certains cas même durant les heures de pointes certaines parties d'un réseau donné, à cause de la configuration topographique de la région, peuvent être soumises à des pressions excessives. Pour pallier ce problème sur les réseaux qui en souffrent le plus, des moyens de régulation des pressions peuvent être projetés, afin de réduire les pressions d'une valeur bien déterminée ou de moduler les pressions en fonction des heures de la journée, et ce selon la variation des pressions subites par le réseau étudié.

A travers ce projet, on va essayer de présenter les étapes à suivre afin de faire une étude de régulation des pressions sur un réseau donné ; et on appliquera ces dernières sur un cas réel, à savoir le réseau de distribution d'eau potable de la commune de Bou Ismail (W. Tipaza). Après des généralités sur la régulation des pressions et la présentation de la zone d'étude, ce projet se déroulera suivant quatre principales étapes.

L'usage des modèles hydrauliques au stade des études, que ce soit des études de dimensionnement ou de régulation, est d'une utilité indéniable vu la possibilité qu'offrent les logiciels de simulation hydraulique de simuler plusieurs scénarios potentiels et de manière relativement aisée. Notre présente étude ne fait pas exception à la règle, la première étape du projet consistera donc en la création d'un modèle hydraulique aussi représentatif que possible de l'état actuel du réseau étudié.

Après quoi, on fera une simulation pour avoir un aperçu sur le comportement du réseau étudié, et on essaiera d'analyser les résultats obtenus afin de déterminer les zones les plus sujettes aux pressions excédentaires. Une fois cette analyse faite, on procédera à la projection des moyens de régulation des pressions ; durant cette étape l'usage du modèle hydraulique serait d'une grande utilité, il permettrait d'essayer diverses combinaisons de vannes projetées et de choisir celle qui donne les meilleurs résultats.

Pour finir on procédera à une nouvelle simulation, en introduisant les moyens de régulation projetés sur notre réseau, avant d'analyser les nouveaux résultats et les comparer aux résultats obtenus avant régulation, pour essayer d'apprécier l'impact de cette dernière sur les pressions dont fait l'objet le réseau étudié.

Chapitre I : Généralités sur la régulation de pression

Avant de commencer notre projet, on va essayer à travers ce premier chapitre, de donner un aperçu sur la régulation de pression sur les réseaux de distribution d'eau potable en présentant son objectif, son principe et les concepts de son application sur le terrain avant de finir avec un état de l'art des équipements les plus communément employés lors de la réalisation d'un projet de régulation de pression.

I.1 Intérêt de la régulation de la pression

Le principal objectif de la régulation de la pression sur les réseaux de distribution d'eau potable est la réduction des fuites et des casses dues aux pressions excessives ainsi qu'à la variation de pression auxquelles sont soumis les réseaux.

Des données, obtenues suite à des mesures faites au Royaume Uni, établissent l'impact de la pression sur la variation de la fréquence d'apparition des fuites sur des secteurs (DMA : District Metered Areas) et des réseaux de distribution plus large (voir Figure I-1). L'Analyse de ces deux jeux de données a démontré que pour un réseau, où la distribution d'eau potable est en continu, la fréquence d'apparition des fuites augmentent de manière significative lorsque la pression dépasse les 35 à 40 mètres (Lambert, 2001).

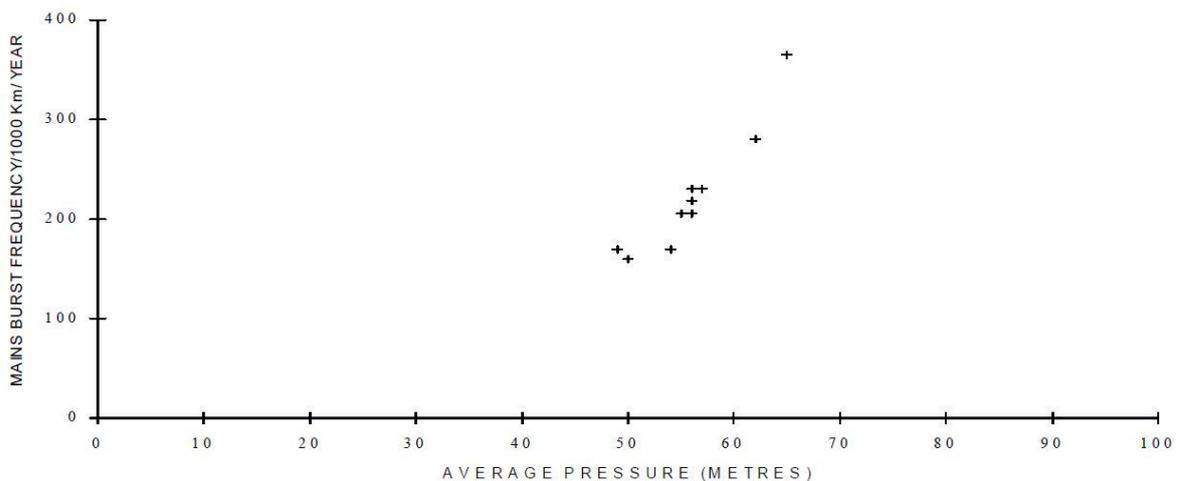


Figure I-1 : Fréquence d'apparition des fuites en fonction de la pression moyenne, cas d'un large réseau de distribution (Pays de Galles) (Lambert, 2001)

I.1.1 Relation Pression-Fuites

La relation entre la pression et le débit de fuite, dans le cas d'un orifice, est relativement bien connue, et est décrite par la formule de Torricelli :

$$v = \sqrt{2gh} \quad (\text{I.1})$$

Où : v est la vitesse d'écoulement du fluide (m/s), g accélération de la pesanteur (m/s^2) et h la pression au droit de l'orifice (m).

De cette équation découle la formule du débit de fuite Q à travers un orifice en fonction de la pression h et pour un orifice de section A :

$$Q=C_dA\sqrt{2gh} \quad (\text{I.2})$$

Où : C_d est le coefficient de débit qui prend en considération la perte de charge et le jet causés par la contraction de l'orifice.

Cependant la relation entre la pression et les fuites dans les réseaux de distribution d'eau potable est loin d'être aussi simple, plusieurs théories ont été postulées pour expliquer cette relation et la théorie la plus acceptée est celle qui a été suggérée pour la première fois par John May en 1994 : Fixed And Variable Area Discharges (FAVAD) (Mckenzie et Wegelin, 2009). Le principe de base du concept FAVAD est que certaines fuites sont rigides (garde la même forme et la même surface lorsque la pression augmente) alors que d'autres se dilate en fonction de l'augmentation de pression.

En pratique le moyen le plus approprié et le plus simple d'estimer la relation entre la pression P et le débit de fuite Q à l'échelle d'un secteur (une partie d'un réseau) c'est de considérer que Q varie en fonction P^{NI} ; et d'employer l'équation (Lambert, 2001) :

$$Q_1/Q_0 = (P_1/P_0)^{NI} \quad (\text{I.3})$$

Où : Q_0 est le débit de fuite correspondant à P_0 et Q_1 est le débit de fuite correspondant à P_1 .

L'exposant NI peut varier de 0,5 pour les fuites rigides 'Fixed Area' jusqu'à 1,5 pour les fuites dont la surface varie en fonction de la pression 'Variable Area', dans certains cas exceptionnels sa valeur peut atteindre jusqu'à 2,5 (Thornton, 2003). La valeur de l'exposant NI varie selon les matériaux des conduites, les conditions d'exploitation et le type des fuites.

A noter aussi que cette formule s'appliquant à l'échelle d'un réseau ou d'une partie d'un réseau (secteur), le débit de fuite Q considéré correspond au débit de fuite total du réseau/secteur qui peut être estimé à partir des données sur les volumes distribués et les volumes consommés, la pression P considérée correspond à la pression moyenne du réseau/secteur et peut être estimée par différentes méthodes qu'on va détaillées dans le prochain sous-titre, quant à l'exposant NI on a vu qu'il dépendait des caractéristiques physiques et de l'état du réseau, il est estimé soit à partir de mesures sur terrain soit par des formules empiriques, c'est donc un paramètre assez difficile à déterminer.

I.1.2 Méthodes d'évaluation de la pression

Les méthodes d'évaluation de la pression d'une zone de desserte peuvent variées selon les circonstances locales des pays, on va donc se limiter aux trois méthodes présentées par l'ONEMA et l'irstea dans le recueil " Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable - Fiches pratiques " paru en avril 2012.

- **Méthode "Topographique"**

Cette méthode est basée sur une approche topographique, où « *La pression moyenne est supposée peu différente de la pression statique qui peut être estimée à partir de l'altimétrie des éléments du réseau.* ». Elle a l'avantage d'être simple à l'exécution du

moment qu'on a le fond topographique de la zone de desserte ; par contre elle présente l'inconvénient de négliger les variations de pression dues aux pertes de charges, qu'elle soit inapplicable pour les réseaux complexes et qu'il faut prendre des précautions lorsque le réseau n'est pas en distribution simple.

- **Méthode “Modèle hydraulique”**

Cette méthode est basée sur un modèle hydraulique, où « *La pression moyenne est calculée à partir d'un modèle hydraulique supposé fiable pour une journée moyenne de consommation.* ». Sur un modèle hydraulique les pertes de charges en fonction de la demande horaire pouvant être estimées, il est donc possible de prendre en considération les variations horaires de la pression sur une journée représentative.

Cette méthode a l'avantage d'être applicable pour tout type de réseau et de permettre de simuler des configurations différentes de manière assez aisée ; cependant il faut s'assurer de la qualité du modèle, il faut qu'il soit aussi représentatif que possible du réseau réel et de son comportement avec des informations fiables et récentes concernant la demande, des tests de cohérence peuvent être envisagés pour vérifier cette condition.

- **Méthode “Mesure”**

« *Cette méthode s'appuie sur des mesures de pression effectuées en un point moyen représentatif de la zone.* », « *La pression moyenne du secteur est déduite des mesures effectuées en un point dont la pression est supposée représentative de celle de l'ensemble du secteur.* » ; la cote au sol du point de mesure doit être aussi proche que possible de la cote sol moyenne pondérée de la zone. Cette méthode a pour avantage une relative simplicité de mise en œuvre et la possibilité de considérer les variations de consommation et donc de fonctionnement en faisant des mesures sur les durées souhaitées ; néanmoins elle présente, comme toutes les autres méthodes, certaines contraintes, à savoir la nécessité de mise en place d'appareils de mesure, la connaissance avec une bonne précision de la cote au sol du point de mesure et vérifié sa représentativité et son inapplicabilité aux secteurs soumis à plusieurs régimes de pression.

N.B. : Les pressions moyennes estimées doivent être pondérées. Il est préconisé d'utiliser le nombre de branchement comme moyen de pondération dans la mesure du possible, à défaut de quoi l'utilisation de la consommation moyenne journalière est supposée être une alternative assez représentative.

I.2 Principe de la régulation de la pression

La régulation de pression désigne la mise en place de dispositifs spécifiques destinés à modifier la pression d'une zone de desserte en eau. Dans la régulation de pression on distingue la « **réduction de pression** » qui consiste en une réduction de la pression d'une zone selon une consigne stable dans le temps (plus d'une journée) et la « **modulation de pression** » dont l'objectif est d'adapter la pression en fonction d'un

paramètre potentiellement variable dans un temps inférieur à une journée (Ben Hassen, 2012).

En entreprenant un programme de régulation de pression sur un réseau il faut veiller à toujours garder une certaine qualité de service par rapport au consommateur ainsi que lors des cas de demandes exceptionnelles (demande d'un certain débit pour la lutte contre l'incendie par exemple) (Mckenzie et Wegelin, 2009).

I.2.1 Réduction de pression

Lors de la période de pic de demande et lorsque la pression au point critique dépasse le minimum requis, il est possible de réduire de manière globale la pression d'une zone de desserte. Souvent, cela consiste en pratique à installer un stabilisateur aval en tête du réseau (irstea, 2012).

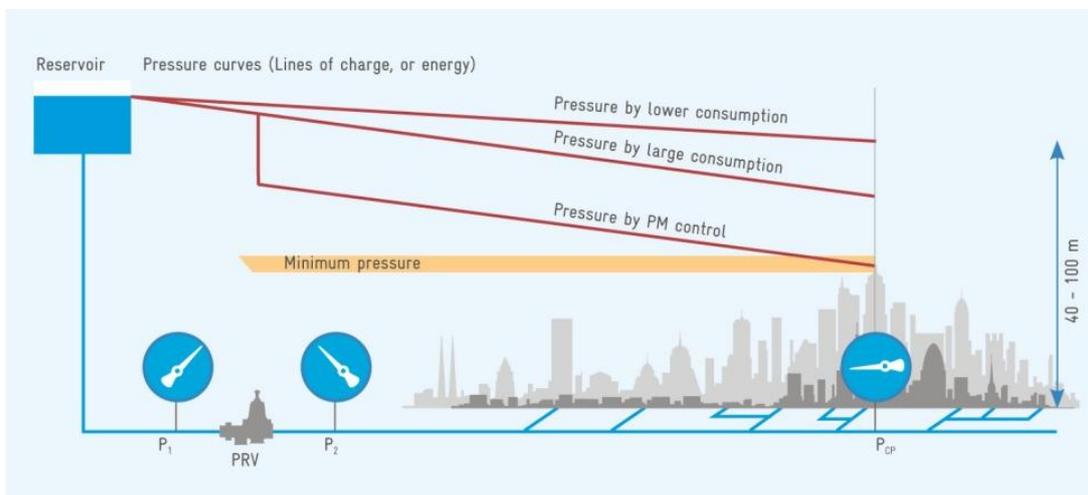


Figure I-2 : Représentation simplifiée des pressions dans un réseau de distribution (Source : <http://www.waterloss-reduction.com/index.php/en/solutions/pressure-management>)

I.2.2 Modulation de pression

Les pertes de charges dans les réseaux étant variables en fonction du débit qui transite, elles sont donc moins importantes en période nocturne lorsque la demande est faible ; et du moment que les réseaux sont conçus de manière à assurer une pression suffisante en tout point et à tout moment, la pression en période de faible demande est excédentaire, même au point critique. Il conviendrait donc de ne réduire la pression de desserte que durant les périodes de faible demande, on parle alors de modulation de pression. En pratique cela consiste en l'installation des stabilisateurs avaux dont la consigne varie selon une commande (irstea, 2012).

I.3 Concepts de régulation de pression

Actuellement il existe plusieurs méthodes de régulation de pression sur les réseaux, avec à chacune des méthodes avantages et inconvénients ; on va présenter les concepts les plus communs en pratique (Mckenzie et Wegelin, 2009) :

- Fixation de la pression de sortie « Fixed outlet pressure control ». [Appelé aussi modulation de la pression au point local « Local point pressure modulation » (Source : <https://shaabanibrahim.wordpress.com/module-3/lesson11-pressure-management/>)]
- Modulation de la pression en fonction du temps « Time modulated pressure control ».
- Modulation de pression en fonction du débit « Flow modulated pressure control ».
- Modulation de pression en fonction du point critique « Critical point pressure modulation » (Source : <https://shaabanibrahim.wordpress.com/module-3/lesson11-pressure-management/>)

I.3.1 Fixation de la pression de sortie « Fixed outlet pressure control »

Ce concept n'est, en fait, rien d'autre que la réduction de pression et implique donc l'emploi d'une vanne réductrice de pression (PRV : Pressure Reducing Valve) dont le but est de fixer la pression maximum à l'entrée d'une zone de desserte (ndlr : qui correspond au point de sortie de la vanne réductrice de pression, d'où le nom du concept). Ce mode de régulation de pression est le plus simple et le plus direct puisque il ne nécessite aucun équipement supplémentaire en plus de la vanne réductrice de pression (Mckenzie et Wegelin, 2009).

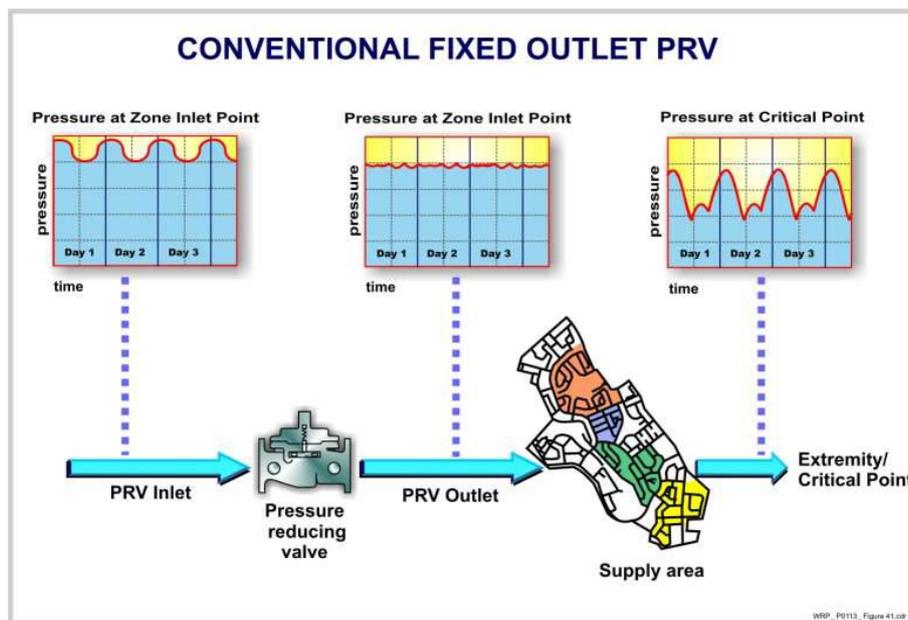


Figure I-3 : Concept de la fixation de la pression de sortie (Mckenzie et Wegelin, 2009)

Avantages :

- Relativement simple à installer et ne nécessite qu'une vanne réductrice de pression.
- Coût relativement bas vu que ça ne nécessite aucun équipement de contrôle.
- Maintenance et exploitation relativement simple.

Inconvénients :

Le principal inconvénient de ce concept c'est qu'il n'y a pas de possibilité d'ajustement de la pression au cours d'une même journée. (ndlr : la zone de desserte en aval de la vanne réductrice de pression sera toujours soumise aux variations de pression).

I.3.2 Modulation de la pression en fonction du temps « Time modulated pressure control »

Ce concept est, du point de vue fonctionnement, similaire au précédent, avec un équipement additionnel de control de la consigne de réduction de pression en fonction du temps. Il nous permet donc, grâce à une pré-programmation de l'appareil de control de la vanne (PRV), une plus grande réduction de pression durant les périodes de faible demande principalement durant la nuit où la consommation est très faible (Mckenzie et Wegelin, 2009).

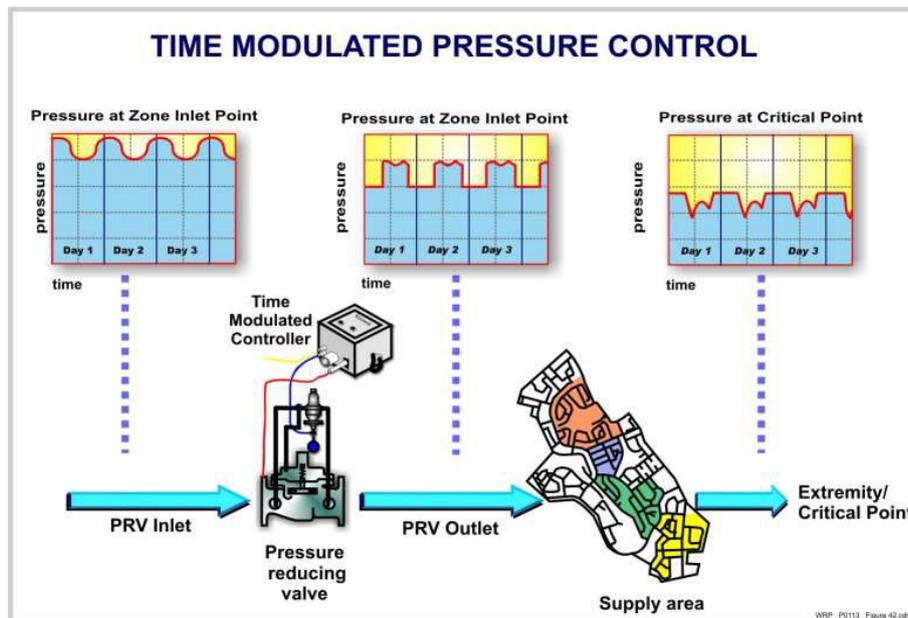


Figure I-4 : Concept de la modulation de la pression en fonction du temps (Mckenzie et Wegelin, 2009)

Avantages :

- L'appareil de control nous confère une plus grande flexibilité en termes de réduction de pression à différentes périodes de la journée, ce qui conduit à une plus grande réduction des fuites.
- Ce mode de control est moins couteux que d'autre, vu que ça ne nécessite qu'un appareil électronique de control, et est relativement facile à installer et utiliser.
- L'installation ne nécessite pas d'appareil de mesure vu que le mode de control est indépendant des paramètres d'écoulement (pression, débit).

Inconvénients :

- Ce concept ne permet pas une réaction à la demande en débit ce qui peut être problématique en cas d'incendie où une certaine pression doit être assurée au niveau des équipements de lutte contre l'incendie.
- Ce mode de régulation de pression est plus couteux que le premier cité et nécessite des opérateurs plus qualifiés pour exploiter et maintenir l'installation.

I.3.3 Modulation de pression en fonction du débit « Flow modulated pressure control »

Ce concept est, du point de vue fonctionnement, similaire au précédent, mais requière l'installation d'un débitmètre avant la vanne réductrice de pression avec un équipement de control de la consigne de réduction de pression en fonction du débit demandé par la zone de desserte (Mckenzie et Wegelin, 2009).

L'appareil de control (ndlr : électronique et programmable) compare le débit mesuré avec la relation débit-pertes de charge caractérisant le réseau de la zone de desserte, qui doit être préétablie par l'exploitant du réseau ; sur la base de cette mesure l'appareil de control régule l'ouverture de la vanne (PRV) selon la demande afin de garantir la pression nécessaire aux consommateurs (Source : <https://shaabanibrahim.wordpress.com/module-3/lesson11-pressure-management/>).

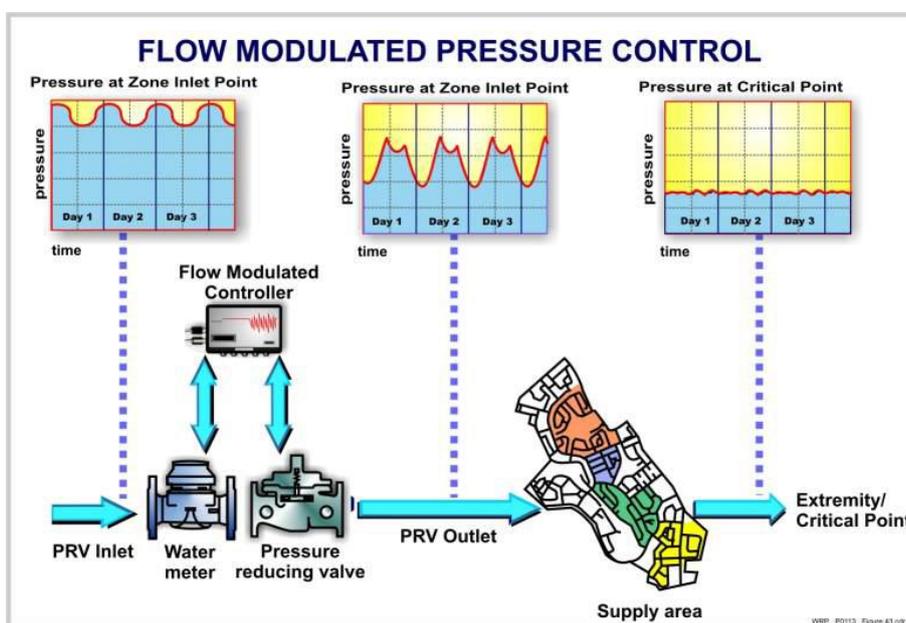


Figure I-5 : Concept de la modulation de la pression en fonction du débit (Mckenzie et Wegelin, 2009)

Avantages :

- Ce mode de control permet une plus grande flexibilité en termes de réduction de pression par rapport aux deux premiers concepts, et donc en toute logique ceci permettrait une plus grande réduction des fuites.
- Le fait que le control soit en fonction du débit, en cas de demande exceptionnelle (pour la lutte contre un incendie par exemple), cela permettrait de garder le réseau sous une pression confortable.

Inconvénients :

- L'appareil de control est très couteux et nécessite la présence d'un débitmètre.
- L'exploitation et la maintenance d'une telle installation nécessite un personnel très qualifié.

- Malgré les potentielles économies faites (ndlr : par rapport aux volumes d'eau sauvegardés suite à la réduction des fuites) l'emploi de ce mode de control peut s'avérer non rentable dans certains cas, on lui préfère un des deux premiers concepts.

I.3.4 Modulation de pression en fonction du point critique « Critical point pressure modulation »

Ce mode de régulation de pression est, actuellement, le plus sophistiqué, il se base sur la mesure de la pression au point critique du réseau et est généralement associé au concept précédant basé sur la mesure du débit demandé (Mckenzie et Wegelin, 2009).

Ce concept nécessite l'installation d'un capteur de pression au niveau du point critique qui y mesure la pression et envoi l'information à l'appareil de control de la vanne (PRV) en continu, ce qui permet un ajustement de la pression à l'entrée de la zone de desserte en continu pour garantir la pression requise de manière plus ou moins constante au niveau du point critique (Source : <https://shaabanibrahim.wordpress.com/module-3/lesson11-pressure-management/>).

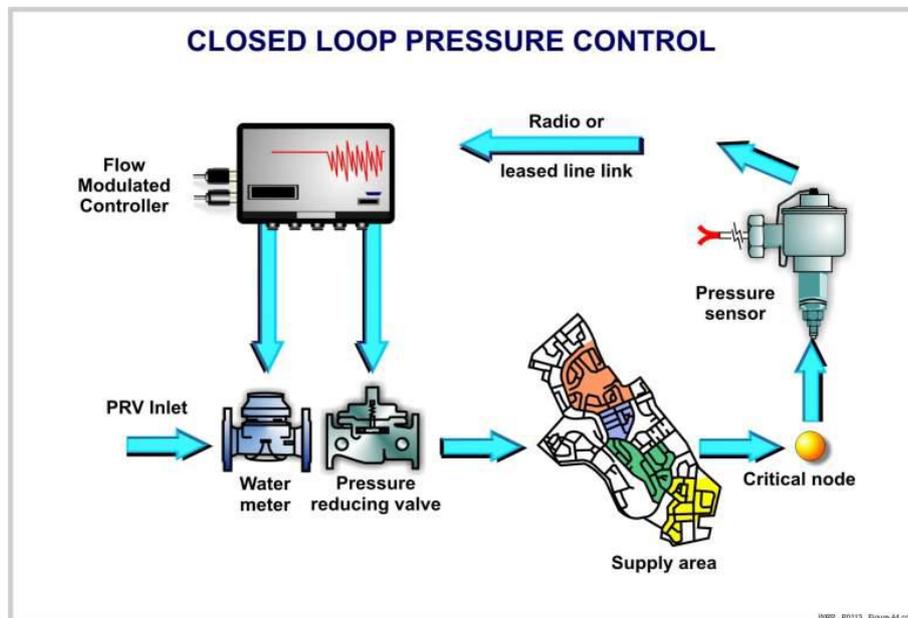


Figure I-6 : Concept de la modulation de la pression en fonction du point critique (Mckenzie et Wegelin, 2009)

Avantages :

- Cette méthode permet le meilleur control de la pression possible et par conséquent permet la plus grande réduction de fuites.

Inconvénients :

- C'est la forme la plus compliquée de régulation de la pression et est donc, potentiellement, plus sujette aux pannes et dysfonctionnement.

- Nécessite la présence de moyens de télécommunication (radio ou par ligne/connexion dédiée (leased line link sur la Figure I-6)) pour permettre la communication entre le capteur de pression et l'appareil de control de la vanne (PRV).
- L'installation, l'exploitation et la maintenance d'un tel système est extrêmement couteuse et nécessite un personnel hautement qualifié.

I.4 Les vannes de régulation

Une vanne de régulation de pression, appelée aussi stabilisateur de pression aval, « ... *ajuste son degré d'ouverture pour créer une perte de charge qui abaisse la pression dans le but de respecter une consigne de pression fixe à son aval.* » ; une vanne de régulation fonctionne suivant une sens unique d'écoulement de l'eau, généralement indiqué sur le corps de la vanne (Ben Hassen, 2012).

Il existe deux grandes familles de vannes de régulation de pression :

- Les vannes à régulation mécanique (Figure I-7 (a)).
- Les vannes à régulation hydraulique (Figure I-7 (b)).



Figure I-7 : Vannes de régulation

I.4.1 Les vannes à régulation mécanique

La vanne à régulation mécanique régule la pression en compensant les forces de pression amont et aval par l'action d'un ressort, son rôle est de « ... *réduire et de maintenir la pression d'un réseau à partir d'une conduite à pression plus élevée, quelles que soient les variations de la pression amont et du débit demandé.* » (Ben Hassen, 2012).

I.4.1.1 Fonctionnement de la vanne (selon le document technique du modèle d'un fabricant)

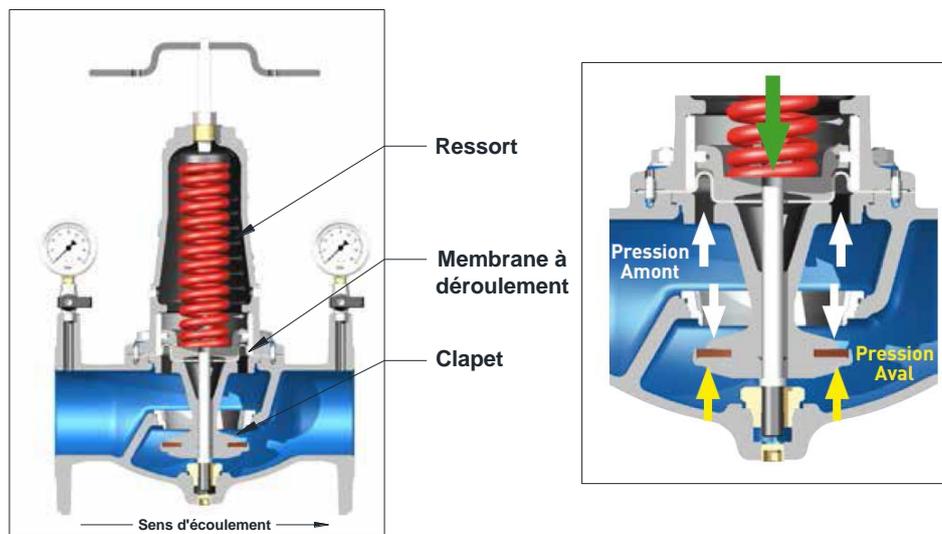


Figure I-8 : Vue en coupe d'une vanne à régulation mécanique

Les forces de pression aval (flèches jaunes) agissant sous le clapet sont compensées par la force due à la compression du ressort (flèche verte), la compression du ressort est réglable manuellement selon la pression de sortie qu'on souhaite atteindre.

Quand la pression aval ait tendance à devenir inférieure à la pression de tarage (ndlr : pression de sortie objectif par rapport à laquelle la compression du ressort a été réglée), l'effort du ressort devient prépondérant. La partie mobile de la vanne descend créant ainsi une section de passage plus importante et laissant passer un débit plus important tout en réduisant la perte de charge occasionnée par la vanne, ce qui rétablit la pression aval.

Inversement lorsque la pression aval augmente par rapport à la pression de tarage, l'effort généré par cette dernière aura tendance à prendre le dessus sur l'effort du ressort, ce qui fait remonter l'ensemble mobile de la vanne réduisant ainsi le débit et rétablissant la pression aval.

En ce qui concerne l'effet de la pression amont (flèches blanches) sur le dessus du clapet, il est équilibré sous l'effet de la même pression par la membrane à déroulement. Les effets s'annulent et la partie mobile n'est pas influencée par les variations de la pression amont.

I.4.2 Les vannes à régulation hydraulique

Une vanne à régulation mécanique est composée de deux parties (Figure I-10) :

- La vanne de base.
- Le pilote hydraulique.



Figure I-9 : Composition d'une vanne à régulation hydraulique

I.4.2.1 Fonctionnement du pilote hydraulique (selon le document technique du modèle d'un fabricant)

Le pilote hydraulique est relié à la vanne de base par plusieurs tubulures (type tube de Pitot), la première le relie directement à l'aval de la vanne de base alors que la deuxième se divise en deux le reliant ainsi à l'amont de la vanne de base ainsi qu'à sa chambre de commande ; le tout constitue ce qu'on appelle le circuit pilote (appelé aussi circuit de commande) et dont le pilote hydraulique est la pièce maîtresse.

Le pilote hydraulique a un principe de fonctionnement similaire à celui de la vanne à régulation mécanique. Equipé d'un ressort, réglable selon la pression de consigne qu'on veut atteindre, lorsque l'effort de la pression aval (flèches bleues) augmente et aura tendance à prendre le dessus sur l'effort du ressort (flèche verte), le pilote se ferme. Et inversement lorsque la pression aval diminue le pilote tend à s'ouvrir.

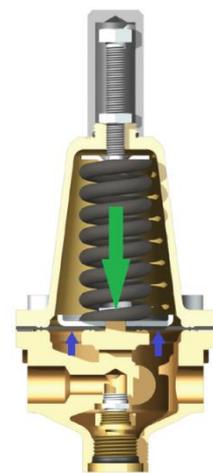


Figure I-10 : Vue en coupe du pilote

I.4.2.2 Fonctionnement de la vanne de base (selon le document technique du modèle d'un fabricant)

La vanne de base est divisée en trois zones distinctes : (A) l'amont, (B) l'aval et (C) la chambre de manœuvre.

L'ensemble mobile de la vanne se déplace grâce à la force motrice de l'eau qui rentre et sort de la chambre de manœuvre ; lorsque les forces appliquées au dessus de l'ensemble mobile [force vers le bas (flèches violettes) + poids de l'ensemble mobile + action du ressort de la chambre] sont supérieures aux forces en dessous de l'ensemble (flèches jaunes et oranges), la vanne aura tendance à se fermer ; et inversement quand les forces appliquées en dessous de l'ensemble sont prépondérantes par rapport à celles du dessus, la vanne tendrait à s'ouvrir.

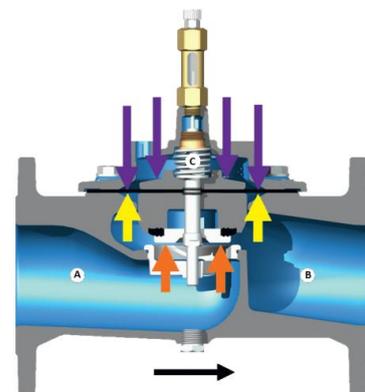


Figure I-11 : Vue en coupe de la vanne de base

I.4.2.3 Fonctionnement global de la vanne (selon le document technique du modèle d'un fabricant)

Avant d'expliquer le fonctionnement global de la vanne à régulation hydraulique, il faut savoir que :

- La tubulure reliant le pilote à la partie amont de la vanne de base est équipée d'un diaphragme (D) avec un orifice de diamètre constant et inférieur à celui de la tubulure.
- La chambre de manœuvre est reliée au circuit pilote au niveau du point (M).
- Le pilote (P) sur la tubulure aval agit comme un orifice de diamètre, et donc de section, variable.

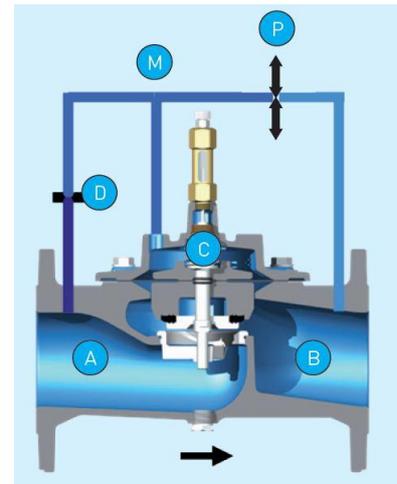


Figure I-12 : Vue en coupe de l'ensemble (Vanne de base + Circuit pilote)

Le taux d'ouverture et de fermeture de la vanne dépend du taux de remplissage de la chambre de manœuvre. Suivant le sens d'écoulement, la chambre de manœuvre se remplit du côté amont, et donc en passant par le diaphragme (D) de section constante, et se vide du côté aval, en passant donc par le pilote (P) qu'on pourrait considérer comme un diaphragme à section variable.

Comme la section du diaphragme d'entrée (D) est fixe, c'est le pilote (P) qui commande l'entrée et la sortie de l'eau dans la chambre de manœuvre et par conséquent l'ouverture et la fermeture de la vanne. Lorsque le pilote (P) s'ouvre, la section de passage de l'eau augmente, dès qu'elle dépasse la section du diaphragme (D), l'eau sort de la chambre de manœuvre et la vanne s'ouvre ; inversement quand le pilote (P) se ferme et que la section de passage de l'eau devienne inférieure à celle du diaphragme (D), l'eau aura tendance à rentrer dans la chambre de manœuvre et la vanne se ferme. C'est ainsi que le pilote commande l'ouverture et la fermeture de la vanne.

Quant à l'ouverture et la fermeture du pilote, elle dépend de la pression aval, quand cette dernière dépasse la pression de consigne, le pilote aura tendance à se fermer et fait fermer la vanne de base de manière proportionnelle jusqu'à régulation de la pression aval. De même lorsque la pression aval diminue, le pilote tend à s'ouvrir et fait ouvrir la vanne de base jusqu'à stabilisation de la pression. La vanne de base reproduit donc les mouvements du pilote hydraulique et ce de manière proportionnelle.

Si jamais la pression amont venait à baisser jusqu'à la pression de consigne, la vanne s'ouvrirait complètement et générerait une perte de charge minimale.

I.4.3 Avantages et inconvénients des deux types de vannes

Les principaux avantages des vannes à régulation mécanique sont leur fonctionnement relativement simple et leur robustesse ; cependant, comparées aux vannes à régulation hydraulique, elles présentent plusieurs inconvénients (Ben Hassen, 2012) :

- Les vannes à régulation hydraulique ont une meilleure précision que les vannes à régulation mécanique.

- Les vannes à régulation mécanique nécessitent plus d'espace pour leur manœuvre.
- La perte de charge à générer pour réguler la pression dépend du taux d'ouverture de la vanne. Pour les vannes à régulation mécanique le taux d'ouverture dépend du débattement du ressort, donc ce type de vannes ont une capacité de réduction de la pression limitée, car à partir d'un certain moment le ressort nécessaire deviendrait beaucoup trop important.
- La fonction des vannes à régulation mécanique n'est pas évolutive dans le temps, si jamais il est nécessaire de passer à une autre configuration il faudrait un remplacement total de la vanne ; à l'inverse des vannes à régulation hydraulique ou il ne faudrait changer que le pilote.
- Les vannes à régulation hydraulique présentent l'avantage de pouvoir être équipées de modules électroniques dans l'optique d'une modulation de pression.

Actuellement on a tendance à délaissier les vannes à régulation mécanique au profit de vannes à régulation hydraulique qui sont plus flexibles et présentent plus d'avantages.

I.4.4 Autres types de vanne de régulation

D'autres types de vannes de régulation existent sur le marché, qui se démarquent soit :

- Par leur forme à l'image des vannes de base en forme de Y (Figure I-14) dont le principe de fonctionnement est le même que celui d'une vanne de base qu'on pourrait qualifier de simple.
- Ou par leur principe de fonctionnement à l'image des vannes annulaires (Plunger valve en anglais) (Figure I-15) dont le sens d'ouverture et de fermeture est parallèle au sens d'écoulement, à l'inverse des types de vannes précédemment citées où il était perpendiculaire au sens d'écoulement, ces types de vannes ont l'avantage d'avoir une bonne résistance à la cavitation et de bonne performance de régulation, cependant elles sont très coûteuses à l'achat et à l'entretien (Meyer et al., 2009).



Figure I-13 : Vanne à régulation hydraulique en forme de Y

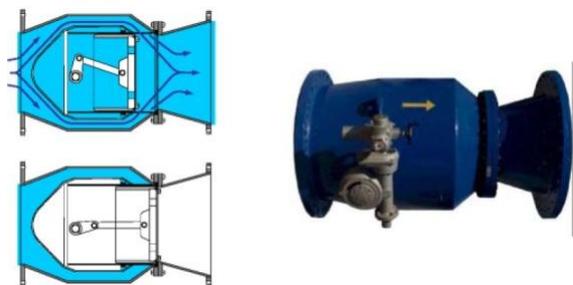


Figure I-14 : Vanne annulaire (Plunger valve)

I.5 Champs d'application de la régulation des pressions

En général, la régulation des pressions est en priorité appliquée sur les réseaux sujets aux pressions excessives ainsi qu'aux variations de pression. Cependant vu le principe de dimensionnement des réseaux de distribution d'eau potable communément

employé lors des études de dimensionnement, et qui veut que le dimensionnement doit être fait par rapport au point le plus défavorable où il faut garantir une certaine pression de confort même durant l'heure de pointe, ceci fait que durant le reste du temps le réseau est soumis à des pressions plus importantes, et donc à l'échelle d'une journée le réseau fait l'objet de variation de pression ; aussi dans certains cas le fait de dimensionner le réseau par rapport au point défavorable soumet le reste du réseau à des pressions excessives.

De là on peut conclure que tout réseau peut et doit faire l'objet d'une régulation des pressions afin d'homogénéiser ces dernières sur le réseau. Aussi il faudrait noter que lors d'un projet de régulation on n'a pas recours qu'à l'usage des vannes de régulation, opérer certaines modifications sur le réseau (remplacement de tronçon, ajout d'extension, création de nouvelles mailles, ... etc.) est quelque chose d'assez fréquente, surtout lorsqu'il s'agit de réguler les faibles pressions.

Conclusion

Les réseaux de distribution d'eau potable étant pour la majorité sujets aux fuites, aux variations de pression et voir même aux pressions excessives dans certains cas, et vu qu'il existe une relation évidente entre la pression et le débit de fuite dans un réseau, l'application de la régulation de pression sur les réseaux de distribution d'eau potable peut s'avérer être très bénéfique en termes de réduction des pertes d'eau dues aux fuites et des fréquences d'apparition de ces dernières.

Quant au choix du concept de régulation à appliquer et des équipements à employer, il faudrait prendre en compte non seulement la configuration du réseau en question mais aussi les capacités financières ainsi que les compétences techniques de l'exploitant du réseau pour l'exploitation et la maintenance de telles installations.

Enfin, tout les réseaux peuvent faire l'objet de régulation des pressions afin d'y homogénéiser ces dernières.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Avant de commencer tout projet, une certaine connaissance de la zone d'étude est nécessaire ; dans ce présent chapitre on va donner un aperçu sur la situation géographique, le relief et la démographie de la commune de Bou Ismaïl ainsi que les différentes catégories de consommateurs et les ressources en eau l'alimentant.

Aussi, de part la nature de notre projet, une bonne connaissance du réseau de distribution d'eau potable de la commune est primordiale, la qualité des résultats de l'étude en dépend ; de ce fait, on va faire une description de l'état actuel de tout le système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl et donner un aperçu des ouvrages de stockage et des performances du réseau.

II.1 Situation géographique

La commune de Bou Ismaïl est une des 28 communes de la wilaya de TIPAZA, elle se situe à environ 25 Km à l'Est de la commune de Tipaza, chef lieu de la wilaya, et à environ 40 Km à l'Ouest de la capital Alger et s'étends sur une superficie d'environ 14Km².

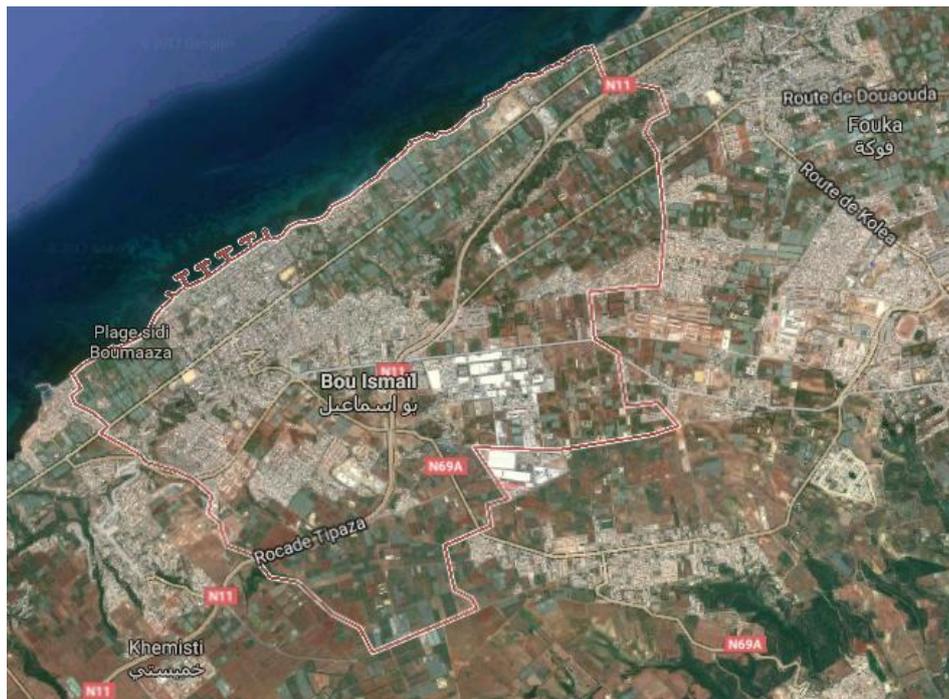


Figure II-1 : Image satellitaire de la commune de Bou Ismaïl

La commune de Bou Ismaïl est comprise d'Ouest en Est entre les méridiens 2,67° et 2,74° et du Nord au Sud entre les parallèles 36,67° et 36,61° et est entourée au Nord par la mer méditerranée, à l'Ouest par la commune de Fouka, au Sud par la commune de Chaïba et à l'Est par la commune de Khemisti.

II.2 Relief de la commune

La ville historique de Bou Ismaïl a été construite sur le front de mer, au fil du temps, le développement socio-économique et l'évolution démographique que connaît la commune Bou Ismaïl l'a mené à s'expander principalement au Sud, sur les hauteurs ; actuellement la commune de Bou Ismaïl va de la cote 0 mNGA, le front de mer, jusqu'à la cote 195 mNGA, on est donc en présence d'un terrain accidenté.

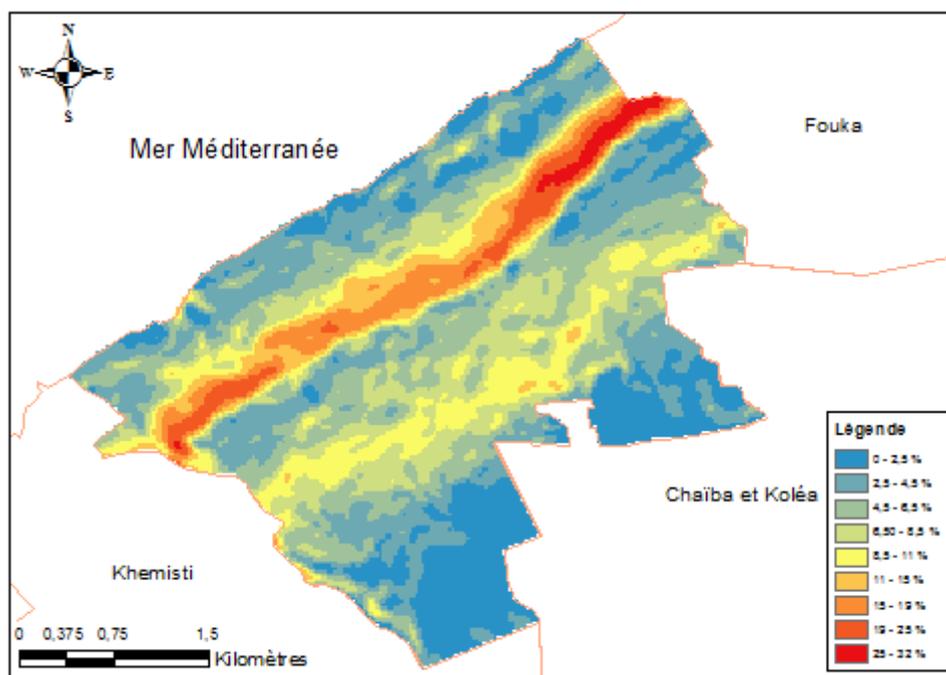


Figure II-2 : Carte des pentes de la commune de Bou Ismaïl

Les courbes de niveau sont plus ou moins parallèles et s'accroissent dans le sens Nord-Ouest Sud-Est ; quant à la répartition des pentes, elle n'est pas uniforme, et on peut distinguer trois zones :

- La première zone, côtière donnant sur le front de mer, comprise entre la cote 0 mNGA et les cotes 25 à 30 mNGA, se caractérise principalement par des pentes allant de la plage de 0 - 2,5 % jusqu'à la plage 4,5 - 6,5 % avec certaines parcelles relativement accidentées dont les pentes sont dans la plage de pentes 6,5 % jusqu'à 11 %.
- La deuxième zone, adjacente à la première, qui s'étend entre les cotes 25 à 30 mNGA jusqu'aux cotes 100 à 105 mNGA, est une zone très raide avec des pentes allant de la plage 8,5 - 11 % jusqu'à la plage 25 - 32 %, particulièrement au Nord-Est.
- La troisième zone, qui se trouve sur les hauteurs de la commune, est comprise entre les cotes 100 à 105 mNGA jusqu'à la cote 195 mNGA, et se caractérise par une large plage de pentes (de 0 jusqu'à 15 %) ; la partie la plus élevée, au Sud de cette zone (cote 180 jusqu'à 195 mNGA), a des pentes relativement faibles (entre 0 et 4,5 %), tout comme une petite partie au Nord-Est et à l'Ouest de la zone (cote 105 jusqu'à 120 mNGA et 95 jusqu'à 110 mNGA respectivement) ; le reste de la zone se caractérise par des pentes moyennes comprises entre 4,5 et 11 % avec quelques parcelles dont les pentes, plus importantes, sont comprises entre 11 et 15 %.

II.3 Démographie

Au dernier recensement effectué en ALGERIE en 2008, la commune de Bou Ismaïl comptait 41.684 habitants, et un taux d'accroissement estimé à 0,8 %.

La population de la commune de Bou Ismaïl n'est pas répartie de manière uniforme sur toute sa superficie, la majorité de la population est concentrée dans le centre ville, appelé aussi ville historique de Bou Ismaïl, qui donne sur la mer méditerranée et s'étale sur le coté Ouest de la commune en parallèle au front de mer et qui ne cesse de se développer vers le Sud et le Sud-Ouest ; le reste de la population est répartie au Sud-Est autour de la zone industrielle ainsi qu'au Nord-Est de la commune à un degrés moindre.

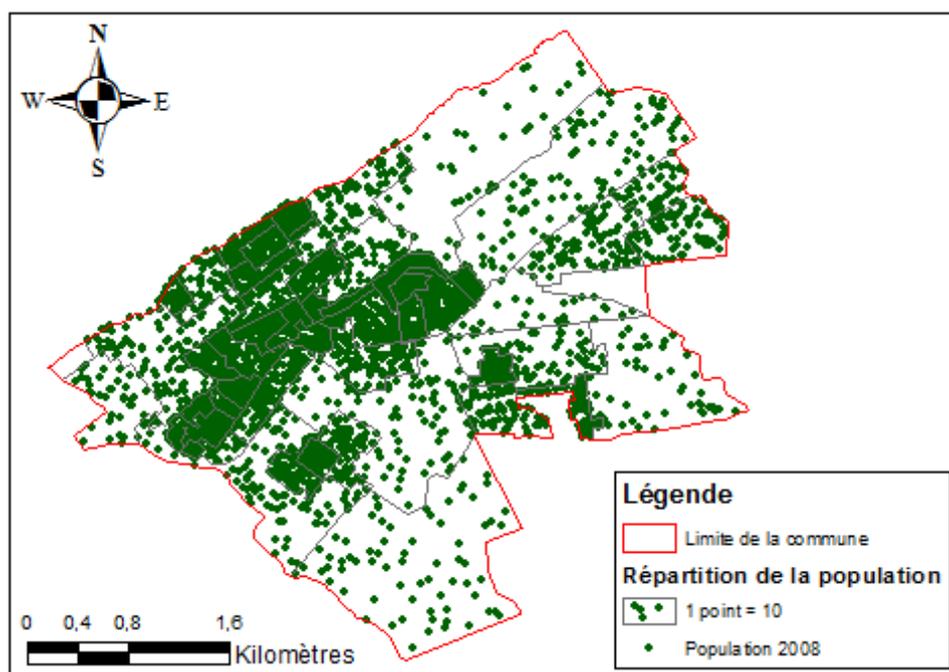


Figure II-3 : Répartition de la population de la commune de Bou Ismaïl

Pour avoir une idée sur la situation démographique actuelle on peut estimer la population actuelle (P_n) sur la base du nombre d'habitants recensés en 2008 (P_0) et le taux d'accroissement (τ) via la loi géométrique :

$$P_n = P_0 \times (1 + \tau)^n \quad (\text{II.1})$$

Avec : n : Nombre d'années séparant l'année référence de l'année de projection (dans notre cas 9 ans).

Vu l'amélioration des conditions de vie, l'augmentation du taux de natalité et la diminution du taux de mortalité ces dernières années, tout cela associé à l'évolution positive de la situation socio-économique de la commune de Bou Ismaïl, le taux d'accroissement estimé au dernier recensement, sur la base de l'évolution démographique entre 1998 et 2008, n'est actuellement plus représentative de la croissance démographique de la commune ; selon les estimations faites lors de la " Réalisation de l'étude d'actualisation du plan nationale de l'eau " dans le cadre du programme MEDA de l'union européenne et dont la version finale du rapport est parue en août 2010, la population de la

commune de Bou Ismaïl à l'horizon 2020 serai d'environ 51.315 habitants, soit un taux d'accroissement entre 2008 et 2020 d'environ 1,9 %.

$$\underline{\text{A.N.}} : P_n = 41.684 \times (1 + 0,019)^9 = 49.378$$

La population actuelle (2017) estimée pour la commune de Bou Ismaïl est d'environ 49.378 habitants.

II.4 Les consommateurs

La SEAAL, l'entreprise chargée de l'exploitation du système d'alimentation en eau potable dans la wilaya de TIPAZA, classe les différents consommateurs de la commune de Bou Ismaïl en quatre catégories : les ménages (C1), les administrations (C2), les commerçants (C3) et les industries (C4) ; en ce qui concerne le tourisme, malgré que la commune de Bou Ismaïl soit côtière et qu'elle dispose d'un front de mer, l'absence totale d'équipements et d'infrastructures touristiques font qu'elle n'est pas considérée comme commune touristique, par conséquent, elle est dispensée de cette catégorie de consommateurs exceptionnels.

- La catégorie des ménages (C1) englobe les consommateurs domestiques, qui sont majoritaires avec 8.409 abonnés sur un total de 8870 abonnés pour une population totale recensée (2008) de 41.684 habitants et une population actuelle estimée à 49.378 habitants.
- La catégorie des administrations (C2) englobe les différentes administrations dont dispose la commune (la poste, l'APC, poste de police, ...etc.), des administrations qu'on pourrait qualifier de classiques ; cette catégorie compte 118 abonnés, quasiment tous situés dans le centre ville.
- La catégorie des commerçants (C3) compte 310 abonnés, qui ont une répartition similaire à celle des ménages.
- La catégorie des industries (C4), qui peut être qualifié comme la catégorie des gros consommateurs, englobe les différentes industries en activité dans la commune qui sont au nombre de 33 abonnés :
 - Le plus important des gros consommateurs est le groupement d'industries composant la zone industrielle qui se situe au Sud de la commune (sur les hauteurs) et dont la consommation journalière moyenne est d'environ 300 à 400 m³/jour.
 - Le deuxième plus important consommateur est l'industriel produisant la céramique qui se situe au Sud-ouest de la commune (là aussi sur les hauteurs) et dont la consommation journalière moyenne est d'environ 200 m³/jour.
 - Le troisième gros consommateur est l'industriel de production pharmaceutique qui se situe un peu plus au Nord (et donc plus bas, par rapport aux autres gros consommateurs précédemment cités) et dont la consommation moyenne journalière est d'environ 150 m³/jour.

II.5 Les ressources

Depuis la réalisation et la mise en service de l'usine de dessalement dans la commune de Fouka (wilaya de TIPAZA), dont la capacité de production est d'environ 120.000 m³/j, et dont environ 75 à 78.000 m³/j sont destinés à la wilaya de TIPAZA ; la commune de Bou Ismaïl, tout comme la majorité des communes du côté Est de la wilaya, est alimenté en grande partie à partir de là.

L'eau produite à la station de dessalement est refoulé, par une station de pompage au niveau de l'usine, via une conduite de diamètre 900 mm jusqu'aux réservoirs situés au lieu dit Mouez, dans la commune de Fouka, ayant une capacité totale de 35.000 m³ ; de là l'eau est distribuée gravitairement aux réservoirs des différentes communes via une conduite 800-700 mm, avant d'alimenter une station de pompage située 11 Km à l'aval qui refoule entre 15 et 18.000 m³/j d'eau vers l'Ouest de la wilaya de TIPAZA.

La commune de Bou Ismaïl était alimentée principalement par le réservoir tampon dit Drimini de 1.000 m³, qui délivrait environ 12.000 m³/j et qui était alimenté par la prise d'eau de Tektouka (commune de Chaïba au Sud de Bou Ismaïl) à hauteur d'environ 4.000 m³/j et par un piquage sur la conduite 800-700 mm SDEM à hauteur d'environ 8.000 m³/j ; du côté Est de Bou Ismaïl l'alimentation de la commune est renforcée par un piquage (environ 2.500 m³/j) sur la conduite 250 mm qui alimente le château d'eau dit Chaïg, elle-même piquée sur la conduite 800-700 mm SDEM (Système de Dessalement d'Eau de Mer).

Cependant le réservoir tampon Drimini 1000 m³ a été détruit, car beaucoup trop vétuste pour être réparé, et va être remplacé par un autre d'une capacité de 15.000 m³, qui est déjà en construction ; en attendant la fin de la réalisation du nouveau réservoir, la commune de Bou Ismaïl est actuellement alimentée à partir d'un autre réservoir aussi appelé Drimini, qui se trouve un peu plus à l'Ouest, d'une capacité de 2.000 m³ et où l'eau de la prise d'eau Tektouka est refoulée. Pour pallier la demande de la commune, le piquage sur la conduite 800-700 mm SDEM, qui alimentait le réservoir tampon Drimini 1000 m³, a été prolongé pour venir renforcer l'adduction qui part du réservoir Drimini 2.000 m³ pour alimenter les différents réservoirs de la commune de Bou Ismaïl avec un débit d'environ 5.000 m³/j. Le piquage sur la conduite 250 mm qui alimente le château d'eau Chaïg à l'Est de la commune est, quant à lui, toujours en service.

II.6 Description du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl

II.6.1 Caractéristiques physiques

Le réseau de distribution d'eau potable de la commune de Bou Ismail, qui alimente les 8870 abonnés, s'étend sur un linéaire total de plus de 76,5 Km pour une plage de diamètre allant du Ø40 jusqu'au Ø400 ; les tronçons qui composent le réseau sont de matériaux différents et à des taux variables selon le matériau, l'acier est majoritaire avec

un taux de 35,54% suivi de l'acier galvanisé avec un taux de 25,27% et du PEHD avec un taux de 24,32%, pour le reste du réseau les matériaux employés sont la fonte ductile et le PVC à des taux similaires de 5,9% et l'amiante-ciment avec le plus faible taux d'emploi 3,07%.

Quant à la partie adduction du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl, elle s'étend sur un linéaire d'environ 8,9 Km, pour une plage de diamètre comprise entre le Ø100 et le Ø600 ; cette partie est composée à plus de 93% de fonte/fonte ductile, les matériaux du reste des tronçons c'est principalement de l'acier et de l'acier galvanisé.

II.6.2 Ouvrages de stockage

La commune de Bou Ismaïl est alimentée principalement par 5 réservoirs (2x50 m³ Sidi Slimane, 1000 m³ Sidi Slimane, 2x1500 m³ route Chaïba, 250 m³ Ben Derdjine, 500 m³ Haouch Saboune) plus un autre réservoir (1000 m³ Chaïg), qui fait normalement partie du système de la commune de Chaïba, et dont une partie du volume est destinée à l'alimentation d'une petite extension à l'Est de la commune de Bou Ismaïl.

Les 5 réservoirs principaux de distribution de la commune de Bou Ismaïl sont actuellement alimentés par un réservoir tampon (2000 m³ Drimini) en attendant la fin de la construction du réservoir 15.000 m³ Drimini, qui vient remplacer un ancien réservoir 1000 m³ Drimini détruit à cause de son état de vétusté, et qui deviendra le principal réservoir alimentant les réservoirs de distribution de la commune de Bou Ismaïl.

Tableau II-1 : Caractéristiques des ouvrages de stockage

Réservoir	Type	Volume	Cote du radier	Etat
2.000 m ³ Drimini	Semi - enterré	2000 m ³	219 mNGA	Bon
2x50 m ³ Sidi Slimane	Château d'eau	100 m ³ (2x50)	190 mNGA	Moyen
1000 m ³ Sidi Slimane	Semi - enterré	1000 m ³	172 mNGA	Bon
2x1500 m ³ route Chaïba	Semi - enterré	3000 m ³ (2x1500)	108 mNGA	Bon
250 m ³ Ben Derdjine	Semi - enterré	250 m ³	168 mNGA	Moyen
500 m ³ Haouch Saboune	Sur sol	500 m ³	190 mNGA	Moyen
1000 m ³ Chaïg	Château d'eau	1000 m ³	221 mNGA	Bon
15.000 m ³ Drimini	Semi - enterré	15.000 m ³	196 mNGA	En construction

(Source : SEAAL)

II.6.3 Fonctionnement du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl

II.6.3.1 Partie adduction

Actuellement, et en attendant la fin de la construction du réservoir 15.000 m³ Drimini qui deviendra le réservoir principal qui alimente les réservoirs de distribution, 4 des 5 réservoirs de distribution sont alimentés directement à partir du réservoir tampon Drimini 2000 m³ via une série de conduites 600-500-400 mm ; afin de satisfaire la demande des consommateurs, le piquage sur la conduite 800-700 mm SDEM, qui alimentait à l'origine l'ancien réservoir 1000 m³ Drimini, a été prolongé pour venir se brancher sur la conduite 600-500-400 mm à presque 1,3 Km à l'aval du réservoir tampon 2000 m³ Drimini. Du côté est un piquage en Ø300 FD sur la conduite d'alimentation du château d'eau Chaïg vient se joindre à la conduite 600-500-400 mm pour renforcer l'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl.

- Le château d'eau 2x50 m³ Sidi Slimane est alimenté grâce à un piquage en Ø160 PVC sur la conduite Ø600 FD.
- Le réservoir 1000 m³ Sidi Slimane est alimenté grâce à un piquage en Ø600 FD sur la conduite Ø600 FD ; de là la conduite principale 600-500-400 mm se rétrécit au diamètre Ø500 FD sur presque 360 m avant de se rétrécir encore au diamètre Ø400 FD.
- Le réservoir 250 m³ Ben Derdjine est alimenté via un piquage en Ø200 FD sur la conduite Ø400 FD.
- Le réservoir 500 m³ Haouch Saboune est alimenté par la conduite Ø400 FD ; le renforcement en Ø300 FD, piqué sur la conduite d'alimentation du château d'eau Chaïg, se joint à la conduite 600-500-400 mm quelques mètres en amont du réservoir Haouch Saboune.
- Quant aux réservoirs 2x1500 m³ route Chaïba, ils sont alimentés à partir du réservoir 1000 m³ Sidi Slimane via une conduite Ø500 FD.
- Le château d'eau 1000 m³ Chaïg, ne faisant pas partie du système d'alimentation en eau potable de la commune de Bou Ismaïl, il est alimenté indépendamment grâce à un piquage en Ø250 F sur la conduite 800-700 mm SDEM.

II.6.3.2 Partie distribution

Pour des raisons pratiques de gestion du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Bou Ismaïl, la SEAAL a divisé le réseau en plusieurs étages, où chaque étage est alimenté par un des réservoirs.

- Le château d'eau 2x50 m³ Sidi Slimane se situe au Sud-ouest de la commune, et est destiné à l'alimentation d'un petit village juste à côté via une conduite principale Ø114 AG.
- Du réservoir 1000 m³ Sidi Slimane, sortent 3 conduites (Ø200 AMC, Ø200 AC, Ø400 FD) dont une hors service :
 - La conduite Ø200 AMC, actuellement hors service, alimentait le réservoir 500 m³ Haouch Saboune ; cette conduite est piquée juste à la sortie du réservoir 1000 m³

Sidi Slimane par une conduite Ø63 PEHD qui alimente une usine de production pharmaceutique.

- La conduite Ø200 AC alimente la partie haute du côté Ouest de la commune, la zone desservie est comprise entre les cotes 160 mNGA et 115 mNGA.
- La conduite Ø400 FD alimente la partie basse du côté Ouest de la commune, la zone desservie est comprise entre les cotes 115 mNGA et 80 mNGA ; soit une dénivelée totale (entre le réservoir et le point desservi le plus bas) d'environ 90 mNGA.

Aussi une conduite Ø500 FD, piquée sur la conduite Ø400 FD juste à la sortie du réservoir 1000 m³ Sidi Slimane, alimente les réservoirs 2x1500 m³ route Chaïba et est piquée, quelques mètres à l'amont de ces derniers, par une conduite Ø400 AC qui alimente quelques quartiers sur la partie haute du centre ville ; cette zone est comprise entre les cotes 102 mNGA et 80 mNGA, soit une dénivelée par rapport au réservoir d'environ 90 m.

- Une usine de production de céramique est alimentée par une conduite Ø200 FD piquée, juste à l'entrée du réservoir 1000 m³ Sidi Slimane, sur la conduite Ø600 FD qui alimente ce dernier.
- Les réservoirs 2x1500 m³ route Chaïba alimentent le centre ville via deux conduites, une Ø400 FD et une Ø300 AC.
 - La conduite Ø400 FD alimente la partie basse du centre ville comprise entre les cotes 45 mNGA et 5 mNGA.
 - La conduite Ø300 AC alimente la partie haute du centre ville comprise entre les cotes 97 mNGA et 40 mNGA.

Les réservoirs 2x1500 m³ route Chaïba couvrent une zone d'une dénivelée totale (entre les réservoirs et le point le plus bas desservi) d'environ 100 m.

- Le réservoir 250 m³ Ben Derdjine alimente, via une conduite Ø160 PVC, les habitations qui se trouvent juste en aval du réservoir (environ de la cote 155 mNGA à la cote 120 mNGA), les quartiers les plus hauts du centre ville (environ de la cote 115 mNGA à la cote 65 mNGA), ainsi que les quartiers se trouvant au Nord Ouest de la commune.
- Le réservoir 500 m³ Haouch Saboune alimente principalement la zone industrielle via une conduite Ø200 AC ainsi que les quartiers adjacents à cette dernière, cet ensemble est compris entre les cotes 185 mNGA et 140 mNGA ; une deuxième conduite Ø200 PEHD démarre de ce réservoir pour alimenter les quartiers à l'Est de la commune qui s'étendent de la cote 160 mNGA jusqu'à la cote 100 mNGA.
- L'alimentation des quartiers à l'Est de la commune est renforcée par un piquage en Ø110 PEHD sur la conduite Ø400 PEHD qui alimente la commune de Fouka à partir du château d'eau 1000 m³ Chaïg.

N.B. : Il est important de préciser qu'à l'heure actuelle la distribution d'eau potable dans la commune de Bou Ismaïl n'est pas en continue (24H/24), selon les quartiers la distribution varie de 1 jour sur 2 à 1 jour sur 4.

II.6.4 Performances du réseau

Dans le cadre de la gestion des réseaux de distribution d'eau potable, les entreprises chargées de cette mission essayent de déterminer des indices de performance qui sont censés décrire l'état des réseaux, parmi ces indices on peut citer : le rendement, indice linéaire de pertes, indice de pertes par branchement, indice de pertes par abonnés, etc.

Généralement les indices les plus communément employés sont : (Irstea, 2014)

- Le rendement de distribution R : c'est le rapport entre le volume annuel consommé comptabilisé (V_{cc}) augmenté des volume annuel vendu (V_v) et volume annuel consommé non comptabilisé (V_{cnc}) et le volume annuel produit (V_{prod}) augmenté du volume annuel acheté (V_a).

$$R = \frac{V_{cc} + V_{cnc} + V_v}{V_{prod} + V_a} \quad (\text{II.2})$$

- L'indice linéaire de pertes ILP : c'est le volume d'eau perdue par kilomètre linéaire (L) de réseau et par jour ($\text{m}^3/\text{Km}/\text{jour}$).

$$ILP = \frac{(V_{prod} + V_a) - (V_{cc} + V_{cnc} + V_v)}{365 \times L} \quad (\text{II.3})$$

Pour le cas particulier du réseau de la commune de Bou Ismaïl la méthode d'estimation de ces indices varie, les besoins en eau potable de la commune sont totalement couverts par la production de la SEAAL, il n'y a donc pas de volume acheté ni de volume vendu, aussi les volumes consommés non comptabilisés (volume d'incendie, volume de maintenance des équipements, .. etc.) sont généralement inconnus, donc on ne tient pas compte de ce volume pour estimer les indices de performance.

Par conséquent les formules (II.2) et (II.3) sont simplifiées et deviennent :

$$R = \frac{V_{cc}}{V_{prod}} \quad (\text{II.4})$$

$$ILP = \frac{V_{prod} - V_{cc}}{365 \times L} \quad (\text{II.5})$$

La SEAAL estime que le rendement de distribution actuel du réseau de Bou Ismaïl se situe entre 50 et 55 % et son indice linéaire de pertes entre 100 et 150 $\text{m}^3/\text{Km}/\text{jour}$; ces faibles performances sont principalement dues aux branchements illicites qui représentent environ 70 % des pertes ainsi qu'au nombre important des fuites et casses. La SEAAL a constatée que les fuites et casses sont aggravées par le fait que la distribution ne soit pas en continue ; en effet une distribution non continue implique que lorsqu'on est en période de coupure d'eau le réseau se vide complètement, et lors des lâcher d'eau, le réseau devient brusquement en charge, ce régime cyclique de mise à l'air et de mise en charge du réseau,

associé à sa vétusté et aux pressions importantes qu'il subit, du fait de la topographie, ne font qu'accroître les fuites et casses. Aussi, la mise à l'air du réseau est un facteur qui favorise la corrosion des conduites.

II.6.5 Prévision pour le futur

La SEAAL travaille actuellement sur le passage à une distribution en continue (24H/24), et prévoit sa mise en place et sa généralisation dans un futur proche. Le réservoir 15.000 m³ Drimini actuellement en construction, a pour objectif de renforcer l'alimentation des communes de Bou Ismaïl et celles avoisinantes.

Conclusion

De cet état de l'art, les principales informations qui ressortent sur notre réseau sont :

- Le fait que la distribution ne soit pas en continu à l'heure actuelle, on peut s'attendre à ce que certaines données ne soient pas exploitables alors que d'autres ne seront même pas disponibles.
- La vétusté du réseau est un fait, et sa dégradation est accélérée par le mode d'exploitation de ce dernier, ce qui cause des pertes considérables.
- Lors du passage à la distribution en continu (24H/24), du fait de la topographie de la commune (terrain accidenté), le réseau sera soumis à des pressions très importantes, au delà des limites de bon fonctionnement d'un réseau. Ceci associé au nombre considérable de fuites dont souffre le réseau, on peut s'attendre à des pertes d'eau énormes.
- Il serait intéressant de faire une simulation sur 24 heures, afin d'avoir une idée sur le comportement du réseau dans ce cas.

Chapitre III : Création du modèle hydraulique et analyse du comportement du réseau

Avant de lancer un projet de régulation de pression sur un réseau donné, il faut estimer les pressions prédominantes dans ce dernier afin de pouvoir déterminer les zones les plus critiques du réseau qui feront l'objet d'une régulation, et par la suite projeter les moyens de régulation.

Dans ce présent chapitre, on va commencer par expliquer le choix du modèle hydraulique comme méthode d'estimation de la pression dans notre réseau ; ensuite le chapitre va se scinder en deux parties, la première partie portera sur la méthode de la création du modèle hydraulique et les hypothèses qui ont dues être émises pour créer ce dernier, la deuxième partie sera consacrée à l'analyse de résultats obtenus lors de la simulation, pour avoir une idée sur le comportement du réseau.

III.1 Choix de la méthode d'estimation des pressions dans notre réseau

Parmi les trois méthodes d'estimation des pressions dans un réseau, présentées dans le premier chapitre, il nous a semblé évident que la méthode la plus appropriée à employer, dans notre projet, est la méthode basée sur le "Modèle hydraulique".

Vu qu'actuellement la distribution d'eau potable dans la commune de l'étude n'est pas encore en continu (24H/24), l'application de la méthode basée sur "Les mesures" n'est pas faisable, faire une campagne de mesures de pressions dans ces conditions ne nous donnerait aucun résultat exploitable ; en ce qui concerne la méthode dite "Topographique", elle présente l'inconvénient de négliger les variations de pressions dans le réseau. D'où le choix de la méthode basée sur le "Modèle hydraulique".

1^{ère} Partie : Hypothèses et création du modèle hydraulique

III.2 Estimation de la consommation moyenne journalière

Actuellement, la distribution d'eau potable n'étant pas en continu dans la commune de Bou Ismaïl, l'utilisation des données sur la consommation de cette commune, lors de la création du modèle hydraulique, n'aurait pas été représentative. On va donc procéder à une estimation de la consommation de la commune lors du passage à la distribution d'eau potable en continu.

La SEAAL a comme objectif, pour les communes alimentées en continu, de garantir un minimum de 200 litres par jour et par habitant ; on va donc prendre cette valeur comme dotation pour l'estimation de la consommation de la commune.

La consommation moyenne journalière (ou débit moyen journalier Q_{moyj} en m^3/j) est définie comme étant la dotation (**Dot** en l/j/hab) multiplié par le nombre d'habitants (N_{hab}), et est régie par la relation suivante :

$$Q_{moyj} = \frac{Dot \times N_{hab}}{1000} \quad (III.1)$$

A.N. : $Q_{moyj} = \frac{200 \times 49.378}{1000} = 9875,6 \text{ m}^3/\text{j}$

En ce qui concerne les gros consommateurs, on va garder les consommations actuelles vu qu'ils ne sont pas affectés par le fait que la distribution ne soit pas en continu à l'heure actuelle.

Tableau III-1 : Consommations des industries

Les consommateurs	Consommations (m ³ /j)
- La zone industrielle	400
- L'usine de céramique	200
- L'usine de production pharmaceutique	150

(Source : SEAAL)

III.3 Régime de consommation

Au cours d'une même journée la consommation varie d'une heure à l'autre, cette variation dépend de plusieurs paramètres (habitudes des habitants, situation géographique, conditions climatologiques, ...etc.). Le profil du régime de consommation nous donne la fraction du volume journalier consommée à chaque heure de la journée, il est caractéristique à chaque agglomération et peut être tiré à partir des données des compagnes de mesures des débits distribués.

Dans notre présent cas d'étude, le fait que la distribution d'eau potable ne soit pas en continu, il est impossible de faire des compagnes de mesures car les données récoltées ne seraient pas représentatives de la consommation lors du passage à la distribution en continu. Or pour faire une modélisation sur 24 heures il est indispensable d'avoir un régime de consommation à affecter aux nœuds de demande ; on va donc procéder par analogie avec une autre commune présentant plus au moins la même configuration que la notre et dont le régime de consommation est connu afin de prendre ce dernier comme base de travail.

La commune sur laquelle va porter l'analogie est la commune de Bologhine (Wilaya d'ALGER), cette dernière dispose d'une distribution d'eau potable en continu et son réseau a déjà fait l'objet d'une étude de régulation de pression dans le cadre d'un projet de fin d'études à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique en 2011 par l'étudiant MAHBOUB Abdellatif.

La commune de Bologhine est une commune côtière qui comptait 43.835 habitants lors du dernier recensement de 2008 (contre 41.684 habitants pour la commune de Bou Ismaïl) et comptera à l'horizon de 2020 environ 53.711 habitants (contre 51.315 habitants pour la commune de Bou Ismaïl) selon les estimations faites lors de la " Réalisation de l'étude d'actualisation du plan nationale de l'eau " dans le cadre du programme MEDA de l'union européenne et dont la version finale du rapport est parue en août 2010 ; on est donc

sur un taux d'accroissement d'environ 1,88 % pour la commune de Bologhine contre un taux d'environ 1,9 % pour Bou Ismaïl. De ces chiffres là on peut supposer que ces deux communes sont assez analogues et ainsi prendre le régime de consommation de la commune de Bologhine comme référence.

Remarque : La commune de Bologhine est une commune à vocation résidentielle et administrative, elle ne dispose d'aucune industrie ; par conséquent on peut considérer que son régime de consommation décrit la consommation de la catégorie des ménages et des administrations et commerces (équipements). Quant aux gros consommateurs, c'est des industries qui travaillent 24H/24 et ont une consommation relativement constante durant toute la journée.

Tableau III-2 : Régimes de consommations

Heures	Ménages/Equipements		Industries	
	C _h (%)	m	C _h (%)	m
0h - 1h	2,56	0,61	4,17	1
1h - 2h	2,36	0,57	4,17	1
2h - 3h	2,28	0,55	4,17	1
3h - 4h	2,27	0,55	4,17	1
4h - 5h	2,32	0,56	4,17	1
5h - 6h	2,57	0,62	4,17	1
6h - 7h	2,71	0,65	4,17	1
7h - 8h	3,30	0,79	4,17	1
8h - 9h	4,41	1,06	4,17	1
9h - 10h	5,74	1,38	4,17	1
10h - 11h	6,84	1,64	4,17	1
11h - 12h	6,89	1,65	4,17	1
12h - 13h	6,79	1,63	4,17	1
13h - 14h	6,05	1,45	4,17	1
14h - 15h	4,93	1,18	4,17	1
15h - 16h	4,45	1,07	4,17	1
16h - 17h	4,55	1,09	4,17	1
17h - 18h	4,51	1,08	4,17	1
18h - 19h	4,58	1,10	4,17	1
19h - 20h	4,70	1,13	4,17	1
20h - 21h	4,51	1,08	4,17	1
21h - 22h	4,13	0,99	4,17	1
22h - 23h	3,58	0,86	4,17	1
23h - 24h	2,97	0,71	4,17	1
Total	100	24	100	24

Avec : C_h : Fraction (en pourcentage) du volume journalier consommée à l'heure 'h'.
 m : Coefficients de débit horaire (par rapport au débit moyen horaire).

N.B. : Les coefficients de débit horaire ‘m’ nous permettent de tracer la courbe de modulation qu’on introduira par la suite dans le modèle.

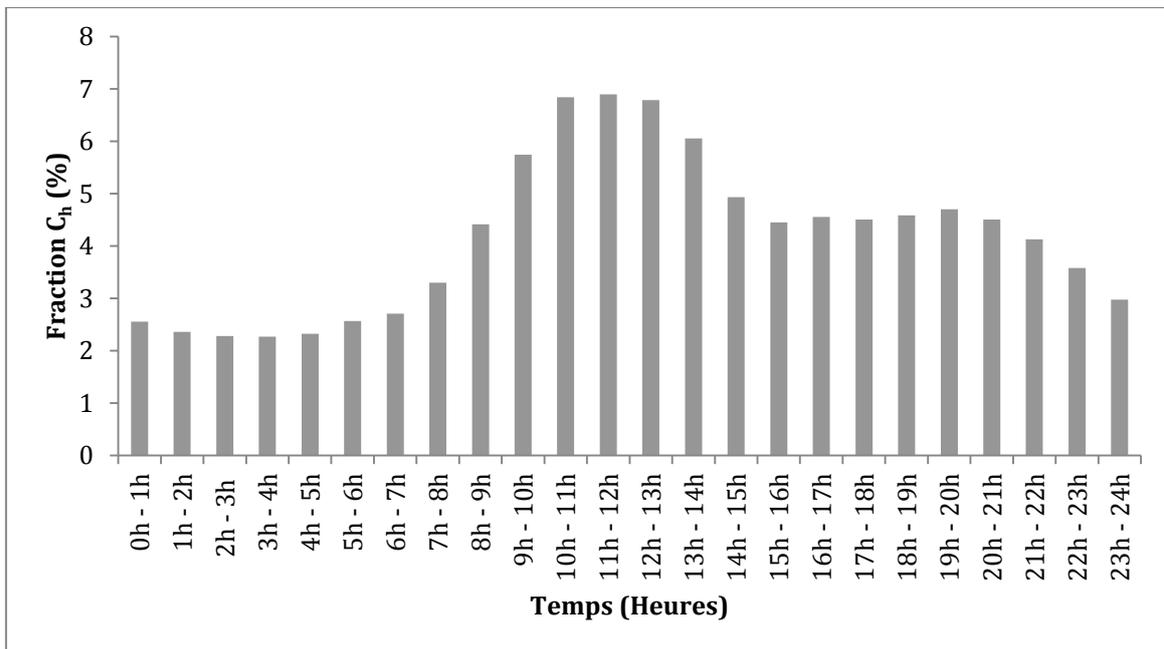


Figure III-1 : Graphique de consommation de l’agglomération (Ménages/Equipements)

III.4 Hypothèses émises pour la création du modèle

Au stade des études de dimensionnement ou dans le cas d’une simulation (comme c’est le cas dans notre présent projet), un réseau de distribution d’eau potable est défini comme un ensemble de conduites, représentées par le tracé projeté, et un ensemble de nœuds, au niveau des jonctions de tuyaux. Pour le cas d’un modèle hydraulique, il est aussi nécessaire d’ajouter une ou plusieurs sources d’alimentation du réseau (réservoir, bêche ou pompe).

Avant de pouvoir lancer une simulation, il est indispensable d’affecter certains paramètres à tout cet ensemble (diamètres et rugosités des conduites, les demandes aux nœuds, les cotes des nœuds, volumes des réservoirs, les courbes de modulation, ... etc.) ; cependant vu que la distribution n’est pas en continu, qu’on est dans l’impossibilité de faire des campagnes de mesures et le manque considérable de données, on a du faire certaines hypothèses afin d’affecter les données nécessaires au modèle.

III.4.1 Les nœuds

Pour les nœuds il faut introduire deux paramètres essentiels : les altitudes et les demandes ; dans le cas d’une simulation sur 24 heures il faut aussi introduire les courbes de modulation.

- **Les demandes :**

Normalement, lors d'une étude de dimensionnement d'un réseau, on suppose que les consommateurs sont répartis de manière uniforme le long du réseau, on a donc un débit de consommation par mètre linéaire de réseau (appelé débit spécifique) constant le long de tout le réseau. La demande à chaque nœud est déterminée par la multiplication du débit spécifique par la somme de la moitié des longueurs des tronçons liés au nœud.

Cependant la densité d'habitants et la répartition spatiale des consommateurs n'étant jamais uniforme, l'application de l'hypothèse précédemment citée, pour la création de notre modèle, nous conduirais, lors de la simulation, à des résultats peu représentatives du comportement de notre réseau, surtout pour un réseau à l'échelle communale qui est relativement important.

Disposant du nombre d'habitants par district (regroupement de quelques quartiers), et donc en quelque sorte de la répartition de la densité d'habitants, on a appliqué le principe de la répartition uniforme à ce niveau, ce qui fait qu'au final, à l'échelle de la commune, on a obtenu une répartition des débits correspondante au nombre d'habitants de chaque district. Aussi, l'hypothèse veut que la répartition uniforme soit le long du réseau, mais vu que le réseau est important et complexe et que la majorité des tronçons traversent deux voir trois districts, l'application de ce principe à l'échelle de chaque district et l'affectation des demandes par la méthode de la somme de la moitié des longueurs des tronçons liés à un nœud donné aurait été très fastidieuse ; on a donc préféré faire une répartition uniforme sur le nombre de nœuds de chaque districts.

- **Les altitudes :**

L'altitude des nœuds est une donnée essentielle, afin de permettre au logiciel de simulation de déterminer les pressions au niveau de ces derniers. Cette donnée n'étant pas disponible, on a du créer un modèle numérique de terrain (MNT) sur la base des courbes de niveau de la commune ; et de là on a fait une projection des nœuds sur le MNT afin de tirer les cotes des nœuds par la méthode du point le plus proche (on affecte à chaque nœud la cote de terrain du point du MNT le plus proche).

- **Les courbes de modulation :**

Une courbe de modulation est définie, par le Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0 (2003), comme étant : « ... *un ensemble de multiplicateurs qui peuvent être appliqués à une valeur de base pour lui permettre d'évoluer au cours du temps.* ».

Donc, dans l'optique d'une simulation sur 24 heures dans notre projet, il est absolument nécessaire d'assigner aux demandes des nœuds (valeurs de base) les courbes de modulation qui décrivent les régimes de consommation précédemment détaillés. Il faut affecter à chaque nœud, selon la catégorie de consommateur qu'il dessert (Ménages/Équipement ou Industries) la courbe de modulation qui lui correspond.

III.4.2 Les conduites/tuyaux

Les données de base à introduire pour les tuyaux sont leurs caractéristiques physiques, à savoir : longueurs, diamètres et rugosités.

- **Les longueurs :**

Dans notre cas ces données étaient disponibles. Si dans un autre cas d'étude ces données venaient à manquer, il est assez facile de les tirer à partir du tracé du réseau que ce soit sous logiciels SIG (Système d'Information Géographique) ou logiciels de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur), à condition que le réseau soit tracé à l'échelle.

- **Les diamètres :**

Pour les diamètres aussi, les données étaient disponibles.

- **Les rugosités :**

La rugosité d'une conduite dépend principalement du matériau et de son état de dégradation, l'âge de la conduite est l'un des principaux facteurs influençant cette dernière en plus de la qualité de l'eau qu'elle véhicule. En ce qui concerne les matériaux des conduites, c'est des informations qui étaient disponibles dans notre cas à l'inverse de la date de pose des conduites, ce qui nous aurait permis de déterminer l'âge des conduites et ainsi avoir une meilleure estimation des rugosités.

Face à l'indisponibilité de l'âge de la conduite, on a déterminé les valeurs des rugosités en fonction des matériaux des conduites selon ce qui se trouve sur la littérature (Tableau III-3) ; ces valeurs ont été majorées, de manière forfaitaire, afin de considérer le vieillissement des conduites.

Tableau III-3 : Rugosité équivalente ϵ [m] selon la littérature

Matériaux	Rugosité équivalente [m]	Matériaux	Rugosité équivalente [m]
Verre	10^{-7}	Fonte moulée neuve	$2,5 \cdot 10^{-4}$
PE ou PVC	10^{-5} à 10^{-6}	Fonte moulée rouillée	$1,0 \cdot 10^{-3}$ à $3,0 \cdot 10^{-3}$
Cuivre ou laiton	10^{-6}	Fonte revêtue intérieurement PUR	$< 10^{-5}$
Acier laminé neuf	10^{-4} à $5 \cdot 10^{-5}$	Fonte bitumée intérieurement	10^{-4} à $1,5 \cdot 10^{-4}$
Acier laminé rouillé	$1,5 \cdot 10^{-4}$ à $2,5 \cdot 10^{-4}$	Ciment ou béton lisse	$3 \cdot 10^{-4}$ – $8 \cdot 10^{-4}$
Acier laminé incrusté	$1,5 \cdot 10^{-3}$ à $3,0 \cdot 10^{-3}$	Ciment ou béton brut	$< 3 \cdot 10^{-3}$
Acier soudé neuf	$3 \cdot 10^{-5}$ à 10^{-4}	Planches non rabotées	$1 \cdot 10^{-3}$ à $2,5 \cdot 10^{-3}$
Acier soudé rouillé	$4 \cdot 10^{-4}$	Pierre de taille brute	$8 \cdot 10^{-3}$ à $15 \cdot 10^{-3}$
Acier rivé	$9 \cdot 10^{-4}$ à $9 \cdot 10^{-3}$	Galerie	$9 \cdot 10^{-2}$ à $60 \cdot 10^{-2}$
Fer galvanisé	$1,5 \cdot 10^{-4}$ à $2 \cdot 10^{-4}$		

(Soutter et al., 2007)

Tableau III-4 : Rugosité équivalente ϵ [mm] appliquées

Matériaux	Rugosité équivalente selon la littérature [mm]	Rugosité équivalente appliquée [mm]
AC	0,05 à 3	0,1
AG	0,15 à 0,2	0,155
AMC	0,3 à 3	0,5
FD	0,1 à 3	0,3
PE ou PVC	0,001 à 0,01	0,002

III.4.3 Sources d'alimentation du réseau

On entend par sources d'alimentation d'un réseau les réservoirs ; il est tout à fait possible de représenter les réservoirs dans un modèle hydraulique et d'introduire leurs caractéristiques (volume, cote du radier, forme, courbe de marnage, ... etc.). Cependant, face à l'absence de données (ni courbes de marnage ni des données sur les régimes d'apport et de départ dans les réservoirs) et vu qu'on ne va s'intéresser qu'aux pressions dans notre projet, afin d'éviter tout problème de vidange des réservoirs lors de la simulation (ce qui impliquerai une déconnexion du réseau), on a préféré les remplacer par les bâches dans le modèle.

Les bâches sont, comme définies dans le Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0 (2003) : « ... *une source externe de capacité infinie.* », ce qui nous permettra d'éviter le potentiel problème de vidange et de déconnexion du réseau quelque soit l débit de consommation appelé. Cette caractéristique nous a permis aussi d'éliminer du modèle le système d'adduction auquel on ne s'intéresse pas dans la présente étude.

La donnée principale à assigner aux bâches, c'est la charge hydraulique, qui est considéré comme constante, comme expliqué dans le Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0 (2003) : « *Puisqu'une bache est un élément de frontière d'un réseau, la qualité et la charge hydraulique de l'eau ne peuvent pas être affectées par ce qui ce produit dans le réseau.* », à l'inverse du niveau d'eau dans un réservoir qui est variable selon le débit de consommation appelé par le réseau. Afin de travailler par rapport au cas défavorable, on a pris les cotes de radier des réservoirs comme valeurs à affecter aux charges hydrauliques des bâches.

III.4.4 Les vannes

Les logiciels de simulation hydraulique considèrent les objets vannes comme des vannes de régulation de pression ou de débit et non des vannes de sectionnement. Cependant il est possible de simuler une vanne de sectionnement fermée en changeant l'état de la conduite, sur laquelle est sensé se trouver la vanne fermé, de "Ouvvert" à "Fermé".

Ayant plusieurs vannes fermées sur notre réseau, nous allons donc procéder de cette manière lors de la création du modèle.

III.5 Création du modèle

Il existe plusieurs méthodes de création d'un modèle hydraulique selon le format (numérique ou non) des données disponibles.

La première manière de procéder, et la plus triviale, serait la saisie du réseau et des données relatives à ce dernier directement sur le logiciel de simulation. Cette méthode peut être intéressante dans le cas des études de dimensionnement ou pour des petits réseaux, mais pour des réseaux un peu plus important où plusieurs matériaux et diamètres sont employés, cette méthode deviendrait inappropriée et très fastidieuse, ce qui implique un risque d'erreurs lors de la saisie.

La deuxième méthode serait la création du modèle à partir d'un tracé du réseau sous un logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur), cette manière de procéder permettrait d'éviter la saisie du réseau ainsi que les longueurs des conduites qui sont généralement calculées par les logiciels de DAO (à condition, bien sûr, que le réseau ait été tracé à l'échelle). Cependant il resterait à introduire tout le reste des données nécessaires au fonctionnement d'un modèle, ce qui peut être un travail assez laborieux.

La troisième méthode, celle employée dans notre présent projet, est la création du modèle à partir du tracé du réseau sous logiciel SIG. La capacité des logiciels SIG à affecter à chaque objet (ligne, point, polygone) plusieurs informations (dans ce qu'on appelle les champs), permet dans le cas des réseaux d'introduire les caractéristiques de ces derniers. La généralisation de l'usage des SIG fait qu'en générale les caractéristiques des réseaux (longueurs, diamètres, matériaux des conduites ; identifiants des conduites et des nœuds ; ... etc.) sont pour la majorité disponibles, et même lorsqu'il est nécessaire d'introduire des données manquantes, il est plus simple de le faire sous logiciels SIG que sous logiciels de simulation car ils permettent de faire des sélections par attributs, si on prend l'exemple de la rugosité : il suffit d'aller au champs réservé au matériau dans la couche des conduites et de faire une sélection selon le type de matériau (AC, AG, AMC, ... etc.) avant d'introduire la rugosité correspondante dans le champs qui lui est réservée.

Cependant pour que le passage du logiciel SIG au Logiciel de simulation se fasse sans encombre, certaines conditions doivent être respectées, par rapport à la qualité de numérisation du réseau qui doit être parfaite :

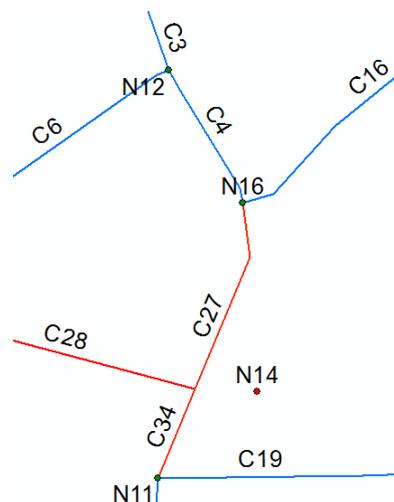
- Les extrémités des lignes/polylignes (conduites) doivent obligatoirement correspondre à des points (nœuds/vannes/bâches/réservoirs/pompes) dans la couche correspondante.
- De même pour les points (nœuds/vannes/bâches/réservoirs/pompes) qui doivent correspondre à une ou plusieurs extrémités de lignes/polylignes dans la couche des conduites (pas de point libre/non connecté).

Exemple :

Sur l'exemple ci-contre, la première condition est vérifiée pour la conduite C4 dont les extrémités correspondent aux nœuds N12 et N16, alors qu'elle ne l'est pas pour les conduites C27, C28 et C34 qui ont leur extrémité commune qui ne correspond à aucun point, chose qu'il faut absolument éviter car sous les logiciels de simulation hydraulique les conduites sont représentées par des arcs compris entre deux nœuds.

Quant à la deuxième condition, elle n'est pas vérifiée pour le nœud N14.

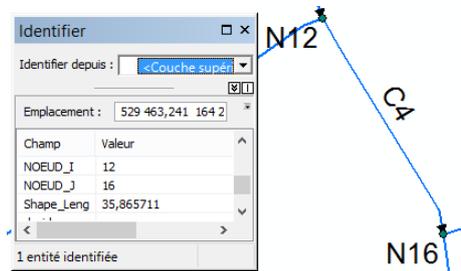
Pour cet exemple, au vu de la position du nœud N14 on pourrait supposer que ce dernier devrait être connecté à l'extrémité des conduites C27, C28 et C34.



- Il faut s'assurer que les identifiants des nœuds de départ et d'arrivée de chaque conduite, introduits dans leurs champs respectifs, correspondent aux identifiants des points (nœuds/vannes/bâches/réservoirs/pompes) coïncidant avec les extrémités respectives des lignes/polylignes (conduites).

Exemple :

Sur l'exemple ci-contre, en supposant que les champs "NŒUD_I" et "NŒUD_J" représentent, respectivement, les nœuds de départ et d'arrivée de la conduite C4, la condition précédente est donc vérifiée.

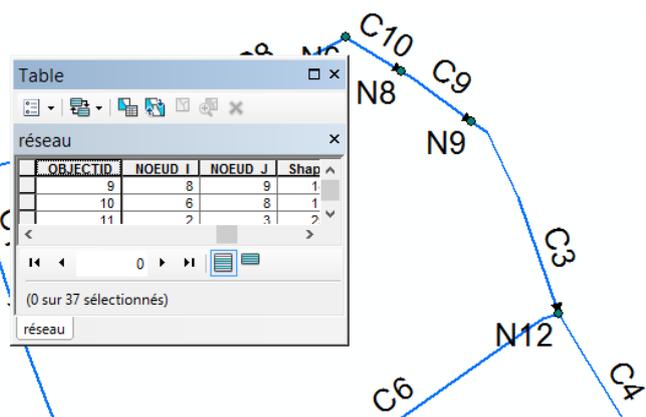


Pour l'exemple précédent, en supposant que le nœud N14 devrait correspondre à l'extrémité commune des conduites C27, C28 et C34, il faut s'assurer de la correspondance de l'identifiant de ce nœud avec l'identifiant introduit dans les champs respectives de chaque conduite.

- Il faut s'assurer de la connectivité de tous les tronçons et tous les points du réseau à un nœud qui représente la source (bâche/réservoir/pompe) ; sinon le logiciel de simulation signalera des erreurs lors de la création du modèle.
- Si on a l'intention de garder les vannes dans le modèle hydraulique, il faut s'assurer que les points qui les représentent correspondent aux extrémités de deux lignes/polylignes (conduites) pas plus (une vanne ne peut pas être connectée à plus de deux conduites) ; aussi il faut veiller à ce que son identifiant corresponde à l'identifiant du nœud d'arrivée d'une conduite et à l'identifiant du nœud de départ de l'autre, cette manœuvre permet d'indiquer le sens d'orientation de la vanne car les logiciels de simulation hydraulique considère les vannes comme des arcs (lignes) et non des nœuds (points) avec un sens unique d'écoulement.

Exemple :

Sur l'exemple ci-contre, si le nœud N8 devait représenter une vanne, la condition précédente serait vérifiée, ce nœud correspond à l'extrémité de deux conduites et est le nœud d'arrivée de la conduite C10 (NŒUD_J) et le nœud de départ de la conduite C9 (NŒUD_I), le sens d'écoulement de la vanne serait donc de la conduite C10 vers la conduite C9.

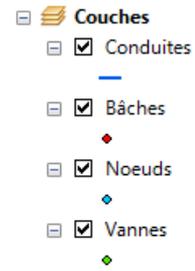


A l'inverse le nœud N12 ne pourrait pas représenter une vanne car il correspond à l'extrémité de trois conduites.

N.B. : On rappelle que les logiciels de simulation hydraulique ne considèrent pas les vannes comme des vannes de sectionnement, mais comme des vannes de régulation ou de simulation.

- Si on est dans le cas de présence de pompe dans le réseau les mêmes conditions que pour les vannes doivent être respectées.

- Bien qu'ils soient de même nature (points), les bâches ou réservoirs doivent être dans une couche différente que celle des nœuds de demande, de même pour les vannes si on décide de les garder dans le modèle hydraulique (exemple ci-contre).



N.B. :

- Il est possible de vérifier si les deux premières conditions sont respectées sous les logiciels SIG grâce aux règles de topologie.
- Il se peut qu'il y ait d'autres conditions qui doivent être vérifiées selon le logiciel de simulation et l'application pour faire le passage du logiciel SIG au logiciel de simulation utilisés ; dans notre cas on a travaillé avec l'extension GHydraulics 2.1.8 sous le logiciel SIG QGIS 2.18 pour faire le passage et logiciel EPANET 2.0 pour la simulation.
- A l'inverse des logiciels de simulation où les vannes sont considérées comme des arcs (lignes), leurs représentation sous logiciels SIG est sous forme de points, et comme elles ne sont pas considérées comme des vannes de sectionnement, on a préféré les laisser comme des points et les considérées comme des nœuds à demande nulle, pour les vannes fermées on a modifié l'état (de "Ouvert" à "Fermé") des conduites sur lesquelles se trouvent les vannes en question.

III.6 Calage du modèle

Le calage du modèle hydraulique est une partie relativement importante. L'objectif du calage est de faire en sorte que le modèle hydraulique soit aussi représentatif que possible du comportement réel du réseau en jouant sur ses paramètres.

Afin de pouvoir faire un calage du modèle il est nécessaire d'avoir des mesures de pressions et de débits (c'est les deux variables sur lesquelles portera le calage du modèle), ces données sont comparées aux résultats obtenus lors de la simulation.

Il faudra ensuite jouer sur les paramètres caractérisant notre réseau jusqu'à ce que les résultats de la simulation correspondent aux données des compagnes de mesures :

- Pour les débits il faudrait ajuster les demandes aux nœuds jusqu'à correspondance avec les mesures.
- Pour les pressions il faudrait ajuster les rugosités des conduites jusqu'à ce que les pressions simulées coïncident avec celles mesurées.

De là on peut conclure que la qualité du calage du modèle, et donc sa représentativité du réseau, dépend directement de la qualité des compagnes de mesures, par conséquent :

- Le choix des points de mesures doit être fait soigneusement, ils doivent être représentatifs.

- Plus le nombre de points de mesures est important mieux ce sera pour la représentativité des mesures.
- Des mesures aux points critiques du réseau doivent être envisagées.
- La période et la durée des campagnes de mesures aussi influent sur la qualité des données récoltées, il faut privilégier des campagnes qui s'étalent sur plusieurs jours voir plusieurs semaines.
- Si on dispose d'un nombre considérable de données de mesures, on peut envisager de garder une partie pour la validation du calage.

En ce qui concerne notre cas d'étude, le calage n'a pas été fait et ce à cause des conditions actuelles de fonctionnement de notre réseau, à savoir une distribution non continue qui ne permet pas de faire des campagnes de mesures.

2^{ème} Partie : Analyse du comportement du réseau

L'analyse du comportement du réseau passe par l'analyse des résultats obtenus lors de la simulation. Comme expliqué précédemment, dans le 2^{ème} chapitre, le réseau de distribution d'eau potable de la commune de Bou Ismaïl est divisé en plusieurs étages, où chaque étage est alimenté par un réservoir ; on va donc procéder à une analyse globale de la commune puis une analyse plus raffinée étage par étage.

III.7 Analyse des résultats de la simulation

Lors de l'analyse globale de la commune, on va essayer de donner un aperçu sur la répartition des pressions moyennes journalières prédominantes dans notre réseau.

Pour l'analyse étage par étage, elle va suivre plus ou moins la même logique pour tous les étages :

- L'édition de cartes thématiques représentant les pressions moyennes journalières au niveau des nœuds, afin d'avoir un aperçu sur les pressions subies par le réseau au niveau de chaque étage ainsi que leur répartition spatial.
- Détermination de la pression moyenne des zones de fortes et de faibles pressions, aux heures de plus grande et plus faible consommation, à titre de comparatif avec les pressions moyennes des étages.
- La présentation des courbes de variation de la pression moyenne horaire, pour avoir une idée sur la variation de la pression de chaque étage.

N.B. : Pour la détermination des pressions moyennes horaires, il est suggéré de calculer des moyennes pondérées, en utilisant comme coefficient de pondération de la pression au niveau d'un nœud donné le nombre de consommateurs ou d'abonnés affectés à ce dernier. Cependant face à l'absence de ces données dans notre cas on a utilisé les demandes de base des nœuds comme coefficient de pondération.

$$P_h = \frac{\sum D_i x P_{i,h}}{\sum D_i} \quad \text{(III.2)}$$

Avec : P_h : Pression moyenne horaire pondérée à l'heure 'h'.
 D_i : Demande de base du nœud 'i'.
 $P_{i,h}$: Pression au nœud 'i' à l'heure 'h'.

- Détermination des écarts de pressions (ΔP) entre les pressions moyennes horaires (P_h) et les pressions horaires de certains points ($P_{i,h}$), ainsi que leurs écarts-types (σ) et leurs coefficients de variation (c_v).

Avec :

Ecart de pression :

$$\Delta P_{i,h} = P_{i,h} - P_h \quad (\text{III.3})$$

Avec : $DP_{i,h}$: Ecart de pression du nœud 'i' à l'heure 'h'.
 $P_{i,h}$: Pression du nœud 'i' à l'heure 'h'.

Ecart-type : « L'écart-type σ caractérise la dispersion d'une série de valeurs. Plus σ est petit, plus les données sont regroupées autour de la moyenne arithmétique \bar{x} et plus la population est homogène ; cependant avant de conclure il faut faire attention à l'ordre de grandeur des données. » (Veysseyre, 2006).

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{h=0}^n (DP_{i,h} - \overline{DP_i})^2} \quad (\text{III.4})$$

Avec : s_i : Ecart-type des écarts de pression du nœud 'i'.
 $DP_{i,h}$: Ecart de pression du nœud 'i' à l'heure 'h'.
 $\overline{DP_i}$: Moyenne des écarts de pression du nœud 'i'.
n : Nombre d'heure (24).

Coefficient de variation :

« - Il permet d'apprécier la représentativité de la moyenne arithmétique \bar{x} par rapport à l'ensemble des données.

- Il permet d'apprécier l'homogénéité de la distribution, une valeur du coefficient de variation inférieure à 15 % traduit une bonne homogénéité de la distribution. » (Veysseyre, 2006).

$$c_{vi} = (\sigma_i / \overline{DP_i}) \times 100 \quad (\text{III.5})$$

Avec : c_{vi} : Coefficient de variation des écarts de pression du nœud 'i'.

N.B. : L'étude des écarts de pression va se faire sur les nœuds de plus forte et de plus faible pression de chaque zone de l'étage ainsi que sur les nœuds moyens (nœuds dont les pressions sont les plus proches des pressions moyennes horaires de la zone) ; étudier les écarts de pression pour tous les nœuds du réseau serait chose quasiment impossible vu leur nombre important.

III.7.1 Commune

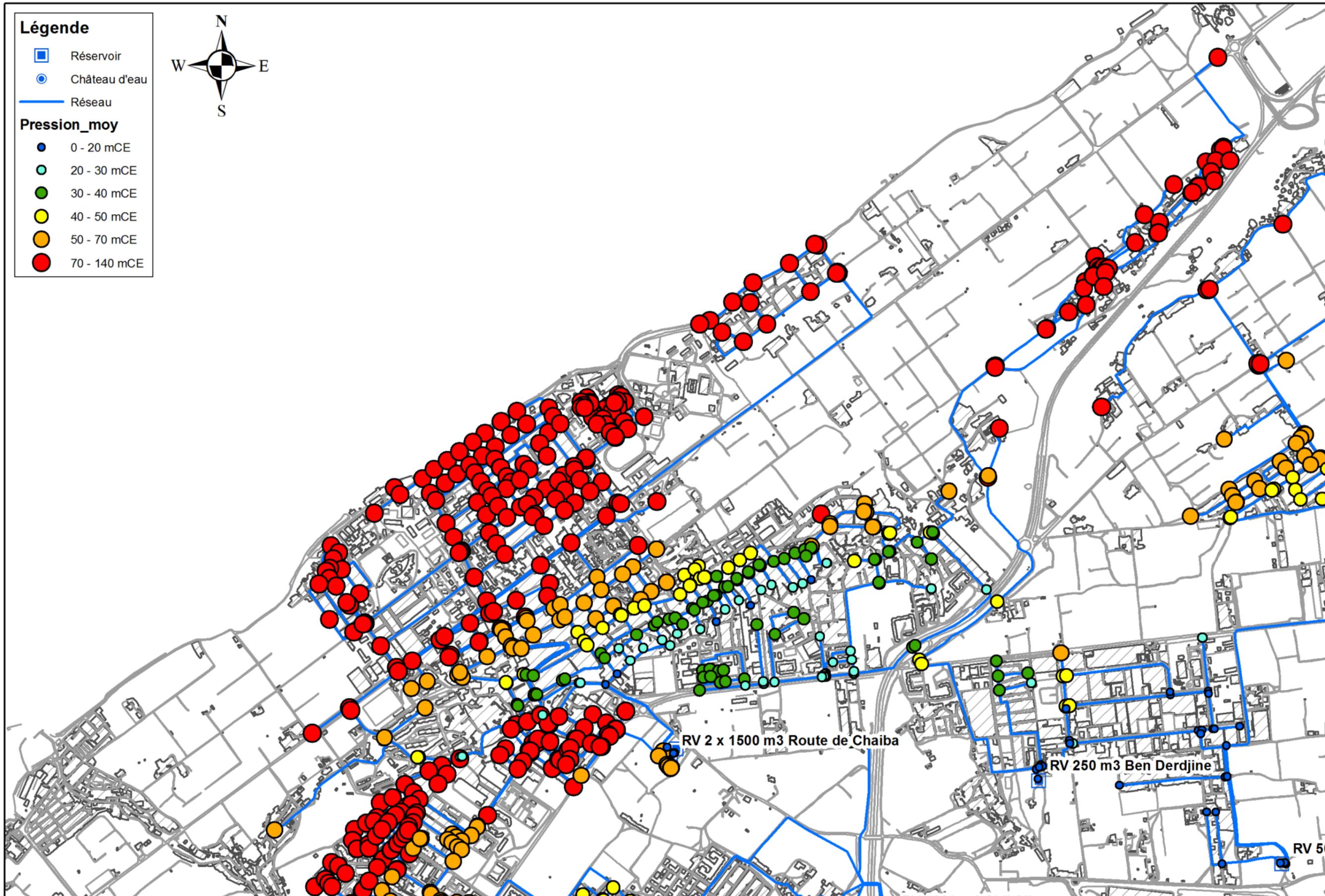


Tableau III-5 : Table des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune

Intervalles de pression (mCE)	Nombre de nœuds	Pourcentage des nœuds pour chaque intervalle (%)	Cumul des pourcentages au dépassement (%)
[0 - 10[	31	4,06	100,00
[10 - 20[	21	2,75	95,94
[20 - 30[	61	7,98	93,19
[30 - 40[	92	12,04	85,21
[40 - 50[	65	8,51	73,17
[50 - 60[	41	5,37	64,66
[60 - 70[	89	11,65	59,29
[70 - 80[	114	14,92	47,64
[80 - 90[	71	9,29	32,72
[90 - 100[	130	17,02	23,43
[100 - 110[	8	1,05	6,41
[110 - 120[	20	2,62	5,37
[120 - 130[	20	2,62	2,75
[130 - 140[	1	0,13	0,13
Total	764	100	\

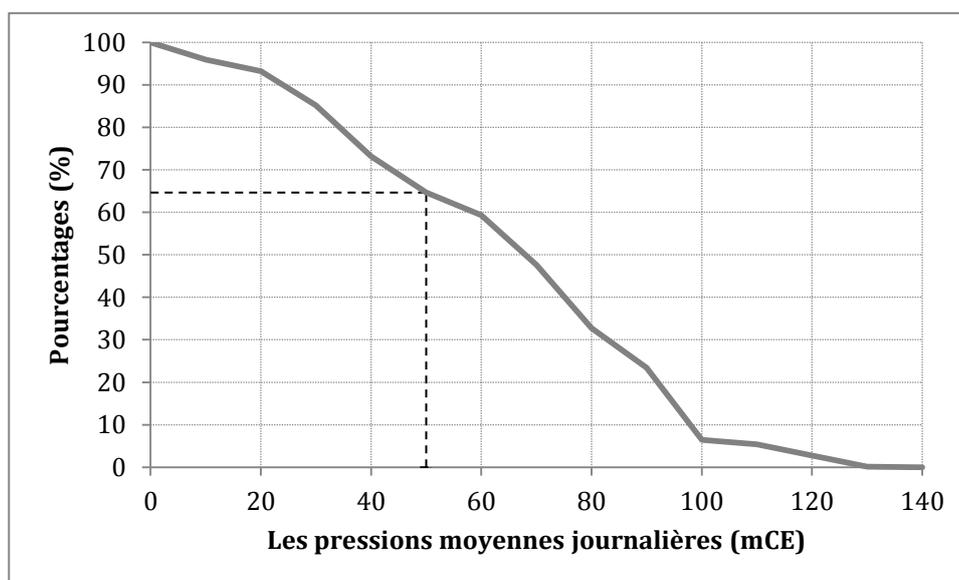


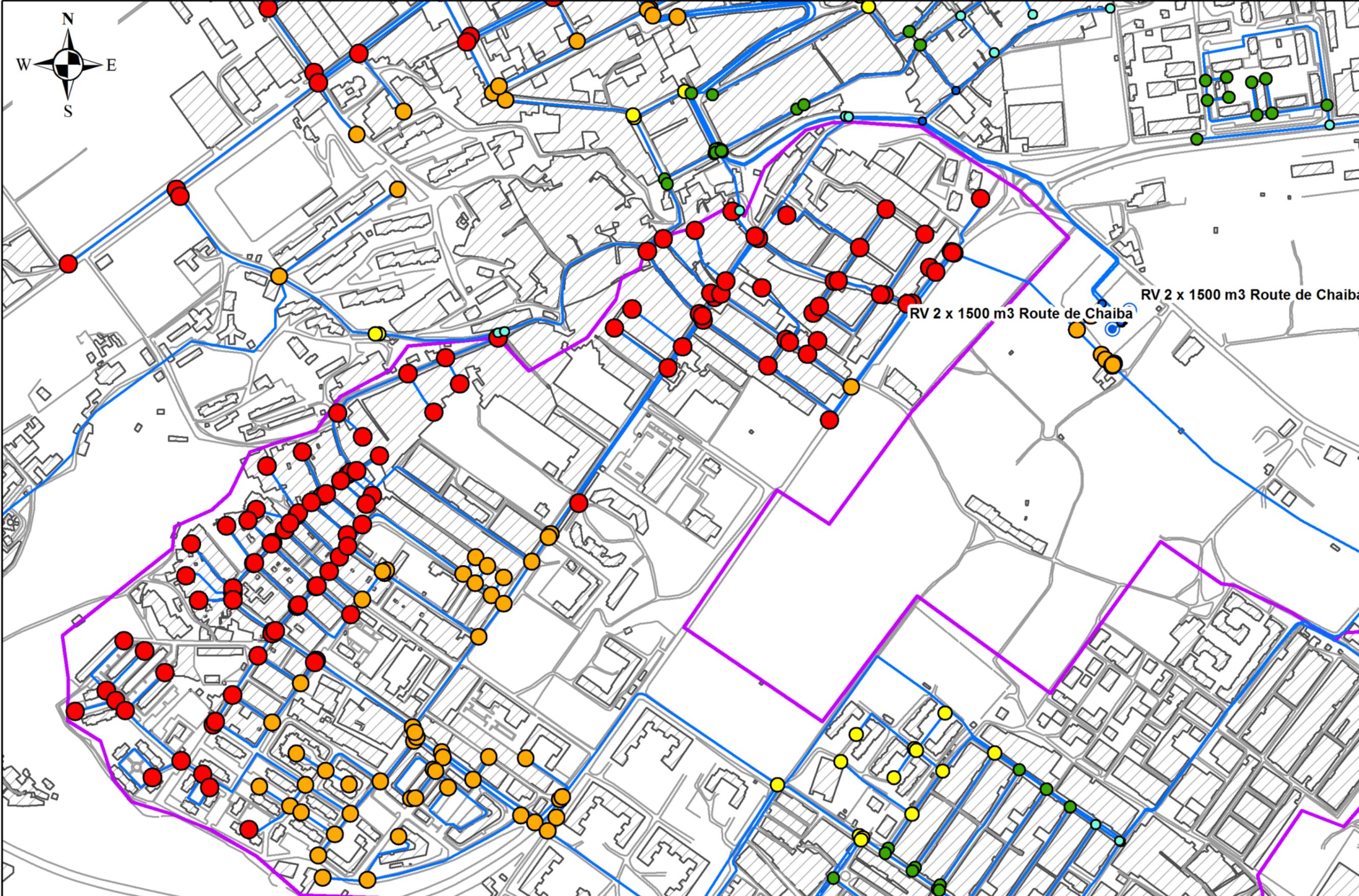
Figure III-3 : Courbe de cumul des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune

Commentaire :

Au vu des résultats obtenus, on constate que notre réseau est en majeure partie soumis à des pressions très élevées, en moyenne journalière, presque 65 % des nœuds du réseau subissent des pressions supérieures à 50 mCE (qui est sensée être la pression limite de bon fonctionnement dans un réseau de distribution d'eau potable).

N.B. : On parle ici de pression moyenne journalière ces chiffres peuvent variés selon la consommation horaire.

III.7.2 Etage Sidi Slimane



Commentaire :

A partir de la « Carte des pressions moyennes journalières – Étage Sidi Slimane », on peut constater que cet étage du réseau est divisé en deux zones distinctes, qu'on peut classer selon les altitudes comme une zone haute et une zone basse. La première, la zone haute, est soumise à des pressions relativement bonnes, allant des pressions assez basses (0 à 20 mCE) au niveau des points les plus hauts de cette partie du réseau, jusqu'à des pressions à la limite des valeurs de bon fonctionnement d'un réseau au niveau des points les plus bas (40 à 50 mCE). La deuxième zone, la zone basse, est quant à elle sujette à des pressions beaucoup trop importante, à savoir des pressions dépassant les 50 mCE pour les points le plus hauts et plus de 70 mCE pour les points les plus bas.

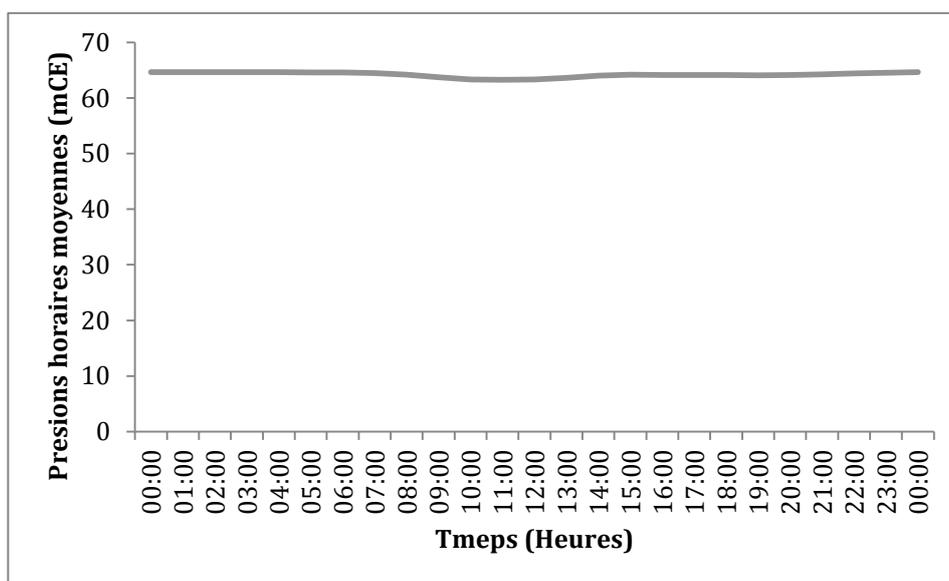


Figure III-5 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Sidi Slimane

Commentaire :

De ce graphe on peut remarquer que la variation de pression dans cet étage du réseau est très faible (de l'ordre de quelques mètres) ceci peut, peut être, être expliqué par le fait que les deux zones de l'étage ne soient pas en enfilade et qu'elles soient alimentées par deux conduites différentes (la Ø400 FD et la Ø200 AC), ce qui aurait eu tendance à réduire l'impact de la variation de la consommation sur les pertes de charge.

Tableau III-6 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Sidi Slimane

	Pression moyenne de l'étage	Pression moyenne de la zone haute	Pression moyenne de la zone basse	Pression du point critique
Heure de plus grande consommation (11:00)	63,28 mCE	32,73 mCE	74,67 mCE	92,06 mCE
Heure de plus faible consommation (03:00)	64,66 mCE	33,80 mCE	76,18 mCE	92,46 mCE

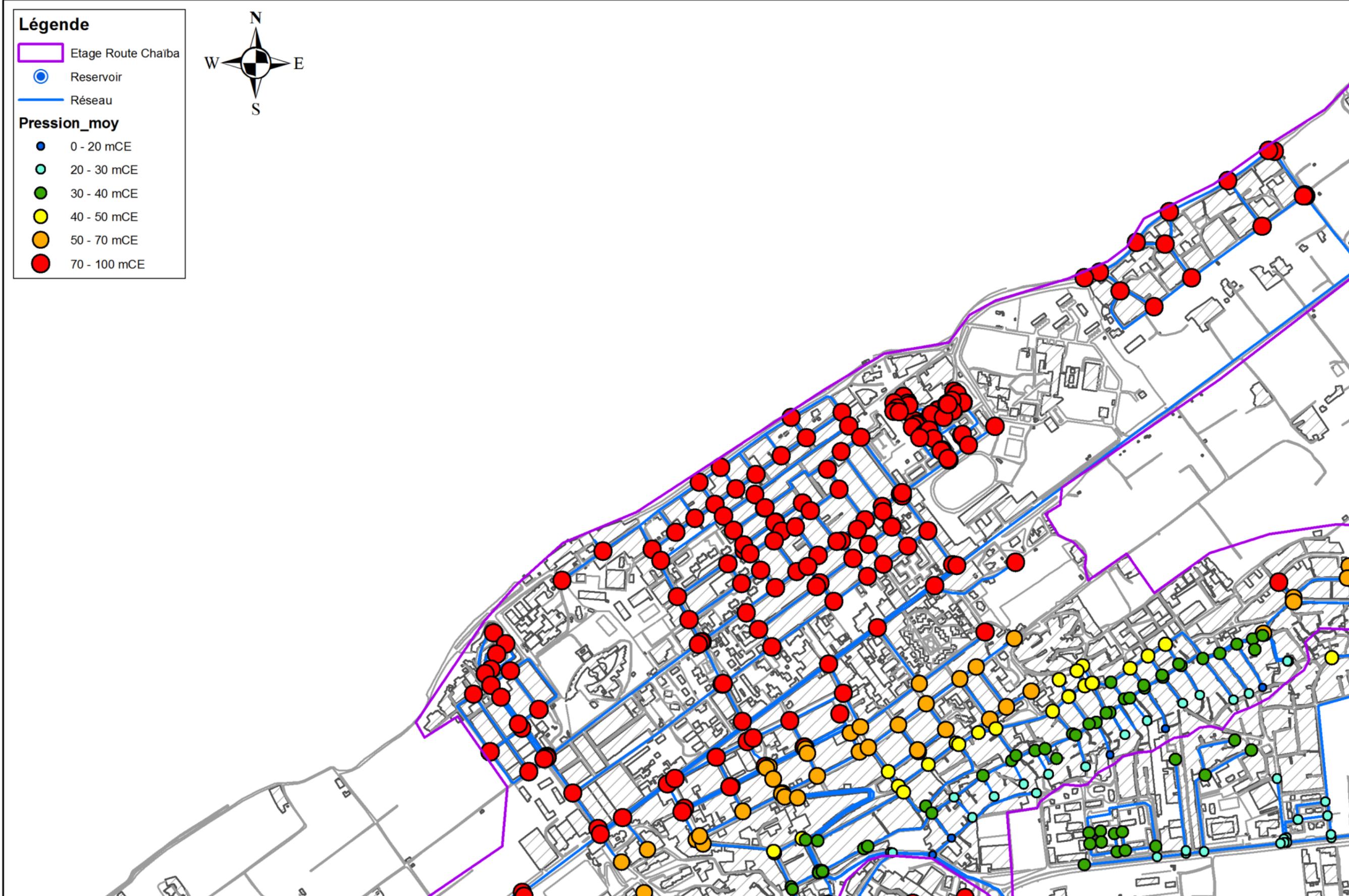
Tableau III-7 : Les écarts de pression – Etage Sidi Slimane

Heures	P_h (mCE)	Partie haute de l'étage (à faibles pressions)						Partie basse de l'étage (à fortes pressions)					
		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen	
		$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)
00:00	64,62	49,58	-15,04	13,17	-51,45	32,27	-32,35	92,44	27,82	57,01	-7,61	72,99	8,37
01:00	64,65	49,6	-15,05	13,19	-51,46	32,29	-32,36	92,45	27,80	57,01	-7,64	73	8,35
02:00	64,66	49,61	-15,05	13,2	-51,46	32,3	-32,36	92,46	27,80	57,01	-7,65	73,01	8,35
03:00	64,66	49,61	-15,05	13,2	-51,46	32,3	-32,36	92,46	27,80	57,01	-7,65	73,01	8,35
04:00	64,65	49,61	-15,04	13,19	-51,46	32,3	-32,35	92,45	27,80	57,01	-7,64	73,01	8,36
05:00	64,61	49,58	-15,03	13,16	-51,45	32,27	-32,34	92,44	27,83	57,01	-7,60	72,98	8,37
06:00	64,59	49,56	-15,03	13,15	-51,44	32,25	-32,34	92,43	27,84	57	-7,59	72,97	8,38
07:00	64,46	49,47	-14,99	13,06	-51,40	32,17	-32,29	92,4	27,94	56,99	-7,47	72,9	8,44
08:00	64,17	49,27	-14,90	12,86	-51,31	31,98	-32,19	92,32	28,15	56,96	-7,21	72,73	8,56
09:00	63,73	48,97	-14,76	12,56	-51,17	31,69	-32,04	92,19	28,46	56,91	-6,82	72,48	8,75
10:00	63,29	48,68	-14,61	12,26	-51,03	31,4	-31,89	92,07	28,78	56,86	-6,43	72,23	8,94
11:00	63,28	48,67	-14,61	12,25	-51,03	31,39	-31,89	92,06	28,78	56,86	-6,42	72,21	8,93
12:00	63,31	48,69	-14,62	12,28	-51,03	31,42	-31,89	92,07	28,76	56,86	-6,45	72,24	8,93
13:00	63,62	48,9	-14,72	12,48	-51,14	31,62	-32,00	92,16	28,54	56,9	-6,72	72,41	8,79
14:00	64,02	49,17	-14,85	12,76	-51,26	31,88	-32,14	92,28	28,26	56,94	-7,08	72,64	8,62
15:00	64,16	49,27	-14,89	12,85	-51,31	31,97	-32,19	92,32	28,16	56,96	-7,20	72,72	8,56
16:00	64,13	49,25	-14,88	12,84	-51,29	31,95	-32,18	92,31	28,18	56,95	-7,18	72,71	8,58
17:00	64,14	49,26	-14,88	12,84	-51,30	31,96	-32,18	92,31	28,17	56,96	-7,18	72,72	8,58
18:00	64,12	49,24	-14,88	12,83	-51,29	31,95	-32,17	92,31	28,19	56,95	-7,17	72,7	8,58
19:00	64,08	49,21	-14,87	12,8	-51,28	31,92	-32,16	92,29	28,21	56,95	-7,13	72,68	8,60
20:00	64,14	49,26	-14,88	12,84	-51,30	31,96	-32,18	92,31	28,17	56,96	-7,18	72,72	8,58
21:00	64,25	49,33	-14,92	12,92	-51,33	32,03	-32,22	92,34	28,09	56,97	-7,28	72,78	8,53
22:00	64,39	49,43	-14,96	13,01	-51,38	32,13	-32,26	92,38	27,99	56,98	-7,41	72,86	8,47
23:00	64,54	49,52	-15,02	13,11	-51,43	32,22	-32,32	92,42	27,88	57	-7,54	72,94	8,40
00:00	64,62	49,58	-15,04	13,17	-51,45	32,27	-32,35	92,44	27,82	57,01	-7,61	72,99	8,37
Moyenne	\	\	-14,90	\	-51,32	\	-32,20	\	28,13	\	-7,23	\	8,55
σ (mCE)	\	\	0,140	\	0,139	\	0,151	\	0,315	\	0,391	\	0,187
c_v (%)	\	\	-0,941	\	-0,271	\	-0,470	\	1,119	\	-5,399	\	2,188

Commentaire :

A partir des valeurs du coefficient de variation obtenues pour les nœuds étudiés (qui sont assez faibles, en valeur absolue toutes inférieures à 6%), on peut dire que les écarts de pression de ces nœuds (pour chaque heure) varient peu par rapport à leurs moyennes respectives et que ces séries ont une distribution homogène ; ce qui veut dire que, pour la même série, les valeurs des écarts de pression sont plus ou moins égales, et par conséquent on en conclut que la variation de la pression moyenne horaire de cet étage est représentative de la variation de la pression au niveau de ces nœuds, et par extrapolation de la variation de la pression de tout l'étage Sidi Slimane.

III.7.3 Etage Route de Chaïba



Commentaire :

En observant la « Carte des pressions moyennes journalières – Etage Route Chaïba », on remarque que la majeure partie de cet étage du réseau est soumise à des pressions importantes, ce qui est due à la forte dénivelé du terrain en cette partie de la commune. Néanmoins certains points, qui se trouvent dans la partie haute de l'étage, ont des pressions relativement bonnes (20 à 50 mCE), à l'exception de quelques points, les plus hauts, où la pression (0 à 20 mCE) peut être considérée comme faible. Le reste de l'étage, qui représente 70 % de ce dernier, est soumis à des pressions bien plus importantes que la norme, à savoir des pressions qui dépassent les 50 mCE, et allant même jusqu'à une pression moyenne, au niveau des points les plus critiques de l'étage, d'environ 100 mCE.

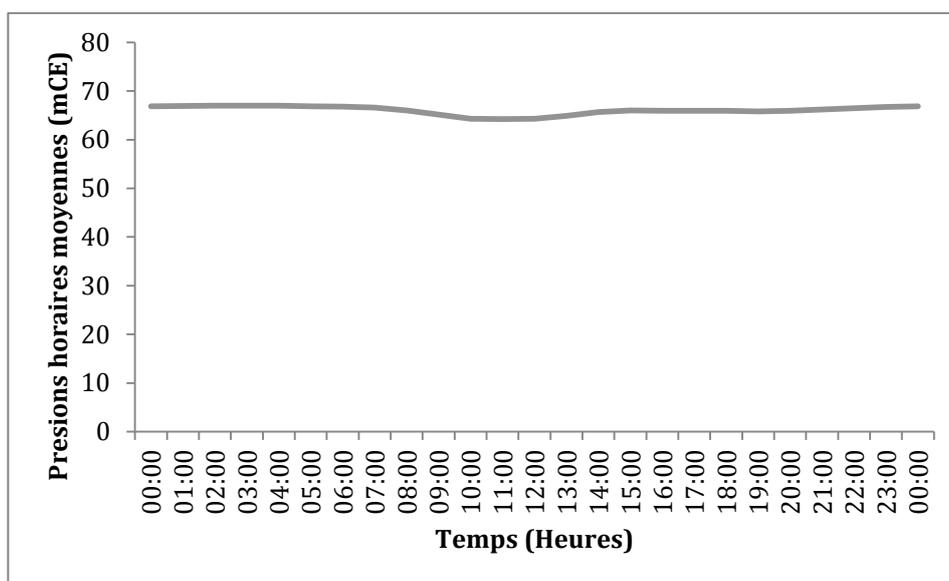


Figure III-7 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Route Chaïba

Commentaire :

Tout comme pour l'étage précédent on peut remarquer à partir du graphe précédent qu'en moyenne la pression varie peu, variation de moins de 10 mCE, pour l'étage Route Chaïba. En se penchant sur les variations de pression de chaque partie de l'étage, la partie haute (à faibles pressions) et la partie basse (à fortes pressions), cette tendance c'est confirmée, là aussi on note une faible variation des pressions au courant de la journée. Ceci est peut être dû aux mêmes raisons que pour l'étage Sidi Slimane, à savoir l'alimentation des deux parties de l'étage par deux conduites différentes (la Ø400 FD et la Ø300 AC).

Tableau III-8 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Route Chaïba

	Pression moyenne de l'étage	Pression moyenne de la zone haute	Pression moyenne de la zone basse	Pression du point critique
Heure de plus grande consommation (11:00)	66,97 mCE	31,61 mCE	80,54 mCE	99,57 mCE
Heure de plus faible consommation (03:00)	64,24 mCE	35,21 mCE	82,84 mCE	101,08 mCE

Tableau III-9 : Les écarts de pression – Etage Route Chaïba

Heures	P_h (mCE)	Partie haute de l'étage (à faibles pressions)						Partie basse de l'étage (à fortes pressions)					
		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen	
		$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)
00:00	66,88	51,83	-15,05	18,16	-48,72	35,01	-31,87	101,03	34,15	52,69	-14,19	87,56	20,68
01:00	66,94	51,98	-14,96	18,22	-48,72	35,05	-31,89	101,06	34,12	52,84	-14,10	87,59	20,65
02:00	66,97	52,05	-14,92	18,25	-48,72	35,07	-31,90	101,08	34,11	52,9	-14,07	87,6	20,63
03:00	66,97	52,05	-14,92	18,25	-48,72	35,07	-31,90	101,08	34,11	52,9	-14,07	87,6	20,63
04:00	66,96	52,01	-14,95	18,23	-48,73	35,06	-31,90	101,07	34,11	52,87	-14,09	87,6	20,64
05:00	66,87	51,8	-15,07	18,14	-48,73	34,99	-31,88	101,02	34,15	52,66	-14,21	87,56	20,69
06:00	66,82	51,68	-15,14	18,09	-48,73	34,96	-31,86	101	34,18	52,54	-14,28	87,54	20,72
07:00	66,58	51,08	-15,50	17,82	-48,76	34,78	-31,80	100,87	34,29	51,94	-14,64	87,43	20,85
08:00	66,01	49,62	-16,39	17,19	-48,82	34,34	-31,67	100,55	34,54	50,5	-15,51	87,16	21,15
09:00	65,13	47,41	-17,72	16,24	-48,89	33,67	-31,46	100,07	34,94	48,31	-16,82	86,76	21,63
10:00	64,27	45,23	-19,04	15,3	-48,97	33,01	-31,26	99,59	35,32	46,15	-18,12	86,36	22,09
11:00	64,24	45,14	-19,10	15,26	-48,98	32,98	-31,26	99,57	35,33	46,06	-18,18	86,34	22,10
12:00	64,31	45,32	-18,99	15,34	-48,97	33,04	-31,27	99,61	35,30	46,24	-18,07	86,38	22,07
13:00	64,92	46,86	-18,06	16	-48,92	33,5	-31,42	99,95	35,03	47,76	-17,16	86,66	21,74
14:00	65,70	48,86	-16,84	16,86	-48,84	34,11	-31,59	100,38	34,68	49,74	-15,96	87,02	21,32
15:00	65,98	49,56	-16,42	17,16	-48,82	34,32	-31,66	100,54	34,56	50,44	-15,54	87,15	21,17
16:00	65,94	49,44	-16,50	17,11	-48,83	34,28	-31,66	100,51	34,57	50,32	-15,62	87,13	21,19
17:00	65,96	49,5	-16,46	17,13	-48,83	34,3	-31,66	100,52	34,56	50,38	-15,58	87,14	21,18
18:00	65,91	49,38	-16,53	17,08	-48,83	34,26	-31,65	100,5	34,59	50,26	-15,65	87,12	21,21
19:00	65,83	49,18	-16,65	17	-48,83	34,21	-31,62	100,45	34,62	50,07	-15,76	87,08	21,25
20:00	65,96	49,5	-16,46	17,13	-48,83	34,3	-31,66	100,52	34,56	50,38	-15,58	87,14	21,18
21:00	66,17	50,04	-16,13	17,37	-48,80	34,46	-31,71	100,64	34,47	50,91	-15,26	87,24	21,07
22:00	66,45	50,74	-15,71	17,67	-48,78	34,67	-31,78	100,79	34,34	51,6	-14,85	87,36	20,91
23:00	66,73	51,43	-15,30	17,98	-48,75	34,89	-31,84	100,94	34,21	52,3	-14,43	87,49	20,76
00:00	66,88	51,83	-15,05	18,16	-48,72	35,01	-31,87	101,03	34,15	52,69	-14,19	87,56	20,68
Moyenne	\	\	-16,31	\	-48,81	\	-31,68	\	34,52	\	-15,44	\	21,13
σ (mCE)	\	\	1,322	\	0,082	\	0,204	\	0,388	\	1,301	\	0,467
c_v (%)	\	\	-8,101	\	-0,167	\	-0,644	\	1,125	\	-8,430	\	2,210

Commentaire :

Les valeurs des coefficients de variation obtenues pour les nœuds étudiés pour cet étage (toutes inférieures à 8,5 %), nous permettent de dire que les écarts de pression de ces nœuds varient peu par rapport à leurs moyennes respectives ; ce qui veut dire que leurs valeurs sont approximativement égales, et on en conclut donc que l'allure des courbes de variation de la pression au niveau des nœuds étudiées est similaire à l'allure de la courbe de variation de la pression moyenne horaire de cet étage, et donc cette dernière est représentative de la variation de la pression au niveau de ces points, et par extrapolation, de la variation de pression de tout l'étage Route Chaïba.

III.7.4 Etage Haouch Saboune

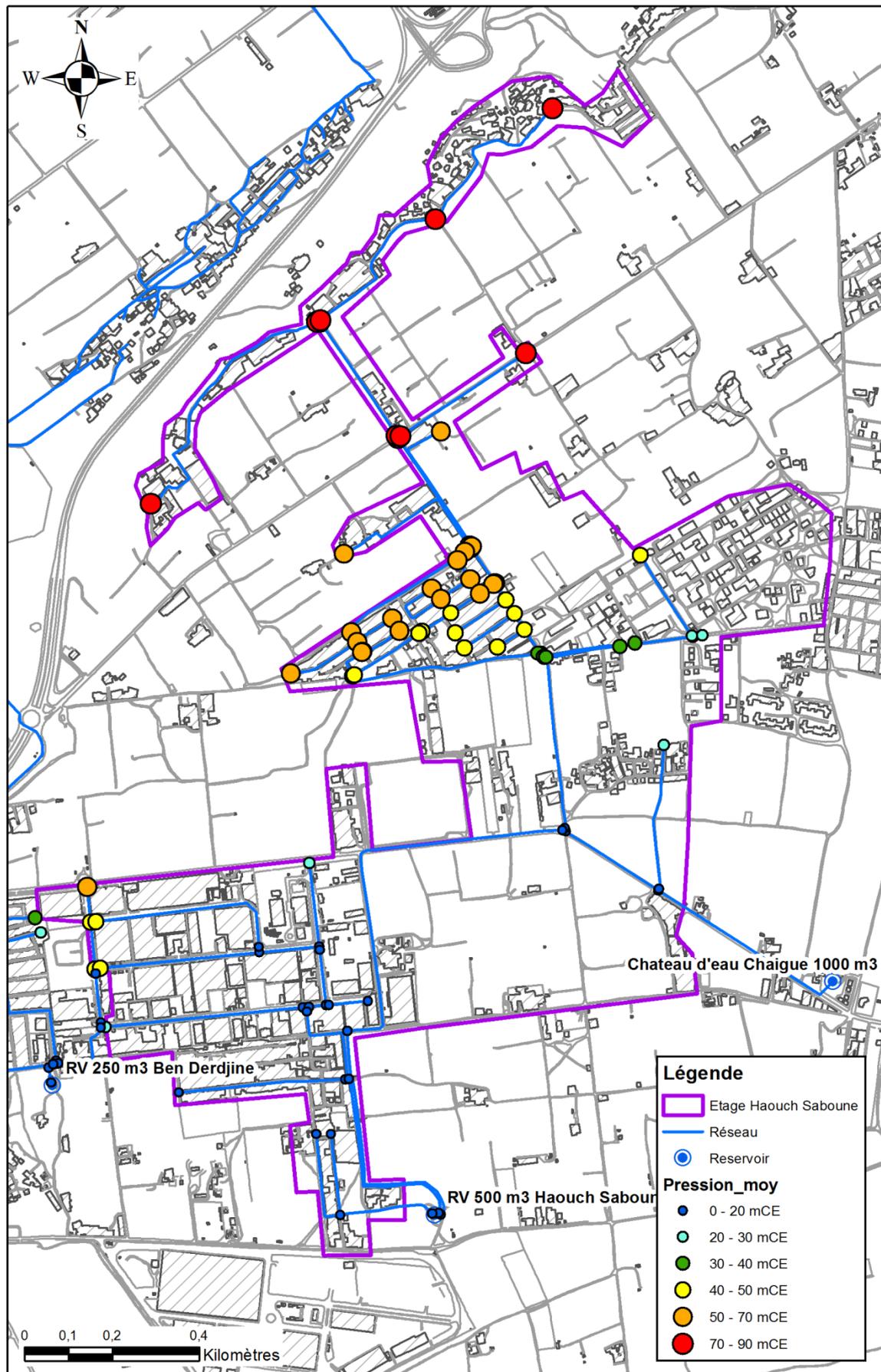


Figure III-8 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Haouch Saboune

Commentaire :

A partir de la « Carte des pressions moyennes journalières – Etage Haouch Saboune » on remarque deux zones bien distinctes.

La première située juste à l’aval du réservoir 500 m³ Haouch Saboune où les pressions, surtout pour les points les plus hauts, sont majoritairement faibles (0 à 20 mCE), à l’exception de quelques points en bas de la zone où les pressions sont acceptables. Cependant, du moment que la pression ne descend pas en dessous des 10 mCE, ceci n’est pas un problème en soit en sachant que cette zone c’est la zone industrielle, et qu’en général les industries ont plus besoin d’être satisfait en terme de débit plutôt qu’en terme de pression. Il resterait alors les points les plus hauts et les plus proches du réservoir, qui alimentent les quelques habitations éparses, où les pressions sont beaucoup plus faible, et doivent donc s’équiper de sur-presseurs pour satisfaire leurs besoins.

La deuxième zone, qu’on va qualifier de zone résidentielle, est soumise à une large palette de pressions, allant de la plage des pressions acceptables (20 à 30 mCE) au niveau des points hauts de la zone, jusqu’à la plage des pressions excessives (> 50 mCE) au niveau des points les plus bas de l’étage avec une pression journalière moyenne d’environ 89 mCE au niveau du point le plus critique.

N.B. : Pour cet étage on va analyser la variation des pressions moyennes de chaque zone de manière indépendante.

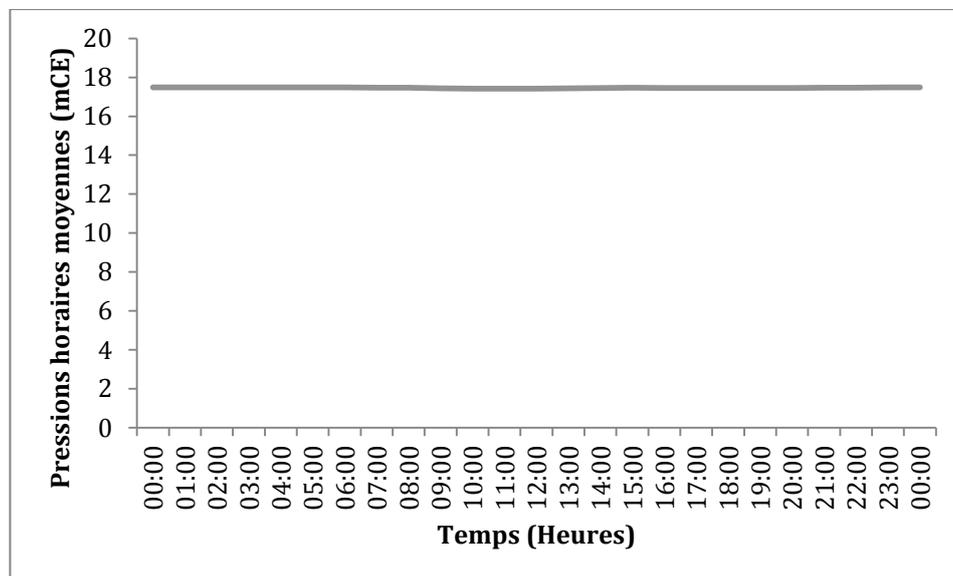


Figure III-9 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l’étage Haouch Saboune - zone industrielle

Commentaire :

De ce graphe on remarque qu’il n’y a quasiment pas de variation de pression au niveau de la zone industrielle, chose qui pouvait être prévisible vu que le régime de consommation des industrielles est constant durant toute la journée.

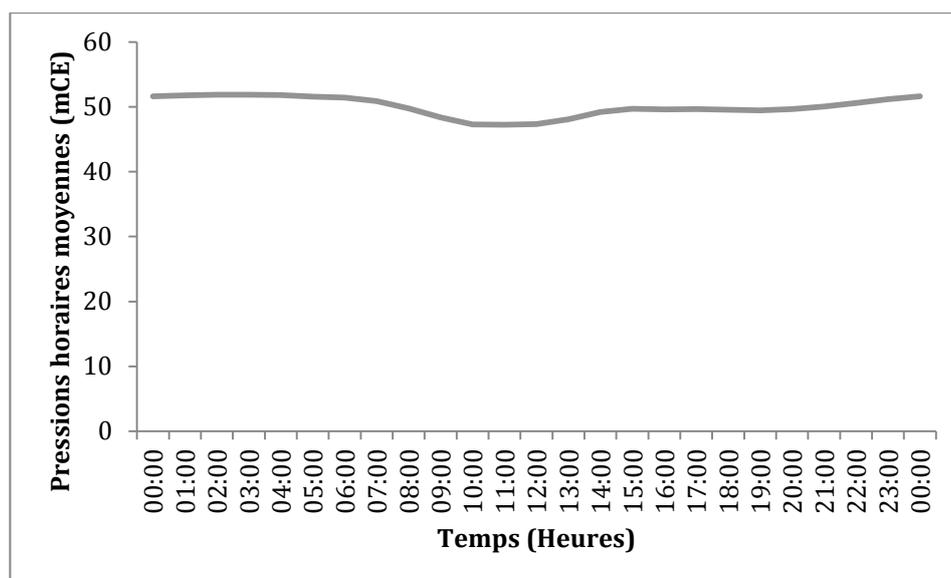


Figure III-10 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Haouch Saboune - zone résidentielle

Commentaire :

A partir de ce graphe on peut constater qu'il y a une certaine variation de la pression au niveau de la zone résidentielle de l'étage Haouch Saboune, néanmoins cette variation reste très faible, de l'ordre de quelques mètres (< 5 mCE). En se penchant sur les vitesses d'écoulement dans cette partie du réseau, on a remarqué que ces dernières étaient très faibles, on peut donc supposer que cette partie est en quelques sortes surdimensionnée par rapport aux besoins actuels des consommateurs qu'elle dessert ; ce qui, peut être, explique les faibles variations de pression dans cette partie du réseau.

Remarque : Comme expliqué, dans le chapitre 2, l'alimentation de la zone résidentielle est renforcée par un piquage venant du château d'eau 1000 m³ Chaïg, en observant le comportement du réseau lors de la simulation on s'est aperçu que cette zone était presque exclusivement alimentée à partir du château d'eau, dans le cadre de gestion du réseau (lors du passage au 24H/24) il faudrait faire attention quant à la suffisance du volume, car le château d'eau est destiné à l'alimentation de la commune de Fouka et ne vient que renforcer l'alimentation de Bou Ismaïl. Néanmoins le cas de figure qu'on a obtenu lors de la simulation, peut s'avérer intéressant, car il nous permet de travailler par rapport au cas défavorable du point de vue pression subite par le réseau.

Tableau III-10 : Tableau comparatif de quelques pressions de l'étage Haouch Saboune

	Pression moyenne de l'étage	Pression moyenne de la zone industrielle	Pression moyenne de la zone résidentielle	Pression du point critique
Heure de plus grande consommation (11:00)	33,57 mCE	17,42 mCE	47,24 mCE	87,06 mCE
Heure de plus faible consommation (03:00)	36,10 mCE	17,49 mCE	51,85 mCE	90,58 mCE

Tableau III-11 : Les écarts de pression - Etage Haouch Saboune (Zone résidentielle)

Heures	Zone résidentielle						
	P_h (mCE)	Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen	
		$P_{i.h}$ (mCE)	$\Delta P_{i.h}$ (mCE)	$P_{i.h}$ (mCE)	$\Delta P_{i.h}$ (mCE)	$P_{i.h}$ (mCE)	$\Delta P_{i.h}$ (mCE)
00:00	51,60	90,36	38,76	13,39	-38,21	51,4	-0,20
01:00	51,77	90,51	38,74	13,49	-38,28	51,51	-0,26
02:00	51,85	90,58	38,73	13,54	-38,31	51,57	-0,28
03:00	51,85	90,58	38,73	13,54	-38,31	51,57	-0,28
04:00	51,81	90,55	38,74	13,51	-38,30	51,54	-0,27
05:00	51,56	90,32	38,76	13,37	-38,19	51,37	-0,19
06:00	51,44	90,22	38,78	13,3	-38,14	51,29	-0,15
07:00	50,87	89,74	38,87	12,99	-37,88	50,91	0,04
08:00	49,74	88,85	39,11	12,49	-37,25	50,24	0,50
09:00	48,38	87,84	39,46	12,05	-36,33	49,56	1,18
10:00	47,28	87,08	39,80	11,84	-35,44	49,12	1,84
11:00	47,24	87,06	39,82	11,84	-35,40	49,1	1,86
12:00	47,32	87,11	39,79	11,85	-35,47	49,13	1,81
13:00	48,08	87,63	39,55	11,98	-36,10	49,43	1,35
14:00	49,23	88,46	39,23	12,3	-36,93	49,97	0,74
15:00	49,70	88,81	39,11	12,47	-37,23	50,22	0,52
16:00	49,61	88,75	39,14	12,44	-37,17	50,17	0,56
17:00	49,66	88,78	39,12	12,46	-37,20	50,2	0,54
18:00	49,57	88,72	39,15	12,43	-37,14	50,15	0,58
19:00	49,44	88,62	39,18	12,38	-37,06	50,08	0,64
20:00	49,66	88,78	39,12	12,46	-37,20	50,2	0,54
21:00	50,04	89,07	39,03	12,61	-37,43	50,41	0,37
22:00	50,58	89,51	38,93	12,85	-37,73	50,73	0,15
23:00	51,20	90,01	38,81	13,17	-38,03	51,12	-0,08
00:00	51,60	90,36	38,76	13,39	-38,21	51,4	-0,20
Moyenne	\	\	39,09	\	-37,32	\	0,45
σ (mCE)	\	\	0,345	\	0,922	\	0,678
c_v (%)	\	\	0,883	\	-2,470	\	150,136

Commentaire :

A partir des valeurs du coefficient de variation obtenues pour les nœuds à plus forte et plus faible pression on peut conclure, par le même raisonnement que pour les étages précédents, que la variation de la pression moyenne horaire de cette zone est représentative de la variation de pression de ces deux nœuds. En ce qui concerne le nœud moyen, la valeur du coefficient de variation obtenue (> 100 %) n'a pas de sens, et elle est due au fait que la moyenne soit inférieure à 1, elle-même due aux écarts très faibles entre les pressions moyennes horaires de la zone et celles du nœud moyen. En analysant plus en détail la variation des écarts de pression pour le nœud moyen, on remarque qu'elle est faible (2,14 mCE), voir négligeable comparée aux pressions prédominantes dans cette zone. Donc on peut dire que la variation moyenne horaire est représentative de la variation de ce nœud.

III.7.5 Etage Ben Derdjine

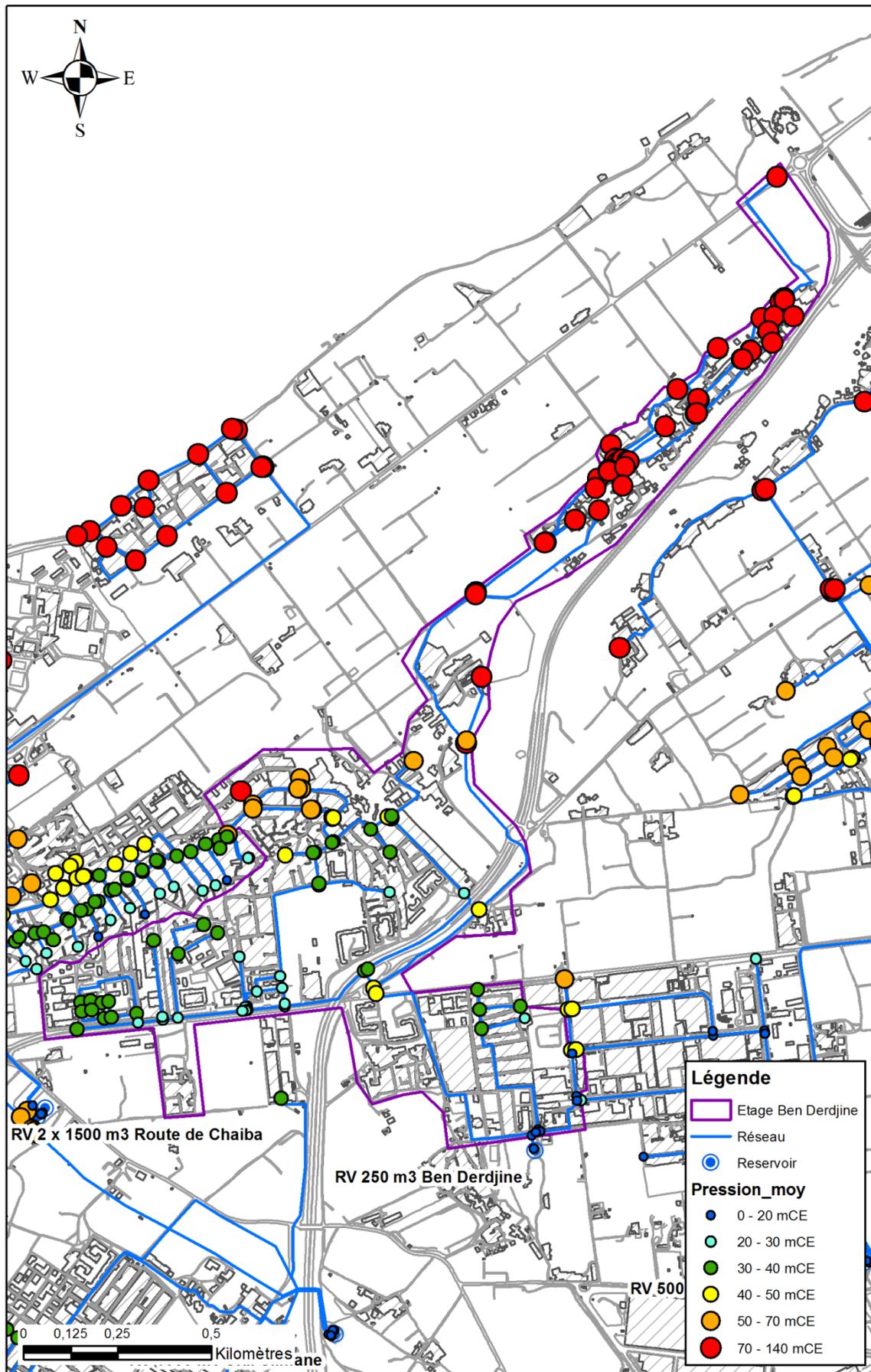


Figure III-11 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Ben Derdjine

Commentaire :

Pour cet étage du réseau, on remarque que les points les plus proches du réservoir, et les plus hauts du point de vue altitudes, ont des pressions moyennes relativement basses (0 à 20 mCE), ce qui est logique au vu de leur situation ; un peu plus à l'aval le réseau est en moyenne soumis à de meilleures pressions (20 à 50 mCE). Le coté Ouest de l'étage est lui aussi soumis à des pressions moyennes relativement confortables (20 à 40 mCE) ; en allant un peu plus au centre de l'étage on remarque que les pressions moyennes s'accroissent arrivant même jusqu'à des pressions excessives à certains points (> 50 mCE). Quant au reste de l'étage, couvrant les quartiers Nord-Est, il est soumis à de pression beaucoup trop importante (> 70 mCE) avec une pression moyenne au niveau du point le plus critique de l'étage qui dépasse les 135 mCE.

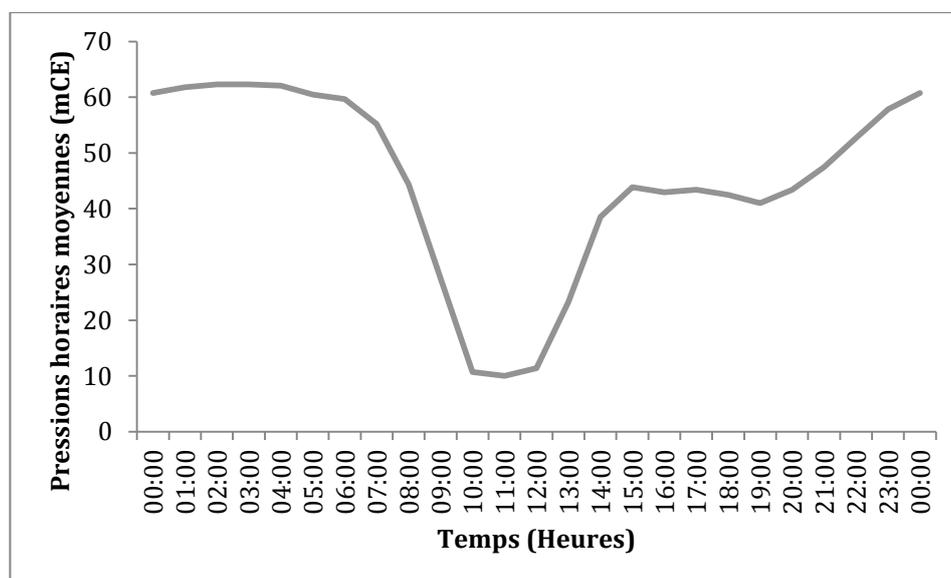


Figure III-12 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine

Commentaire :

A partir de ce graphe on remarque que la pression au niveau de cet étage du réseau varie de manière considérable, avec en moyenne une chute de pression d'environ 50 mCE entre les heures de faible consommation (00:00 jusqu'à 06:00) et les heures de forte consommation (10:00 jusqu'à 13:00) ; cette variation, très importante, détonne avec les variations des autres étages du réseau, ce qui nous a poussé à analyser plus en détail les résultats de la simulation pour essayer de comprendre la cause de cette différence.

En observant de plus près les résultats de la simulation au niveau de l'étage Ben Derdjine, on s'est aperçu qu'une partie de ce dernier (le coté Ouest) était sujette à des dépressions importantes lors des heures de forte consommation (10:00 jusqu'à 14:00) (voir Figure III-13) ; ces valeurs expliquent le graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine et la chute de pression importante observée aux heures de forte consommation, les valeurs de pressions négatives ont influencées les pressions du reste de l'étage, on a donc obtenu un résultat global biaisé.

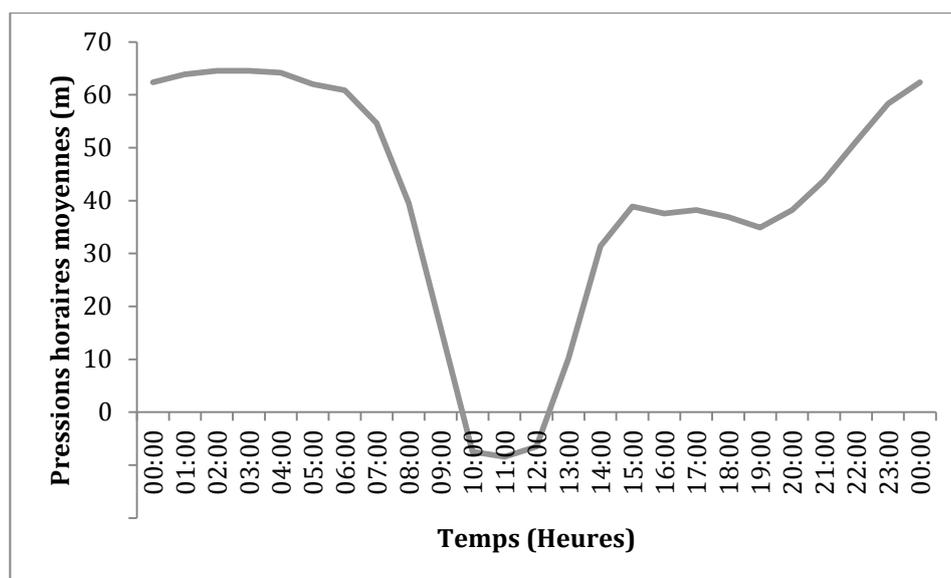


Figure III-13 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Ouest de l'étage Ben Derdjine

Commentaire :

En observant le comportement des conduites (vitesses d'écoulement) au niveau de cette partie de l'étage, on s'est aperçu que la conduite principale l'alimentant ($\varnothing 80$ AG) avait des vitesses beaucoup trop importantes, de l'ordre de 3 m/s aux heures de forte consommation avec des pertes de charge unitaires, aux mêmes heures, estimées à environ 140 mCE/Km de conduite ; et pire encore un tronçon de conduite la précédant, qui alimente la partie ouest et la partie centre de l'étage, de même diamètre ($\varnothing 80$ FD) avait des vitesses arrivant jusqu'à 5 m/s aux heures de forte consommation avec des pertes de charge unitaires estimées à environ 460 à 470 mCE/Km de conduite.

Ces vitesses et pertes de charge considérables expliquent les dépressions observées au niveau de cette partie de l'étage, et on en conclut donc que ces conduites sont sous-dimensionnées et doivent être revues. On propose pour la conduite $\varnothing 80$ AG un passage au diamètre $\varnothing 100$ AG et pour la conduite $\varnothing 80$ FD un passage au diamètre $\varnothing 125$ FD, ce qui permettrait de réduire les pertes de charge générées par ces tronçons et par conséquent améliorer les pressions au niveau de cette partie du réseau, ces modifications permettraient aussi d'avoir des vitesses de bon fonctionnement vérifiées au niveau de ces deux tronçons du réseau.

Suite à ces modifications, les pressions au niveau de cette partie du réseau sont rentrées dans l'ordre et sont devenues acceptables, néanmoins il existe toujours une variation de pression de presque 40 mCE entre l'heure de plus faible consommation (où la pression moyenne horaire est de 69,06 mCE) et l'heure de plus forte consommation (où la pression moyenne horaire est de 30,76 mCE) (voir Figure III-14). Ceci est peut être due au fait que cette partie du réseau soit ramifiée ce qui fait qu'elle soit plus sensible aux variations du régime de consommation.

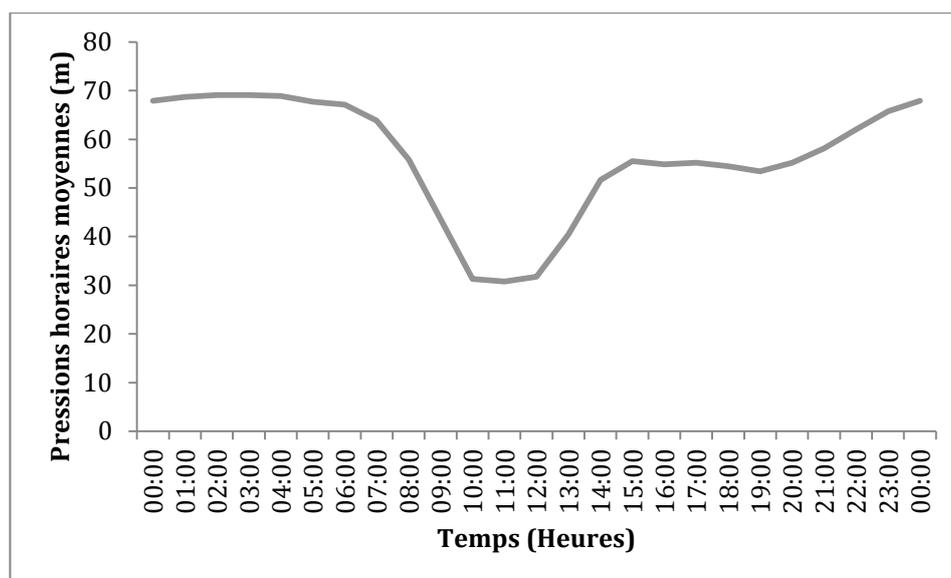


Figure III-14 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Ouest de l'étage Ben Derdjine (après redimensionnement)

Tableau III-12 : Récapitulatif et résultats des modifications

		Avant redimensionnement		Après redimensionnement	
Tronçons		Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 1	Tronçon 2
Longueurs		51,54 m	246,7 m	51,54 m	246,7 m
Diamètres/Matériaux		Ø80 FD	Ø80 AG	Ø125 FD	Ø100 AG
Vitesses	03:00	1,7 m/s	1,01 m/s	0,7 m/s	0,73 m/s
	11:00	5,11 m/s	3,03 m/s	2,09 m/s	2,18 m/s
Pertes de charge générées	03:00	53,49 mCE/Km	16,74 mCE/Km	5,27 mCE/Km	6,66 mCE/Km
	11:00	470,3 mCE/Km	141,6 mCE/Km	45,29 mCE/Km	55,75 mCE/Km
Pression moyenne horaire de la partie Ouest	03:00	64,56 mCE		69,06 mCE	
	11:00	-8,44 mCE		30,76 mCE	
Schéma des tronçons modifiés					

Quant aux pressions moyennes horaires globales de tout l'étage Ben Derdjine, après modification forcée des diamètres des conduites alimentant la partie Ouest, elles se sont modifiées et sont d'environ 65,4 mCE à l'heure de plus faible consommation (03:00) et d'environ 36,8 mCE à l'heure de pointe de consommation (11:00) ; soit une variation moyenne entre ces deux heures d'un peu plus de 28 mCE (voir Figure III-15).

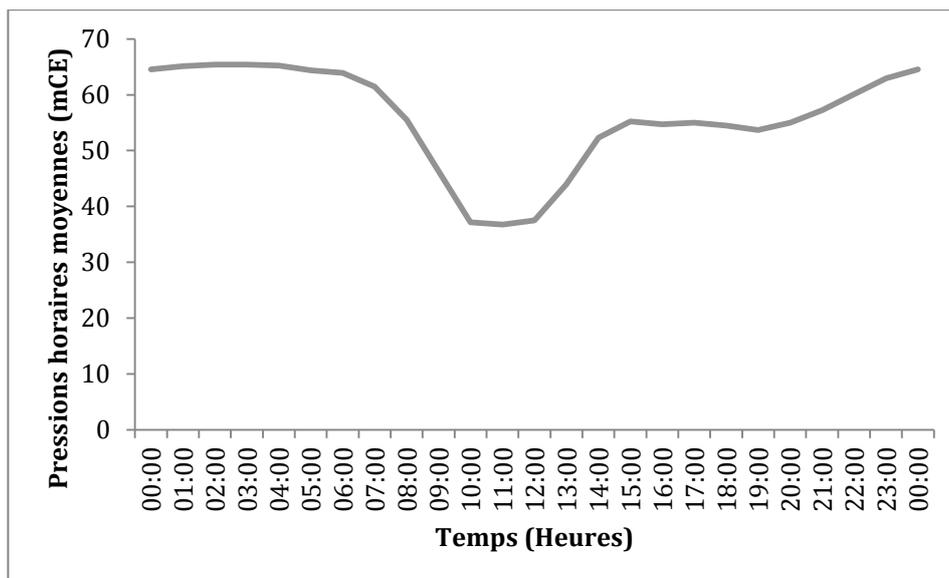


Figure III-15 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine (après redimensionnement)

En ce qui concerne le reste du réseau, pour la partie Nord-Est, elle connaît elle aussi une certaine variation de la pression au courant de la journée (voir Figure III-16), allant d'une pression moyenne horaire d'environ 120,5 mCE à l'heure de plus faible consommation (03:00) à une pression moyenne horaire d'environ 102,7 mCE à l'heure de plus grande consommation (11:00), soit une chute de pression de presque 20 mCE ; et pour les point hauts de l'étage (juste à l'aval du réservoir), en moyenne, la pression y est relativement stable, variation très faible (environ 1,5 mCE) entre l'heure de plus faible consommation (03:00) où la pression moyenne horaire est d'environ 24,5 mCE et l'heure de plus grande consommation (11:00) où la pression moyenne horaire est d'environ 22,9 mCE (Figure III-17).

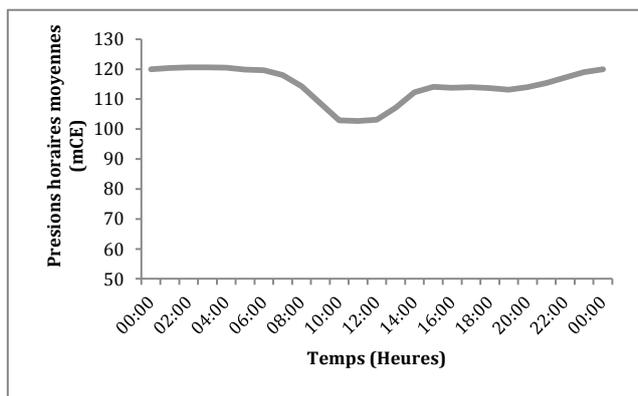


Figure III-16 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Nord-Est de l'étage Ben Derdjine

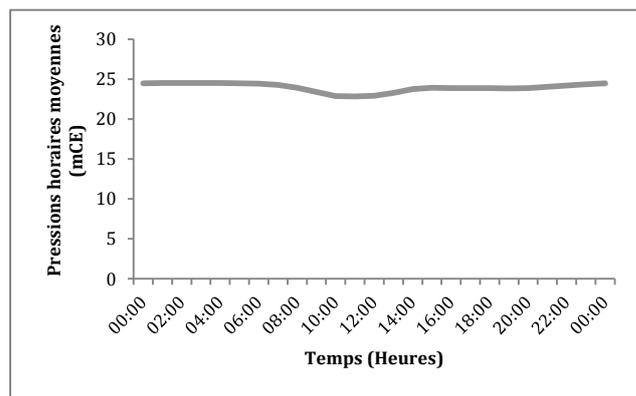


Figure III-17 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire des points hauts de l'étage Ben Derdjine

N.B. : Pour l'analyse des écarts de pression des nœuds de l'étage Ben Derdjine, on ne va pas s'attarder sur les points hauts (juste à l'aval du réservoir), la pression y est assez stable, il est donc évident que le graphe de variation de la pression moyenne horaire de l'étage n'est pas représentative pour cette zone ; de plus la pression y est relativement basse, elle ne fera donc pas l'objet d'une régulation.

Tableau III-13 : Les écarts de pression des parties Ouest et Nord-Est de l'étage Ben Derdjine

Heures	P_h (mCE)	Partie Ouest						Partie Nord-Est					
		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen	
		$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)
00:00	64,53	102,72	38,19	50,04	-14,49	65,57	1,04	143,97	79,44	72,16	7,63	121,7	57,17
01:00	65,11	103,59	38,48	50,6	-14,51	66,31	1,20	144,35	79,24	72,48	7,37	122,06	56,95
02:00	65,39	104	38,61	50,87	-14,52	66,67	1,28	144,54	79,15	72,63	7,24	122,24	56,85
03:00	65,39	104	38,61	50,87	-14,52	66,67	1,28	144,54	79,15	72,63	7,24	122,24	56,85
04:00	65,25	103,8	38,55	50,74	-14,51	66,49	1,24	144,44	79,19	72,55	7,30	122,15	56,90
05:00	64,38	102,49	38,11	49,89	-14,49	65,38	1,00	143,87	79,49	72,07	7,69	121,6	57,22
06:00	63,91	101,79	37,88	49,44	-14,47	64,79	0,88	143,56	79,65	71,82	7,91	121,31	57,40
07:00	61,47	98,13	36,66	47,07	-14,40	61,66	0,19	141,95	80,48	70,47	9,00	119,79	58,32
08:00	55,50	89,19	33,69	41,27	-14,23	54,03	-1,47	138,07	82,57	67,22	11,72	116,09	60,59
09:00	46,31	75,42	29,11	32,32	-13,99	42,25	-4,06	132,16	85,85	62,22	15,91	110,46	64,15
10:00	37,15	61,69	24,54	23,4	-13,75	30,49	-6,66	126,33	89,18	57,27	20,12	104,89	67,74
11:00	36,77	61,12	24,35	23,03	-13,74	30	-6,77	126,09	89,32	57,06	20,29	104,66	67,89
12:00	37,53	62,26	24,73	23,77	-13,76	30,98	-6,55	126,58	89,05	57,48	19,95	105,12	67,59
13:00	43,99	71,94	27,95	30,07	-13,92	39,28	-4,71	130,68	86,69	60,97	16,98	109,05	65,06
14:00	52,33	84,43	32,10	38,18	-14,15	49,96	-2,37	136,02	83,69	65,49	13,16	114,14	61,81
15:00	55,25	88,82	33,57	41,02	-14,23	53,71	-1,54	137,9	82,65	67,08	11,83	115,94	60,69
16:00	54,74	88,05	33,31	40,53	-14,21	53,05	-1,69	137,57	82,83	66,8	12,06	115,62	60,88
17:00	55,00	88,43	33,43	40,78	-14,22	53,38	-1,62	137,74	82,74	66,94	11,94	115,78	60,78
18:00	54,48	87,66	33,18	40,27	-14,21	52,72	-1,76	137,41	82,93	66,66	12,18	115,46	60,98
19:00	53,69	86,47	32,78	39,5	-14,19	51,71	-1,98	136,9	83,21	66,23	12,54	114,98	61,29
20:00	55,00	88,43	33,43	40,78	-14,22	53,38	-1,62	137,74	82,74	66,94	11,94	115,78	60,78
21:00	57,21	91,75	34,54	42,93	-14,28	56,21	-1,00	139,17	81,96	68,15	10,94	117,15	59,94
22:00	60,08	96,05	35,97	45,72	-14,36	59,89	-0,19	141,04	80,96	69,71	9,63	118,92	58,84
23:00	62,92	100,31	37,39	48,48	-14,44	63,52	0,60	142,9	79,98	71,27	8,35	120,69	57,77
00:00	64,53	102,72	38,19	50,04	-14,49	65,57	1,04	143,97	79,44	72,16	7,63	121,7	57,17
Moyenne	\	\	33,89	\	-14,25	\	-1,37	\	82,46	\	11,54	\	60,47
σ (mCE)	\	\	4,512	\	0,247	\	2,543	\	3,214	\	4,128	\	3,490
c_v (%)	\	\	13,31	\	-1,736	\	-185,8	\	3,898	\	35,77	\	5,772

Commentaire :

Les valeurs du coefficient de variation des nœuds étudiés au niveau de cet étage sont variées, pour la partie Ouest on constate que les nœuds à forte et faible pression ont

des c_v (en valeur absolue) inférieures à 15 %, ce qui traduit une bonne distribution de leurs séries respectives autour de leurs moyennes arithmétiques, de même pour la partie Nord-Est au niveau du nœud à plus forte pression et du nœud moyen. On peut donc dire, par le même raisonnement que pour les étages précédents, que l'allure de la variation de la pression moyenne horaire de l'étage est représentative de la variation de pression de ces nœuds.

En ce qui concerne les autres nœuds (nœud moyen de la partie Ouest et nœud à plus faible pression pour la partie Nord-Est), bien que leurs écarts-type soit du même ordre que le reste des nœuds étudiés pour cet étage, leurs coefficients de variation diffèrent sensiblement, ce qui est dû au fait que les pressions au niveau de ces nœuds soient du même ordre que les pressions moyennes horaires de l'étage, ce qui fait que les écarts de pression de ces nœuds sont relativement basses par rapport aux autres nœuds étudiés. Cependant en se penchant sur les écarts de pression de ces nœuds on remarque qu'il existe une certaine variation de ces derniers, mais qui est minimale comparée à l'ordre de grandeur des pressions prédominantes au niveau de ces nœuds.

Au vu de ces résultats, il est évident que la variation de la pression moyenne horaire de cet étage n'est pas aussi représentative que le sont celles des autres étages, du moins pas pour tout les nœuds.

Conclusion

Le mode de fonctionnement actuel du réseau d'étude (distribution non continue) nous a conduits à opter pour la méthode du modèle hydraulique afin d'estimer les pressions prédominantes sur ce dernier.

Face au manque cruel de données sur le réseau, en partie dû au fait que la distribution ne soit pas en continu, plusieurs hypothèses ont dues être émises pour avoir les données nécessaires à la création du modèle hydraulique et pour que ce dernier soit le plus représentatif possible ; des hypothèses relatives à la répartition de la consommation sur le réseau (demandes aux nœuds), au régime de consommation de la commune, aux caractéristiques physiques des conduites (les rugosités notamment) et à la méthode de représentation des réservoirs sur le modèle pour ne citées que les principales hypothèses. Une fois les données nécessaires posées, on passe à la création du modèle hydraulique, qui dépend du format sous lequel le réseau est tracé ; le format le plus pratique sous lequel un réseau pourrait être tracé, c'est le format SIG (ce qui est le cas pour le réseau de la présente étude), car il permet l'introduction de toutes les données essentielles à la création du modèle hydraulique de manière relativement aisée. Cependant pour faire le passage du SIG au logiciel de simulation hydraulique, il faut respecter certaines règles relatives à la géométrie du réseau qui doit être parfaite (coïncidence des points avec les extrémités des lignes/polylignes, disposition des points qui représentent les vannes -qui sont des arcs sous les logiciels de simulation hydraulique-, ... etc.).

Une fois le modèle hydraulique représentant le réseau de l'étude créé et la simulation faite, l'analyse des résultats obtenus à montrer que presque 65 % du réseau était soumis à des pressions dépassant la pression limite acceptable (50 mCE), principalement sur les parties basses des étages. Quant à la variation de la pression, elle varie selon les étages ; pour les étages Sidi Slimane, Route de Chaïba et Haouch Saboune on avait vu que la variation de la pression moyenne horaire était très faible, voir négligeable au vu des grandeurs des pressions, et on était arrivé à la conclusion que leurs variations de la pression moyenne horaire étaient assez représentatives de la variation de leurs nœuds respectifs ; en ce qui concerne l'étage Ben Derdjine ce dernier fait l'objet de variation des pressions dans certaines parties, et on était arrivé à la conclusion que la variation de la pression moyenne horaire de cet étage ne peut pas être considéré comme représentative de la variation des pressions au niveau de ses nœuds.

De ces résultats on peut conclure qu'il existe un fort potentiel de régulation des pressions sur le réseau d'étude.

Pour finir il est conseillé de toujours garder un œil attentif sur le détail des résultats obtenus lorsqu'on travaille avec les moyennes, car ces dernières peuvent se révéler trompeuses.

Chapitre IV : Régulation des pressions

Dans ce quatrième chapitre, on va commencer par essayer de donner un aperçu sur la procédure à suivre pour la mise en place de la régulation des pressions sur un réseau donné, ensuite on tentera d'expliquer comment simuler la régulation (sous ses deux formes réduction et modulation) des pressions sur un réseau sous les logiciels de simulation hydraulique. Après quoi, on reviendra à notre présente étude pour essayer d'expliquer les moyens mis en œuvre pour réguler les pressions sur le réseau étudié, avant de finir par le choix/dimensionnement des vannes.

IV.1 Procédure de mise en place de la régulation de pression sur un réseau

Après analyse des données sur les pressions d'un réseau donné (que ce soit des pressions estimées, mesurées sur terrain ou obtenues suite à une simulation via un modèle hydraulique), et détermination des zones les plus touchées par les problèmes de pressions et des périodes durant lesquelles ceci se produit ainsi que les variations de pression ; la régulation des pressions sur le réseau d'étude peut être entreprise.

Comme déjà expliqué durant le premier chapitre, l'objectif de la régulation de la pression sur un réseau est d'équilibrer et homogénéiser les pressions afin qu'elles soient dans une plage de pression supportable par les différents accessoires composant le réseau, tout en garantissant un minimum de pression de confort pour les consommateurs. Lorsque les pressions sont importantes, la régulation des pressions se faisant grâce à des vannes de régulation, le second objectif d'une étude de régulation de pression sur un réseau donné, c'est d'employer le moins possible de vannes pour atteindre les pressions souhaitées dans le réseau.

Pour ce faire il est nécessaire de se conformer à une certaine procédure pour la mise en place de la régulation de pression sur un réseau :

- En général, pour des raisons de gestion, les réseaux de distribution d'eau potable sont scindés en plusieurs zones de desserte (dans le cadre des programmes de recherche de fuites, ces dernières sont appelées secteurs). Ceci nous permet, lors d'un projet de régulation des pressions sur un réseau, de travailler au niveau de chaque zone indépendamment des autres zones au lieu de travailler directement sur l'ensemble du réseau, ce qui est plus pratique surtout pour des réseaux de taille importante.

N.B. : Pour notre cas d'étude ces zones de desserte dont on parle sont les étages de distribution.

- Une vanne de régulation doit être placée de telle sorte à réguler les pressions de la plus grande partie possible d'une zone donnée ; en général elles sont installées en entrée des zones de desserte, sur la conduite principale alimentant cette dernière. Si jamais une seule vanne en entrée d'une zone de desserte ne suffit pas à réguler toutes les pressions, on peut entreprendre de créer des sous zones et installer d'autres vannes à leurs entrées pour réguler les pressions à leur niveau.

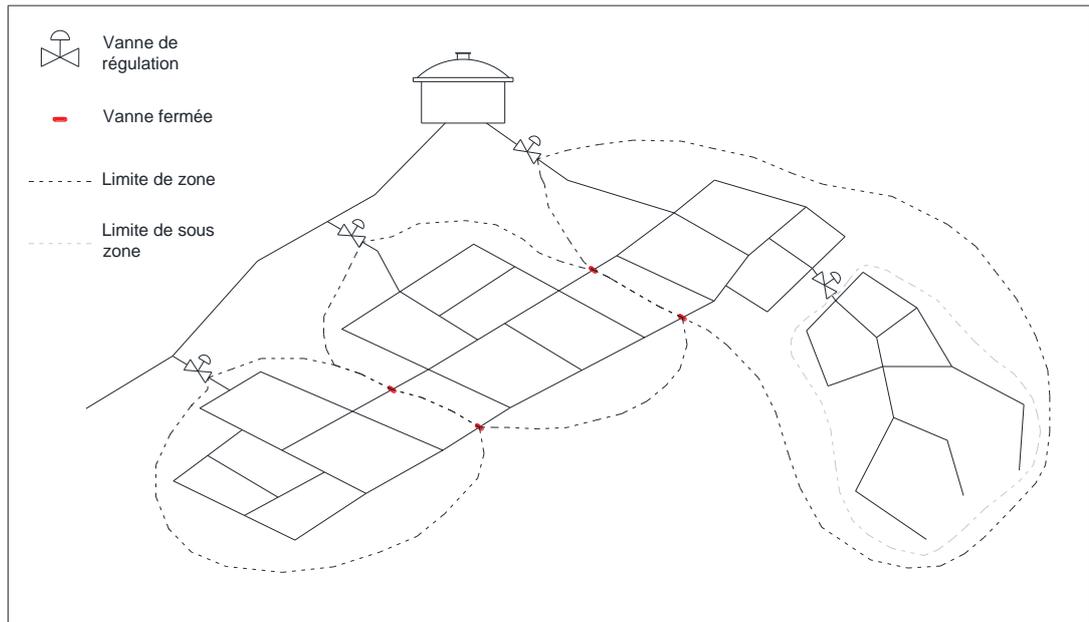


Figure IV-1 : Schéma explicatif des principes précédemment cités

- Afin de minimiser le nombre de vannes à employer, il est souvent utile de modifier les limites des zones ; si par exemple, on a certains points d'une zone où la pression est excessive et que ces derniers se trouvent être à côté d'une zone dont les pressions sont acceptable, on peut essayer de relier ces point à cette zone pour éviter de leur installer une autre vanne.
- Dans certains cas on peut même proposer une modification assez conséquente de la structure de la zone de desserte, avec ajout d'extension ou modification des mailles par exemple, pour éviter d'employer des vannes supplémentaires.
- Il faut veiller à ce qu'il y ait des pressions suffisantes au pied des immeubles pour alimenter les consommateurs des derniers étages de manière confortable.

Les pressions nécessaires au niveau des bâtiments (P_{bat}) peuvent être estimées en fonction de leurs nombres d'étages ($Nb_{étages}$) grâce à la formule suivante :

$$P_{bat} = (3+1).Nb_{étages} + 2 + 10 \quad (IV.1)$$

Avec : (3+1) : 3 m correspondant à la hauteur moyenne d'un étage et 1 mCE pour la perte de charge de chaque étage.

2 : 2 mCE pour la perte de charge générée par le compteur.

10 : 10 mCE est la pression nécessaire pour le bon fonctionnement des équipements domestiques (Chauffe eau notamment).

Exemple : Pour un immeuble de 4 étages, la pression nécessaire au pied de celui-ci serait de $P_{bat} = 28$ mCE.

Les nœuds alimentant les immeubles sont souvent les points défavorables du réseau.

De là on peut conclure que la consigne à assigner à la vanne dépend des points critiques (là où la pression est excessive), mais aussi des points défavorables où il faut garantir une certaine pression de confort.

- Lors du choix de la position de la vanne il faut s'assurer que cette dernière soit sous pression des deux cotés (amont et aval).

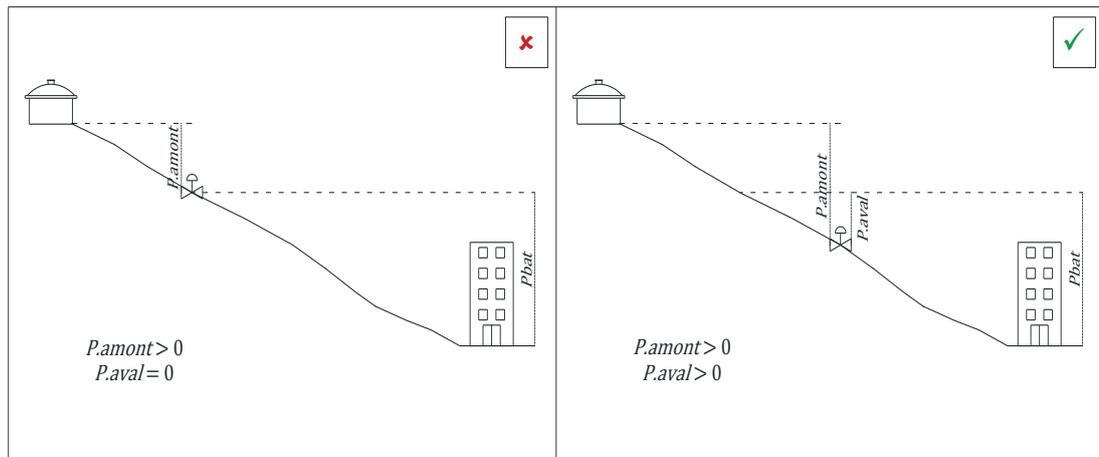


Figure IV-2 : Schéma explicatif de la position de la vanne

- On rappelle aussi que les vannes de régulation sont unidirectionnelles, il faut donc faire attention à l'orientation lors de leur positionnement.
- L'analyse de la variation de la pression au niveau de la zone sur laquelle on voudrait réguler les pressions, nous permettrait de déterminer la forme de régulation qu'on doit appliquer. Pour une zone sujette à des variations de pression importantes, on privilégierait une modulation de pression afin d'essayer d'atténuer cette variation ; à l'inverse si une zone n'est pas sujette à des variations de pression sensibles, une réduction de pression (c'est la forme la plus simple de la régulation de pression) suffirait.

IV.2 Simulation de la régulation de pression sur modèle hydraulique

Comme déjà cité lors du troisième chapitre, les logiciels de simulation hydraulique permettent de représenter les vannes de régulation ; par conséquent, lors d'une étude de régulation de pression sur un réseau, on peut avoir recours aux modèles hydrauliques, ce qui peut s'avérer être très utile, car ces derniers nous permettent d'essayer plusieurs configurations de manière assez aisée et peu coûteuse et ainsi visualiser le comportement du réseau pour différents scénarios.

Les logiciels de simulation proposent plusieurs types de vanne régulatrice : (Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0, 2003)

- **Vanne stabilisatrice aval** : Elle limite la pression à la sortie de la vanne (point aval) selon la consigne introduite.
- **Vanne stabilisatrice amont** : Elle maintient la pression, selon la consigne assignée, à l'entrée de la vanne (point amont).
- **Vanne brise charge ou réducteur de pression** : Elle provoque une perte de pression constante (selon la consigne introduite). Cependant ce type de vanne n'est

pas un véritable dispositif physique, elles sont utilisées pour simuler des situations où on est face à une chute de pression importante.

- **Vanne régulatrice de débit ou limiteur de débit** : Elle limite de débit traversant la vanne à la valeur de la consigne.

En pratique les vannes employées pour la régulation des pressions sur un réseau de distribution d'eau potable sont les "stabilisateurs de pression aval", ils sont donc représentés par le premier des types précédemment cités lors des simulations. Dans certains cas, selon la configuration du réseau d'étude, on peut avoir recours à l'emploi de stabilisateurs de pression amont, ces derniers peuvent être modélisés par le deuxième type de vanne.

Avant de lancer une simulation sur un réseau équipé de vannes de régulation de pression, il est nécessaire de leur assigner certaines données :

- **Type de vanne** : Dès lors qu'on trace une vannes sur le modèle il faut préciser son type (stabilisatrice aval, stabilisatrice amont, régulatrice de débit, ... etc.).
- **Consigne** : La consigne dépend du type de la vanne choisi, pour le type de vannes de régulation précédemment cités, ça sera :

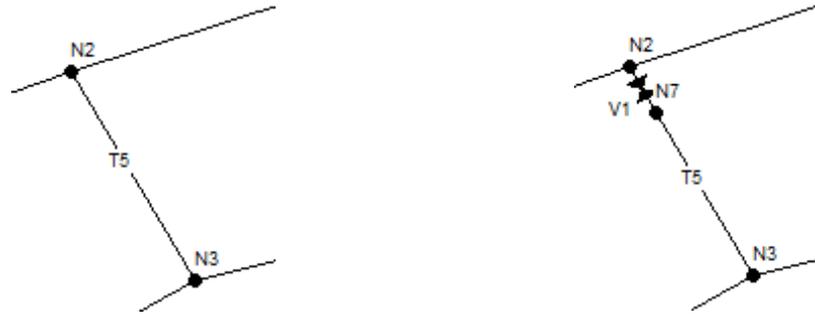
Tableau IV-1 : Consigne à introduire selon le type des vannes de régulation

Type de vanne	Consigne à introduire
Stabilisatrice aval	La pression que l'on souhaite avoir au nœud aval de la vanne (nœud de sortie).
Stabilisatrice amont	La pression que l'on souhaite avoir au nœud amont de la vanne (nœud d'entrée).
Réducteur de pression	La chute de pression que l'on souhaite provoquée au passage de l'eau par la vanne.
Régulatrice de débit	Le débit que l'on souhaite avoir à la sortie de la vanne.

Les valeurs des consignes dépendent des objectifs que l'on veut atteindre par la mise en place des vannes de régulation.

- **Diamètre** : Si on dispose du diamètre de la vanne, on peut l'introduire, sinon une valeur par défaut lui est assignée (200 mm pour le logiciel de simulation Epanet, mais cela peut varier selon le logiciel de simulation utilisé).
- **Nœuds de départ et d'arrivé** : Les vannes, sous les logiciels de simulation, sont considérées comme des arcs, il faut donc qu'elles soient comprises entre des nœuds. Selon la position de la vanne que l'on veut introduire, il est souvent nécessaire d'ajouter l'un des nœuds, voir les deux nœuds dans certains cas ; il faut donc veiller à leur assigner des altitudes.

Exemple : Afin de mettre en place la vanne V1 sur la conduite T5, il a été nécessaire d'ajouter le nœud N7 ; ainsi la vanne V1 devient comprise entre les nœuds N2 et N7 et la conduite T5 entre les Nœuds N7 et N3.



N.B. : Il est évident que le nœud N7 aura la même altitude que le nœud N2. Si jamais il faut ajouter les deux nœuds, ces derniers auront comme altitude la cote de projection de la vanne.

- **Etat préréglé :** Il faut s’assurer que l’état préréglé de la vanne soit sur la position “En régulation” pour que la vanne joue son rôle ; si l’état préréglé de la vanne est sur les positions “Ouvert” ou “Fermé” elle le restera ainsi durant toute la période de simulation, et ne jouera pas son rôle de régulatrice.

En plus du comportement du réseau, lors des simulations, les logiciels nous permettent de connaître l’état des vannes stabilisatrices aval et amont en tout instant de la simulation :

Tableau IV-2 : les trois états des vannes stabilisatrices aval et amont

Etats	Vanne stabilisatrice aval	Vanne stabilisatrice amont
<i>Partiellement ouvert (c.à.d, en régulation)</i>	<i>Pour maintenir une pression en aval qui corresponde à la consigne voulue, quand la pression en amont est plus élevée que la pression de la consigne ;</i>	<i>Pour maintenir une pression en amont qui corresponde à la consigne voulue, quand la pression en aval est plus basse que la pression de la consigne ;</i>
<i>Entièrement ouvert</i>	<i>Si la pression en amont est au-dessous de la consigne souhaitée ;</i>	<i>Si la pression en aval est au-dessus de la consigne souhaitée ;</i>
<i>Fermé</i>	<i>Si la pression en aval dépasse celle du côté amont (autrement dit, la vanne ne permet l'inversion d'écoulement).</i>	<i>Si la pression en aval excède celle du côté amont (autrement dit, la vanne ne permet l'inversion d'écoulement).</i>

(Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0, 2003)

Les logiciels de simulation hydrauliques permettent de simuler aussi bien le principe de réduction de pression que celui de modulation de pression.

IV.2.1 Réduction de pression

Comme déjà vu précédemment la réduction de pression est la forme la plus simple de la régulation des pressions sur un réseau de distribution, et ça consiste en l’installation d’un stabilisateur aval en entrée de zone avec une consigne fixe dans le temps.

Pour la simuler sur modèle hydraulique, il suffit juste d'introduire la vanne de régulation et lui assigner les données nécessaires.

IV.2.2 Modulation de pression

C'est une forme de réduction de pression dont la consigne est adaptable en fonction d'un paramètre variable dans le temps (un temps inférieure à une journée). La modulation de pression est applicable aux zones sujettes aux variations de pression.

Afin de modéliser la modulation de pression, en plus d'introduire la vanne de régulation avec ses données dans le modèle, il faut employer les commandes.

« Les commandes sont des instructions qui déterminent comment le réseau est géré pendant la simulation. Elles indiquent l'état d'arcs déterminés en fonction du temps, l'état des niveaux d'eau aux réservoirs et la valeur de la pression à certains points du réseau. Deux catégories de commandes peuvent être utilisées : Commandes simples ou Commandes élaborées. » (Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0, 2003).

- **Commandes simples** (Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0, 2003)

Elles permettent de changer l'état ou la consigne de fonctionnement (pour le cas de vannes) des arcs selon : le niveau de l'eau dans un réservoir, la pression à un nœud, l'instant de la simulation ou en l'heure de la journée.

Les commandes simples doivent être rédigées selon l'un des trois modèles suivant :

```
LINK IDArc état IF NODE IDNoeud ABOVE/BELOW valeur
LINK IDArc état AT TIME temps
LINK IDArc état AT CLOCKTIME heure AM/PM
```

Avec :

- IDArc* : Identifiant de l'arc.
- IDNoeud* : Identifiant d'un nœud.
- état* : OPEN ou CLOSED, vitesse de rotation d'une pompe, la consigne de fonctionnement d'une vanne.
- valeur* : La pression d'un nœud ou le niveau d'un réservoir.
- temps* : Le temps écoulé depuis le début de la simulation.
- heure* : L'heure de la journée en format américain.

Exemples :

- Si on veut fermer l'arc 9 quand le niveau d'eau dans le réservoir 3 excède 5 mètres, la commande à introduire serait :

```
LINK 9 CLOSED IF NODE 3 ABOVE 5
```

- Si on veut que la consigne d'une vanne V1 soit de 30 mCE entre 10:00 et 15:00 et de 20 mCE le reste du temps, il faut assigner à la vanne la consigne de l'heure du début de la simulation (généralement réglée sur 00:00) pour cet exemple la consigne serait donc 20 mCE et la commande à introduire serait :

```
LINK V1 30 AT CLOCKTIME 10 AM
LINK V1 20 AT CLOCKTIME 3 PM
```

- **Commandes élaborées** (Manuel de l'utilisateur EPANET 2.0, 2003)

« *Quand 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.* ».

Exemple :

Si on veut, par exemple, arrêter une pompe et ouvrir un tuyau de déviation quand le niveau dans un réservoir dépasse une certaine valeur, et faire l'inverse quand le niveau passe au-dessous d'une autre valeur, la commande à introduire serait :

```
RULE 1
IF TANK 1 LEVEL ABOVE 4.8
THEN PUMP 335 STATUS IS CLOSED
AND PIPE 330 STATUS IS OPEN
RULE 2
IF TANK 1 LEVEL BELOW 0.5
THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN
AND PIPE 330 STATUS IS CLOSED
```

Règle 1 : Si le niveau du réservoir 1 dépasse 4,8 m ; alors la pompe 335 est arrêtée ; et ouverture du tuyau 330.

Règle 2 : Si le niveau d'eau du réservoir descend au-dessous de 0,5 m ; alors la pompe 335 démarre ; et fermeture du tuyau 330.

Pour contrôler les vannes lors d'une simulation, il est suggéré d'utiliser les commandes simples, plus faciles à introduire et qui suffisent amplement à simuler un scénario de modulation de pression.

IV.3 Régulation de pressions sur le réseau d'étude

Afin de réguler les pressions sur notre réseau d'étude on a appliqué les procédures citées dans la première partie du présent chapitre.

La régulation des pressions s'est faite au niveau de chaque étage de manière indépendante en tenant compte des points défavorables de ces derniers (les nœuds alimentant les immeubles), plusieurs modifications (ajout d'extension et modification des limites notamment) ont été faite afin de minimiser le nombre de vannes à employer ; dans cette partie on va essayer d'expliquer tout ça étage par étage.

Aussi, pour notre réseau d'étude, la distribution étant purement gravitaire, le type de vanne de régulation qu'on emploiera seront les stabilisateurs de pression aval.

IV.3.1 Etage Sidi Slimane

Lors de l'analyse des pressions subites par cet étage, on avait vu qu'il était divisé en deux parties, la partie haute où les pressions étaient relativement acceptables et ne dépassaient pas la pression limite de bon fonctionnement (50 mCE) et la partie basse où les

pressions étaient toutes supérieures à la limite acceptable ; aussi on avait vu que cet étage n'était pas sujet aux variations de pressions.

La régulation des pressions au niveau de cet étage s'est donc concentrée sur la partie basse, qui souffre de pressions excédentaires, et comme elle n'est pas sujette aux variations de pressions, on va opter pour la forme la plus simple de régulation, à savoir la réduction de pression.

- **Positions et consignes des vannes**

La partie basse de l'étage Sidi Slimane est alimentée par deux conduites, la Ø400 FD alimentant le côté Ouest (en vert sur la Figure IV-3) et la Ø400 AC alimentant le côté Nord-Est (en orange sur la Figure IV-3).

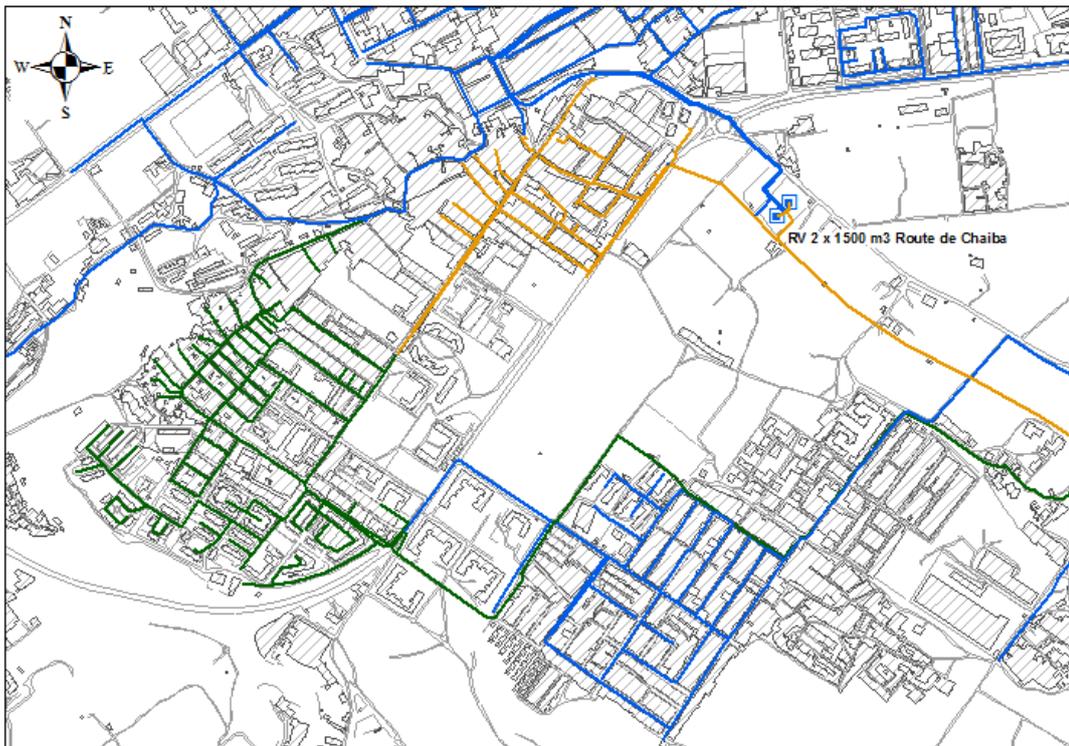


Figure IV-3 : Schéma explicatif de la zone basse de l'étage Sidi Slimane

On aura donc recours à, au moins, deux vannes qui seront installées sur ces deux conduites principales (la Ø400 FD et la Ø400 AC) en amont des zones de desserte.

Tableau IV-3 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Sidi Slimane

Vanne	Projections des vannes	Contraintes de la zone de desserte	Consignes des vannes	Schémas explicatifs
VR1	<p>La première vanne est destinée à réguler les pressions du côté Ouest de la partie basse. Elle est projetée juste en amont de cette zone sur la conduite principale qui l'alimente (la Ø400 FD) à une cote de terrain d'environ 115 mNGA.</p>	<p>Juste à l'entrée de cette zone le réseau alimente des immeubles compris entre les cotes 110 mNGA et 115 mNGA (en rouge sur le schéma ci-contre), les nœuds alimentant ces derniers sont donc les points défavorables et la consigne de la vanne VR1 en dépendra. Les immeubles se trouvant sur les cotes les plus hautes (environ 113 mNGA) sont des R+5, à partir de la formule IV.1, on trouve que la pression nécessaire au niveau du nœud qui les alimente est de 32 mCE.</p>	<p>Afin de satisfaire cette pression au niveau de ce nœud en toute heure de la journée, la consigne qu'on suggère d'assigner à la vanne VR1 est de 35 mCE ; ainsi la perte de pression occasionnée par la vanne VR1 serait de l'ordre des 22 mCE.</p>	
VR2	<p>La consigne à assigner à la vanne VR1 ne permettrait pas de réguler toute les pressions au niveau des points les plus bas du côté Ouest, où les pressions moyennes journalières avant régulation tournaient autour des 80 à 90 mCE. On va donc projeter une deuxième vanne de régulation sur un tronçon du réseau qui relie la partie haute à la partie basse du côté Ouest à une cote de terrain d'environ 106 mNGA.</p>	<p>Cette partie du réseau n'alimente que des résidences individuelles qui, en général, ne dépassent pas les R+2, à partir de la formule IV.1, on trouve que la pression nécessaire au niveau des nœuds les alimentant est de 20 mCE ; il faut donc garantir cette pression au niveau des points les plus hauts (juste à l'aval de la vanne).</p>	<p>Pour satisfaire la pression nécessaire au niveau de ces points on suggère d'assigner une consigne de 25 mCE à la vanne VR2, ainsi la perte de pression occasionnée par cette vanne serait de l'ordre des 18 mCE.</p>	

Suite du tableau IV-3

<p>VR3</p>	<p>La troisième vanne (VR3) est destinée à la régulation des pressions du côté Nord-Est de la partie basse de l'étage Sidi Slimane. La vanne est projetée sur la conduite principale alimentant ce côté (la Ø400 AC), juste à l'aval du piquage de cette dernière sur la Ø400 FD qui alimente les réservoirs 2x1500 m³ route Chaïba à une cote de terrain d'environ 108 mNGA.</p>	<p>Au niveau des points les plus hauts de ce côté de la partie basse de l'étage (environ à la cote 95 mNGA) le réseau alimente des immeubles de 5 étages, il faudrait donc satisfaire au niveau des nœuds les alimentant une pression de 32 mCE.</p>	<p>Pour garantir cette pression on suggère d'assigner à la vanne VR3 une consigne de 23 mCE, afin de réduire la pression au niveau des nœuds critiques jusqu'à la limite acceptable tout en satisfaisant une pression de confort au niveau des nœuds alimentant les immeubles. La perte de pression générée par cette vanne serait de l'ordre des 40 mCE.</p>	
------------	--	--	---	--

▪ Modifications projetées



Figure IV-4 : Modifications projetées – Etage Sidi Slimane

A l'extrême Ouest de la partie basse de l'étage Sidi Slimane, une partie du réseau (entourée en marron sur la Figure IV-4 (a)) dont les pressions, bien qu'elles aient été réduites d'environ 22 mCE grâce à la vanne VR1, restent légèrement supérieures à la limite acceptable (environ entre 51 mCE pour le point le plus haut et 59 mCE pour le point le plus bas). Afin d'éviter de rajouter une autre vanne de régulation on suggère d'opérer quelques modifications (Figure IV-4 (b)) :

- Isolement de la zone par l'installation d'une vanne de sectionnement sur la conduite qui alimente la zone (la Ø110 PVC), qui resterait fermée et qu'on pourra toujours ouvrir en cas de problème.
- Connexion de cette zone avec la partie, dont les pressions ont été régulées grâce à la deuxième vanne VR2, par la pose d'une conduite Ø100 AG sur une longueur d'environ 60 à 65 m, en plus d'un changement de quelques tronçons sur une longueur d'environ 135 à 140 m allant du Ø40 AG au Ø100 AG pour éviter des pertes de charge et des vitesses trop importantes sur ces derniers.

IV.3.2 Etage Route Chaïba

Lors de l'analyse des pressions prédominantes dans notre réseau on avait remarqué que la majeure partie de l'étage Route Chaïba était sujette à des pressions excessives, excepté les points les plus hauts de l'étage où les pressions étaient acceptables. Néanmoins, malgré les pressions importantes, cet étage ne fait pas l'objet de variation de pression, par conséquent l'application de la réduction des pressions suffit.

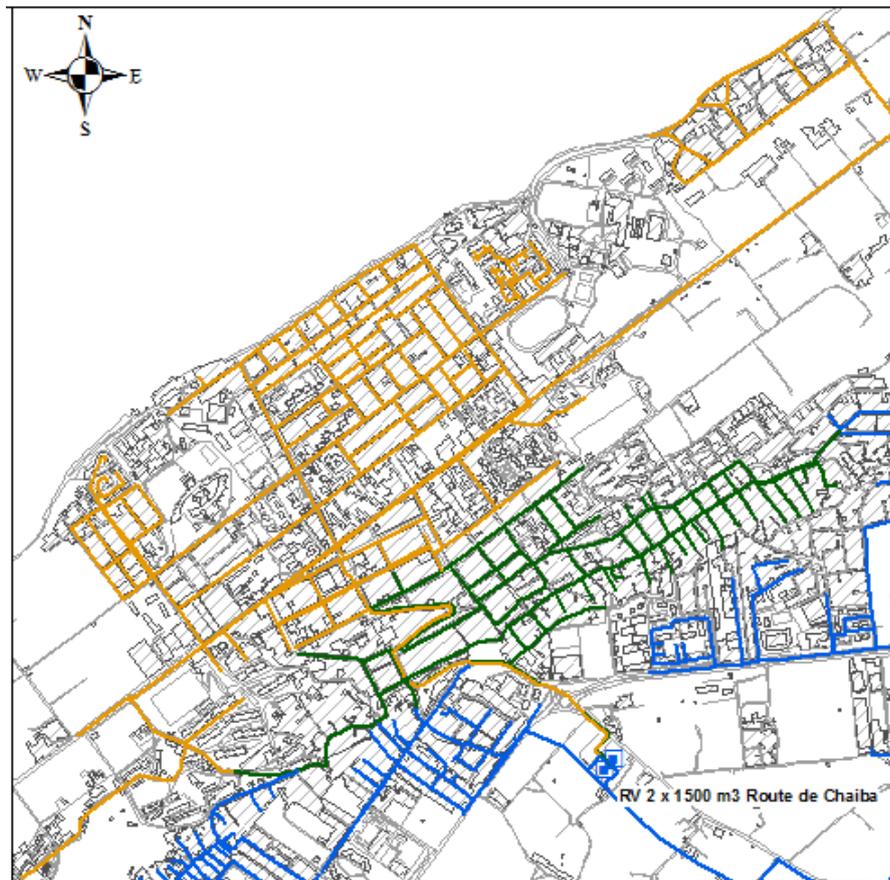


Figure IV-5 : Schéma explicatif de l'étage Route de Chaïba

Cependant cet étage se caractérise par une disposition du réseau relativement complexe. L'étage est alimenté à partir des réservoirs 2x1500 m³ route Chaïba par deux conduites, la partie haute de l'étage (en vert sur la Figure IV-5) est alimenté grâce à un piquage (à environ 76 mNGA de cote) en Ø250 AC sur la conduite Ø300 AC qui vient des réservoirs, cette dernière se prolonge en Ø200 AC jusqu'à environ la cote 51 m, où une vanne de sectionnement est fermée (point rouge) l'isolant ainsi du reste du réseau. La deuxième conduite (la Ø400 FD) alimente le reste du réseau (en orange sur la Figure IV-5).

La zone (en orange) desservie par la conduite Ø400 FD (qui se prolonge en Ø200 FD et AC à partir d'environ la cote 40,5mNGA) est la partie de l'étage qui subit les pressions importantes (allant des pressions de l'ordre de 60 mCE jusqu'aux pressions de l'ordre de 100 mCE au niveau des nœuds les plus bas, l'emploi d'une seule vanne ne suffirait pas à réguler toutes les pressions de cette zone ; quant à la zone (en vert) desservie par la conduite Ø300 AC subit majoritairement des pressions acceptables à l'exception des points les plus bas où les pressions sont excédentaires. Afin de minimiser le nombre de vannes à employer pour réduire les pressions, on a dû procéder à des modifications assez conséquentes.

- **Modifications projetées**

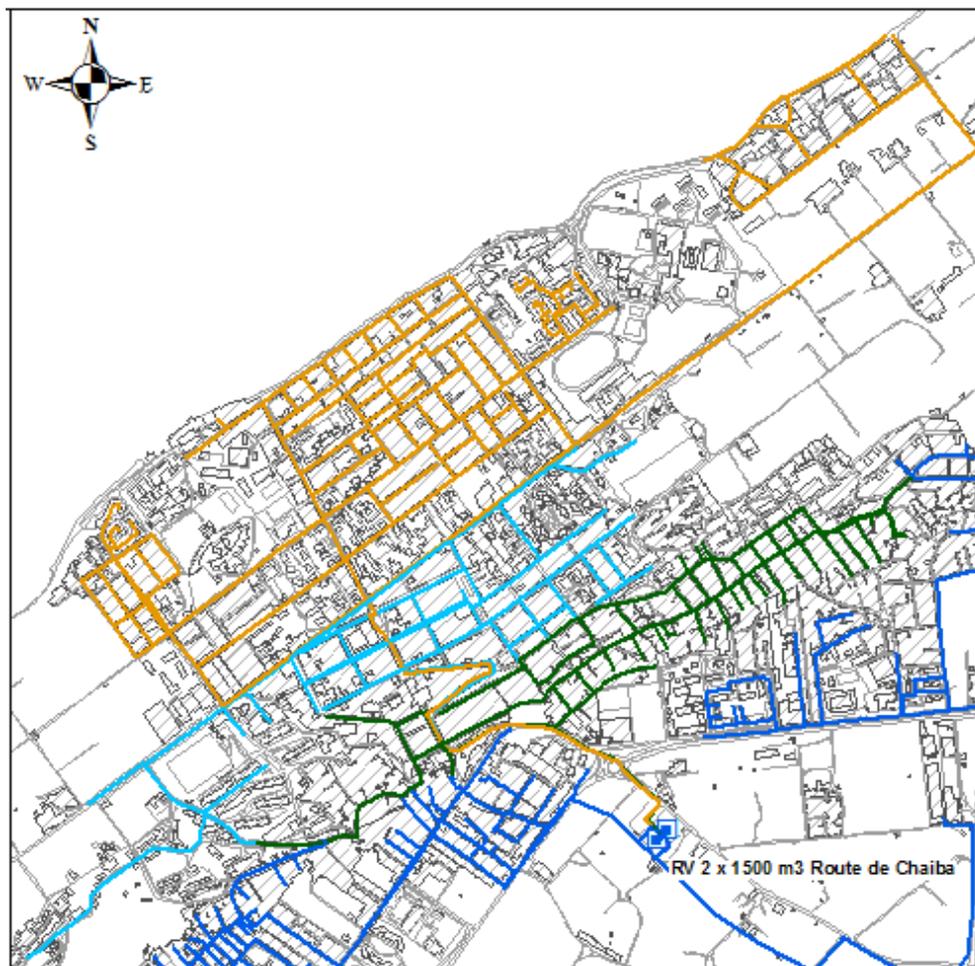
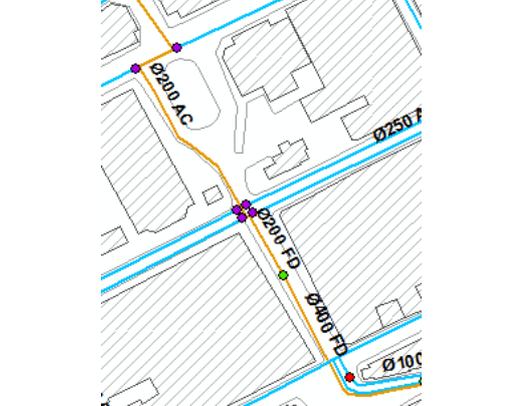


Figure IV-6 : Modifications projetées du schéma de distribution de l'étage Route de Chaïba

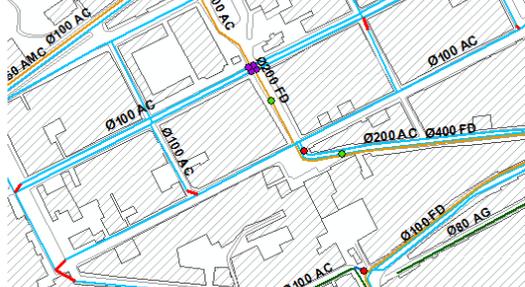
L'objectif des modifications suggérées pour cet étage, c'est la simplification du schéma de distribution de ce dernier, et ceci en dédiant la conduite Ø400 FD (qui se prolonge en Ø200 FD et AC) à l'alimentation de la partie basse, comprise entre la cote 30 m jusqu'au niveau de la mer (en orange sur la Figure IV-6) ; et la conduite Ø300 AC à l'alimentation du reste de l'étage, avec le piquage en Ø250 AC qui alimente la partie haute (en vert foncé sur la Figure IV-6) où les pressions sont acceptables et donc ne nécessite pas de régulation, et le prolongement de la Ø300 AC en Ø200 AC qui alimente le milieu de l'étage Route de Chaïba (en bleu clair sur la Figure IV-6).

Pour ce faire plusieurs modifications ont dues être faites, et sont résumées dans le tableau IV-4.

Tableau IV-4 : Modifications projetées pour l'étage Route de Chaïba

Modifications	Représentations
<ul style="list-style-type: none"> - Fermeture de plusieurs vannes et projection de vannes à fermer (en violet) pour isoler la conduite principale Ø200 FD - Ø200 AC (prolongement de la Ø400 FD) dédiée à l'alimentation de la partie basse. 	
<ul style="list-style-type: none"> - Fermeture d'une vanne de sectionnement du côté Nord-Est de l'étage, afin de séparer la partie basse de la zone du milieu (point rouge). Et réalisation d'une liaison, en Ø150 AC sur environ 13 m, entre les conduites Ø200 AC et Ø150 AC, pour créer un maillage à ce niveau (en rouge). 	
<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture de la vanne de sectionnement (en vert) à la cote 51 mNGA en extrémité de la conduite Ø200 AC, pour connecter la zone du milieu à cette dernière. 	
<ul style="list-style-type: none"> - Projection de vannes à fermer (en violet), pour séparer la zone haute de la zone du milieu, sur les tronçons Ø125 AC (pour les 3 en parallèle à gauche) et sur la Ø100 AC (celle de droite). 	

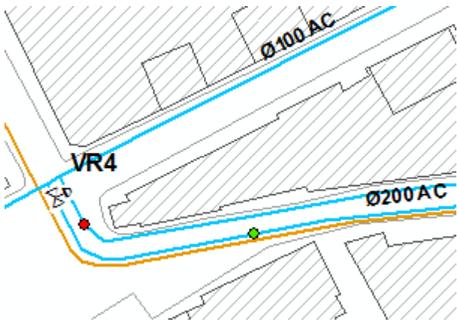
Suite du tableau IV-4

<p>- Projection de plusieurs extensions (en rouge) au niveau de la zone du milieu, pour connecter tous les tronçons et en même temps créer de nouvelles mailles, pour un total d'environ 58 m de linéaire en Ø100 AC et environ 5 m en Ø250 AC.</p>	
<p>- Dans la partie haute, extension du tronçon Ø80 AG (en rouge) sur environ 23 m, pour le mailler sur la conduite principale Ø200 AC (prolongement de la Ø300 AC).</p>	
<p>- Du côté Ouest de l'étage, remplacement d'un tronçon secondaire (Ø50 PEHD) par un une conduite Ø100 AC, et extension de cette dernière pour créer une maille de ce côté. Linéaire total d'environ 385 m.</p>	

▪ **Positions et consignes des vannes**

Les modifications suggérées pour l'étage Route de Chaïba, nous permettent de n'employer que deux vannes pour la régulation des pressions de ce dernier. Des vannes à installer sur les conduites principales alimentant la zone basse et la zone du milieu, la zone haute n'ayant pas besoin de régulation vu que les pressions y sont acceptables.

Tableau IV-5 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Route Chaïba

Vanne	Projections des vannes	Contraintes de la zone de desserte	Consignes des vannes	Schémas explicatifs
VR4	<p>La première vanne employée pour cet étage est destinée à réguler les pressions de la zone du milieu. Elle est projetée juste à l'entrée de la zone du milieu, à l'aval de la conduite Ø200 AC (prolongement de la Ø300 AC), à une cote de terrain d'environ 46 mNGA.</p>	<p>Les points défavorables de cette zone sont des points se trouvant à l'Ouest de l'étage et qui alimentent des immeubles de 4 à 5 étages, en appliquant la formule IV.1, on trouve que la pression nécessaire en ces points est d'environ 32 mCE ; aussi un autre point (de cote de terrain d'environ 55 mNGA) se situant dans une zone résidentielle et alimentant des habitations individuelles (en supposant qu'en général les habitations individuelles ne dépassent pas les 2 étages), la pression à satisfaire en ce point serait de 20 mCE.</p>	<p>Afin de garantir ces pressions en ces points, il faut assigner à la vanne VR4 une consigne de 33 mCE ; la perte de pression occasionnée par la vanne VR4 serait ainsi de l'ordre des 29 mCE.</p>	
VR5	<p>La deuxième vanne employée pour cet étage est destinée à réguler les pressions de la zone basse. Elle est projetée en amont de cette dernière, sur la conduite principale Ø200 AC (prolongement de la Ø400 FD), à une cote de terrain d'environ 31 mNGA.</p>	<p>Les points défavorables de cette zone se trouve vers le Nord-Est de l'étage et alimentent des immeubles de 5 étages, à partir de la formule IV.1, la pression nécessaire en ces points serait donc de 32 mCE.</p>	<p>Pour satisfaire cette pression en ces points, la consigne qu'il faudrait assigner à la vanne VR5 est de 25 mCE ; la perte de pression générée par la vanne VR5 serait de l'ordre des 51 mCE.</p>	

IV.3.3 Etage Haouch Saboune

Lors de l'analyse des pressions subites par le réseau dans l'étage Haouch Saboune, on avait remarqué qu'il se divisait en deux zones, la zone industrielle où les pressions étaient toutes acceptables et qui ne fera donc pas l'objet d'une régulation ; et la zone résidentielle qui s'étend de la cote 160 mNGA jusqu'à environ la cote 100 mNGA, cette dernière subissait des pressions très importantes, allant des pressions de l'ordre de 30 mCE au niveau des points les plus hauts, jusqu'à des pressions de l'ordre de 90 mCE au niveau du point critique. Néanmoins l'étage Haouch Saboune n'est quasiment pas sujet aux variations de pressions, donc l'application de la réduction de pression serait amplement suffisante.

▪ Modification projetées

Au niveau de l'étage Haouch Saboune peu de modifications ont été envisagées, excepté la projection d'une vanne de sectionnement à fermer (point violet sur le schéma ci-contre) afin de réduire les pressions en aval de celle-ci grâce à la vanne VR6. Aussi, on suggère de prolonger la conduite Ø90 PEHD (en rouge), afin de créer une nouvelle maille.

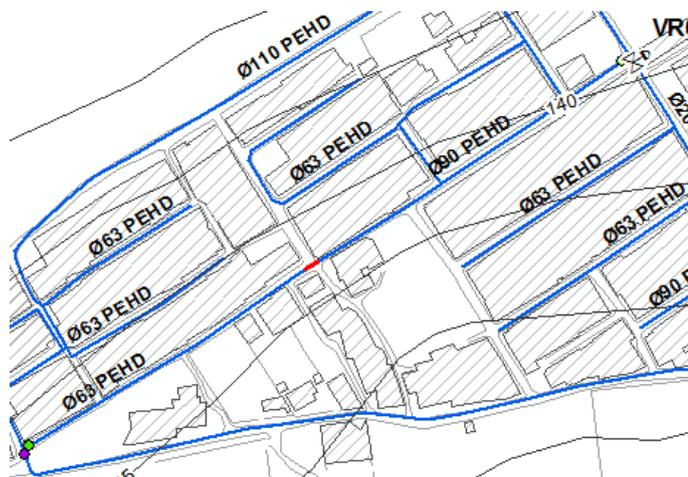


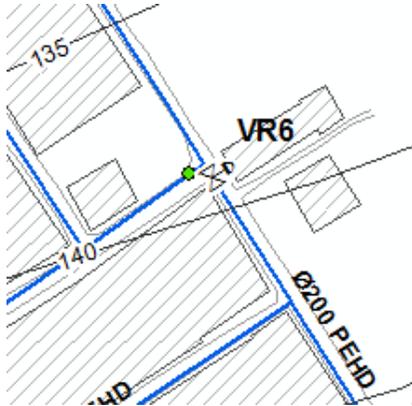
Schéma explicatif des modifications projetées

Comme déjà expliqué lors des chapitres précédents, l'alimentation de cet étage est renforcée par le château d'eau 1000 m³ Chaïg, et que dans le cadre de la gestion du réseau (lors du passage au 24H/24) il faudrait faire attention quant à la suffisance du volume, car le château d'eau est destiné à l'alimentation de la commune de Fouka et ne vient que renforcer l'alimentation de Bou Ismaïl. Dans cette optique, l'installation d'une vanne régulatrice de débit à la sortie du château d'eau Chaïg sur la conduite Ø110 PEHD peut être envisagée afin de limiter le débit d'eau délivré à l'étage Haouch Saboune ; la consigne de cette vanne dépendrait de la consommation de la commune de Fouka.

▪ Positions et consignes des vannes

L'écart important entre les pressions au niveau des points hauts et des points bas de la zone résidentielle ne nous permet pas d'employer une seule vanne pour réduire les pressions. En effet, si on voudrait réduire la pression au niveau des points critiques jusqu'à une pression inférieure à la pression limite acceptable (50 mCE), ce qui équivaldrait à une réduction de pression de plus de 40 mCE, la pression au niveau des points dont la pression est de l'ordre de 50 à 60 mCE deviendrait relativement faible ; et inversement, si on voudrait garder une pression de bon fonctionnement (20 à 40 mCE) au niveau des points dont la pression est de l'ordre de 50 à 60 mCE, la pression au niveau des points critiques resterait supérieure à la pression limite acceptable. De ce fait, pour avoir de bonnes pressions sur cette zone il va falloir projeter deux vannes.

Tableau IV-6 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Haouch Saboune

Vanne	Projections des vannes	Contraintes de la zone de desserte	Consignes des vannes	Schémas explicatifs
VR6	<p>La première vanne est projetée sur la conduite principale de la zone (la Ø200 PEHD) juste à l'amont des nœuds dont la pression est de l'ordre de 50 mCE et à une cote de terrain d'environ 139 mNGA. Elle est destinée à réduire la pression au niveau des nœuds juste à son aval jusqu'à des valeurs acceptables, et elle permettra aussi de réduire la pression des points critiques malgré que cela ne soit pas suffisant.</p>	<p>Bien que cette zone soit résidentielle, elle ne comporte aucun immeuble, toute les habitations sont individuelles ; par conséquent il faudrait satisfaire une pression d'environ 20 mCE au niveau des points juste à l'aval de la vanne.</p>	<p>On suggère donc d'assigner à cette vanne une consigne de 25 mCE ; la perte de pression occasionnée par la vanne VR6 varierait entre 19 et 22 mCE, selon les heures de consommation.</p>	
VR7	<p>La deuxième vanne est projetée plus en aval à une cote de terrain d'environ 116 mNGA, sur la conduite Ø160 PEHD (prolongement de la conduite Ø200 PEHD). Elle est destinée à réduire les pressions au niveau des points critiques jusqu'à la pression limite acceptable.</p>	<p>Pour les mêmes raisons que la vanne VR6, la pression qu'il faudrait satisfaire est d'environ 20 mCE, et ce au niveau des points juste à l'aval de la vanne VR7.</p>	<p>Pour cette vanne, on suggère d'assigner une consigne d'environ 25 mCE ; ainsi la perte de pression provoquée par cette vanne serait de l'ordre de 28 mCE.</p>	

IV.3.4 Etage Ben Derdjine

Lors de l'analyse des pressions subites par le réseau, on avait remarqué que l'étage Ben Derdjine est divisé en trois zones distinctes :

- La première étant la partie de l'étage la plus haute (en bleu clair sur la Figure IV-7), comprise entre les cotes 165 mNGA et 120 mNGA, où les pressions sont relativement bonnes avec peu de variations. Donc cette partie ne fera l'objet de régulation.
- La deuxième partie est la partie Ouest de l'étage (en orange sur la Figure IV-7), où la modification des diamètres de deux tronçons à due être opérée pour régler le problème de dépression. Les pressions au niveau de cette partie sont très variables, avec relativement de bonnes pressions aux heures de forte consommation mais qui deviennent assez importantes (dépassent la pression limite standard) aux heures de faible consommation.
- La troisième partie est la partie Nord-Est (en vert sur la Figure IV-7), où les pressions sont les plus importantes de tout le réseau. Cette partie aussi est sujette aux variations de pressions, avec des pressions qui restent très importantes à toutes les heures de consommation.

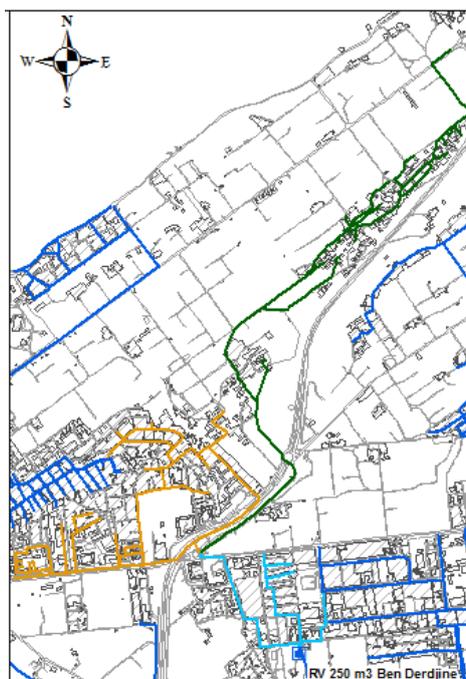
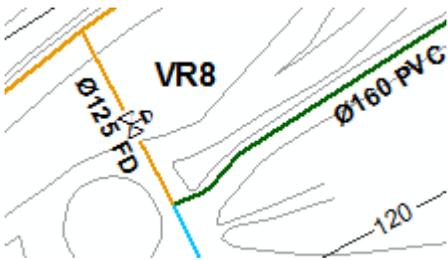
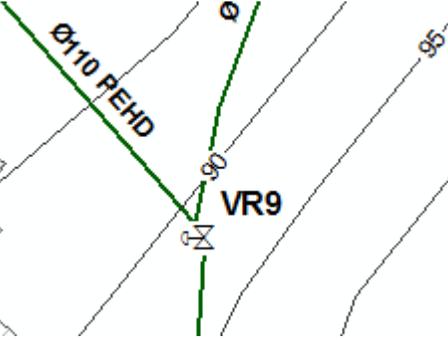
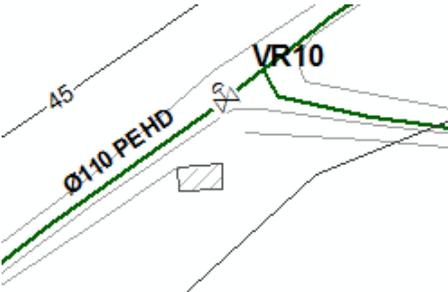


Figure IV-7 : Schéma explicatif de l'étage Ben Derdjine

▪ Positions et consignes des vannes

Vu la plage importante de pression dont fait l'objet la partie Nord-Est de l'étage (plus de 70 mCE de différence entre le point de plus faible pression et le point critique au niveau de cette partie), il est évident que l'emploi d'une seule vanne de régulation ne suffirait pas à réduire les pressions au niveau de tout les points de cette partie, on aura donc recours à au moins deux vannes. Quant à la partie Ouest, une vanne devrait suffire mais ce sera une vanne de modulation (stabilisateur de pression aval + appareil de contrôle de la consigne) et non une vanne de réduction simple (stabilisateur de pression aval). Pour notre cas on va opter pour une modulation en fonction du temps, c'est le concept de modulation de pression le plus simple à mettre en place et le moins couteux à entretenir.

Tableau IV-7 : Tableau des vannes projetées au niveau de l'étage Ben Derdjine

Vanne	Projections des vannes	Contraintes de la zone de desserte	Consignes des vannes	Schémas explicatifs
VR8	<p>La première vanne est celle destinée à la régulation des pressions de la partie Ouest. Elle est projetée sur la conduite en entrée de cette zone, à savoir la Ø125 FD, à une cote de terrain d'environ 118 mNGA.</p>	<p>Au niveau de cette partie, le réseau alimente des immeubles de 4 et 5 étages, par la formule IV.1, on trouve que la pression nécessaire au niveau des nœuds les alimentant est de 28 et 32 mCE respectivement. Il faudrait donc essayer de garantir plus ou moins ces pressions durant toutes les heures de la journée au niveau de ces nœuds.</p>	<p>Vu les variations de pression dont fait l'objet la partie Ouest, pour pouvoir satisfaire ces pressions au niveau de ces nœuds, il faudrait assigner à la vanne VR8 plusieurs consignes (elles sont résumées dans le tableau IV-8).</p>	
VR9	<p>La seconde vanne est destinée à réduire la pression globale de la partie Nord-Est de l'étage ben Derdjine, cependant cela ne sera pas suffisant pour réduire toutes les pressions. Elle est projetée sur la conduite Ø110 PEHD (prolongement de la Ø160 PVC), à une cote de terrain d'environ 92 mNGA.</p>	<p>La partie Nord-Est de l'étage Ben Derdjine, n'alimente que des habitations individuelles, la pression à satisfaire au niveau de ses nœuds est donc de l'ordre de 20 mCE.</p>	<p>On suggère d'assigner à la vanne VR9 une consigne de 25 mCE. La perte de pression occasionnée par la vanne VR9 varie d'environ 38 mCE aux heures de plus forte consommation jusqu'à environ 51 mCE aux heures de plus faible consommation.</p>	
VR10	<p>La troisième vanne (VR10), est destinée à réduire les pressions du reste de la partie Nord-Est. Elle est projetée sur la conduite principale Ø110 PEHD, un peu plus à l'aval de la vanne VR9 à une cote de terrain d'environ 47 mNGA.</p>	<p>Là aussi la pression à satisfaire pour le reste de cette partie est de l'ordre de 20 mCE.</p>	<p>Pour cette vanne on suggère donc d'assigner une consigne de 25 mCE ; ainsi la perte de pression occasionnée par cette vanne est de l'ordre de 35 à 37 mCE.</p>	

Remarques :

- Les consignes à assigner à la vanne VR8 dépendront des variations de pression de la partie Ouest de l'étage. Aux heures de faible consommation lorsque les pressions sont les plus importantes et les pertes de charges les moins importantes on assignera une consigne relativement faible, pour réduire au maximum les pressions ; inversement aux heures de forte consommation lorsque les pressions sont moins importantes et que les pertes de charge sont plus importantes, pour compenser cela, on assignera à la vanne une consigne plus importante.

Tableau IV-8 : Consignes à affecter à la vanne VR8

Périodes	Consignes	Perte de pression générée
De 00:00 à 08:00	25 mCE	De l'ordre de 23 mCE
De 08:00 à 10:00	31 mCE	De 11 à 14 mCE
De 10:00 à 13:00	35 mCE	De l'ordre de 4,5 mCE
De 13:00 à 21:00	31 mCE	De l'ordre de 14 mCE
De 21:00 à 00:00	25 mCE	Entre 21 et 23 mCE

Pour modéliser cette vanne en modulation sur logiciel de simulation hydraulique, il faudrait assigner à la vanne, qu'on nommerait VR8, la consigne correspondant à l'heure de début de simulation (dans ce cas ce serait une consigne de 25 mCE pour une simulation qui débiterait à 00:00), et introduire les lignes de commandes simples suivantes :

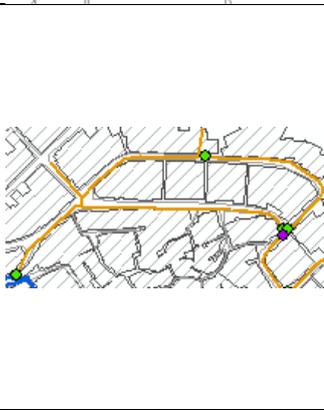
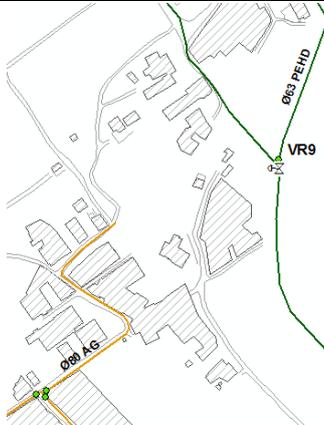
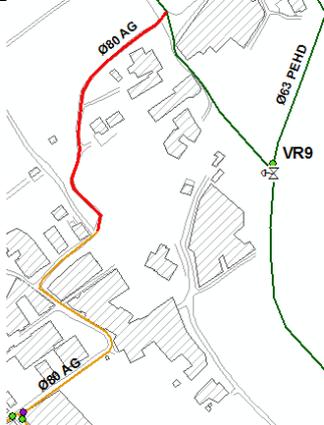
```
LINK VR8 31 AT CLOCKTIME 8 AM
LINK VR8 35 AT CLOCKTIME 10 AM
LINK VR8 31 AT CLOCKTIME 1 PM
LINK VR8 25 AT CLOCKTIME 9 PM
```

- Pour la vanne VR9, on remarque que la perte de pression générée par cette dernière varie en fonction du temps, ce qui est dû à la variation de la pression en amont de celle-ci. En observant la variation des pressions au niveau des points en aval de la vanne VR9, on constate qu'elle est minime voir négligeable. On en conclut donc que la variation de la pression observée avant la mise en place de la vanne de régulation pour cette partie de l'étage Ben Derdjine, était due à la variation de la pression au niveau des points en amont et non au régime de consommation. Par conséquent on se contentera d'une réduction de pression pour la partie Nord-Est, il n'y a plus lieu de recourir à la modulation de pression.

▪ **Modifications projetées**

Au niveau de cet étage trois principales modifications ont été projetées et sont résumées dans le tableau IV-9.

Tableau IV-9 : Modifications projetées pour l'étage Ben Derdjine

Modifications	Avant	Après
<p>- Modification de la limite avec l'étage Haouch Saboune, afin d'améliorer les pressions de quelques nœuds hauts de la première partie de l'étage Ben Derdjine. Ouverture des deux vannes fermées (en rouge sur la figure 'avant') et la fermeture d'une vanne en amont (en violet sur la figure 'après').</p>		
<p>- Modification de la limite avec l'étage Route de Chaïba, par l'ouverture d'une vanne fermée (en rouge sur la figure 'avant') et projetant une vanne à fermer (en violet sur la figure 'après'), afin de réduire les pressions, qui n'ont pas été suffisamment réduites par la vanne VR8, au niveau des points les plus bas de la partie Ouest.</p>		
<p>- Fermeture d'une vanne (en violet sur la figure 'après') et extension (en rouge) du tronçon Ø80 AG, sur une longueur d'environ 220 m, pour le connecter à la partie Nord-Est afin ce réduire les pressions au niveau de l'extrémité du réseau de la partie Ouest dont les pressions n'ont pas été suffisamment réduites par la vanne VR8.</p>		

IV.4 Choix/Dimensionnement des vannes

IV.4.1 Principe du choix/dimensionnement des vannes

Le choix (ou dimensionnement) des vannes passe par la vérification de certaines conditions, qui doivent être satisfaites pour garantir un bon fonctionnement de ces dernières, et se fait sur la base de certaines données. (Ben Hassen, 2012)

- **Données nécessaires au choix de la vanne :**
 - Le débit minimum traversant la vanne (à l'heure de faible consommation).
 - Le débit maximum traversant la vanne (à l'heure de forte consommation).

- Le débit maximum exceptionnel traversant la vanne (débit pour la lutte contre les incendies ou débit saisonnier par exemple).
- Pression amont maximum.
- Pression amont minimum.
- Pression aval régulée.

• **Cavitation :**

La cavitation est le changement de phase de l'eau, passant de l'état liquide à l'état gazeux, provoqué par certaines conditions de pression et de température.

Pour le cas des vannes de régulation, si, à température constante, la pression passe localement au dessous de la pression vapeur saturante, il y aura formation de bulles d'eau gazeuse et donc apparition de cavitation. Ceci risque de se produire lorsque la différence entre la pression amont et aval est trop importante.

Il est donc indispensable de s'assurer que les conditions de pression ne soumettent pas la vanne à un risque de cavitation. Le diagramme suivant (Figure IV-8) permet de vérifier cela.

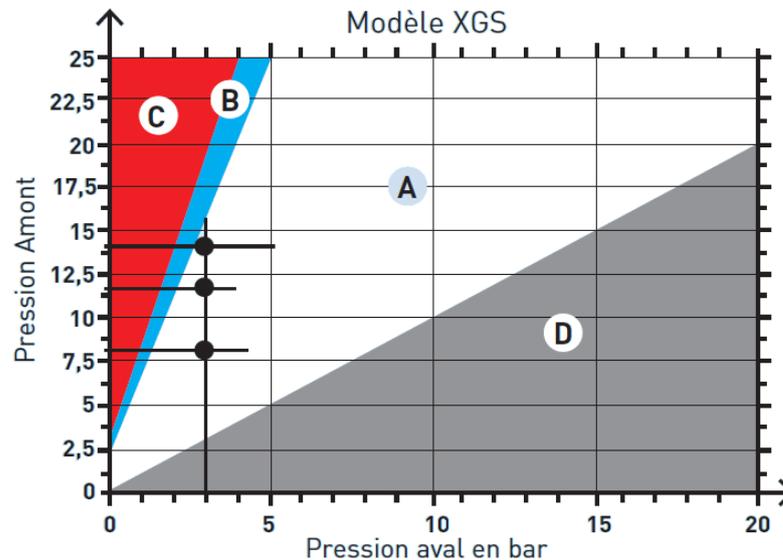


Figure IV-8 : Diagramme de cavitation du modèle d'un fabricant

- Avec :
- Zone A : Conditions hors cavitation.
 - Zone B : Zone d'utilisation sévère, prévoir un équipement mobile renforcé.
 - Zone C : Zone de cavitation, prévoir un dispositif dissipatif d'énergie anti-cavitation ou des vannes en cascade.
 - Zone D : Zone impossible, pression amont inférieure à pression aval.

Exemple : Pour une pression amont de 8 bars et une pression aval de 3 bars, on voit que ce modèle serait dans la zone de non cavitation.

Si jamais la différence de pression entre l'amont et l'aval est trop importante et qu'un dispositif dissipatif d'énergie anti-cavitation n'est pas suffisant, on peut envisager de poser de stabilisateur de pression aval en série, afin de partager la réduction de pression entre les deux.

- **Choix du diamètre :**

Pour le choix du diamètre de la vanne, on va introduire l'indice Kv qui peut être définie comme le débit pour lequel la vanne à pleine ouverture génère une perte de pression de 1 bar.

Ainsi le diamètre de la vanne sera compris dans une plage allant d'un diamètre minimum à un diamètre maximum déterminés de la manière suivante :

- Le diamètre minimum de la vanne est le plus petit diamètre pour lequel la perte de pression générée reste inférieure à 1 bar lors du passage du débit maximum, c'est-à-dire le plus petit diamètre pour lequel $Q_{max} < Kv$.
- Le diamètre maximum est le plus grand diamètre pour lequel, générer une perte de pression de 1 bar lors du passage du débit minimum ne nécessite pas une ouverture de la vanne inférieure à 15 %.

- **Vitesse d'écoulement dans la vanne :**

La vitesse d'écoulement optimale est comprise entre 3 et 5 m/s. dans des conditions exceptionnelles de débit, celle-ci peut aller jusqu'à 7 m/s.

La vérification des conditions de fonctionnement de la vanne peut être faite par le diagramme de fonctionnement (Figure IV-9).

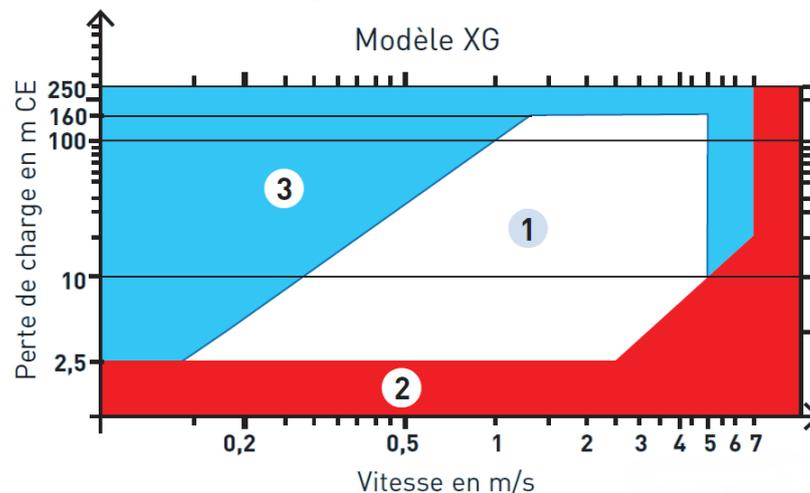


Figure IV-9 : Diagramme de fonctionnement d'un modèle d'un constructeur

- Avec :
- Zone 1 : Conditions optimales de fonctionnement.
 - Zone 2 : La perte de charge générée est trop faible, consulter le constructeur.
 - Zone 3 : Fonctionnement possible mais à éviter en régime permanent, consulter le constructeur.

- **Taux d'ouverture de la vanne :**

Il faut s'assurer que, dans les conditions de fonctionnement normal, le taux d'ouverture maximale de la vanne ne dépasse pas les 70 % à 75 % (selon les constructeurs). La marge de 15 à 30 % permet d'accepter un débit exceptionnel ponctuel. Le taux d'ouverture peut être contrôlé grâce au diagramme de contrôle du taux d'ouverture en fonction du Kv (%) (Figure IV-10).

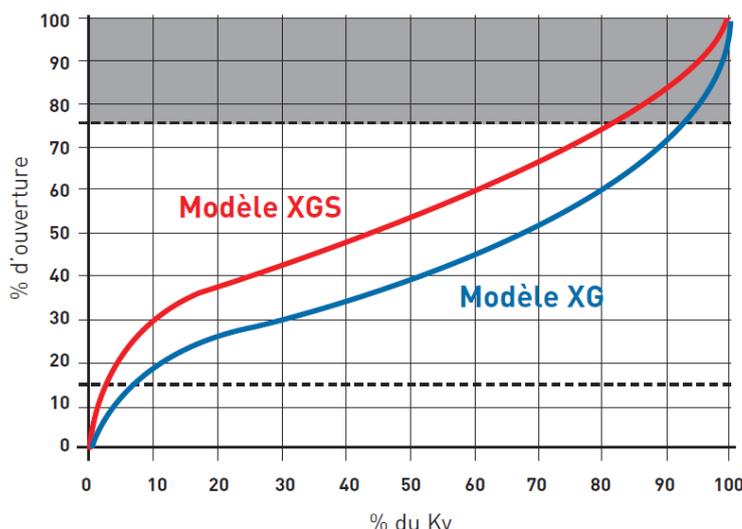


Figure IV-10 : Diagramme de contrôle des taux d'ouverture en fonction du Kv

N.B. : Les différents diagrammes de vérification présentés précédemment sont caractéristiques à un modèle précis, ces derniers peuvent varier pour d'autres modèles (même pour ceux du même constructeur).

IV.4.2 Choix des vannes projetées

On a vu que pour le choix des vannes certaines conditions doivent être respectées, et pour vérifier ces conditions il faut utiliser des diagrammes caractéristiques aux modèles.

Dans le cadre de notre présente étude, on va faire le choix de nos vannes parmi les modèles proposés par le fournisseur de la SEAAL. Ce dernier a créé une application qui permet de vérifier si toutes les conditions sont vérifiées pour un modèle donné, ce qui simplifie un travail qui peut être fastidieux.

Les données à introduire dans l'application :

- La pression amont (maximum) de la vanne.
- La pression aval réglé.
- Les débits maximum et minimum traversant la vanne.
- Le type et le diamètre de la vanne pour laquelle on voudrait vérifier les conditions de bon fonctionnement.

Tableau IV-10 : résultats de vérification des conditions de fonctionnement des vannes projetées

Vannes	Débits (l/s)		Pressions (bar)		Δp (bar)	Type	\varnothing (mm)	Taux d'ouverture (%)		Vitesses (m/s)	
	Max.	Min.	Amont	Aval				Max.	Min.	Max.	Min.
VR1	21,46	7,15	5,7	3,5	2,2	1	80	54	31,7	4,3	1,4
VR2	18,22	6,07	4,33	2,5	1,83	1	80	51	30,7	3,6	1,2
VR3	10,79	3,60	6,27	2,3	3,97	2	65	53	29,9	3,3	1,1
VR4	20,41	6,80	6,29	3,2	3,09	1	80	46	28,6	4,1	1,4
VR5	31,70	10,57	7,69	2	5,69	2	100	49	27,9	4	1,3

Suite du tableau IV-10

VR6	7,49	2,50	5,22	2,5	2,72	2	50	58	31,8	3,8	1,3
VR7	2,83	0,94	4,83	2,5	2,33	1	32	38	20,2	3,5	1,2
VR8	18,31	6,1	4,85	2,5	2,35	1	80	47	29	3,6	1,2
VR9	5,40	1,80	7,62	2,5	5,62	2	40	42	23,2	4,3	1,4
VR10	3,34	1,11	6,22	2,5	3,72	1	32	37	19,2	4,2	1,4

Avec : Δp : Perte de pression générée par la vanne ($\Delta p = P_{\text{amont}} - P_{\text{aval}}$).

\emptyset : Diamètre des vannes.

Les types 1 et 2 sont deux modèles différents proposés par le constructeur choisi.

N.B. :

- Pour la vanne VR8 qui est une vanne qui travaille en modulation, et qui a donc plusieurs valeurs de pression aval régulé, on a pris le cas défavorable, à savoir le couple pression amont – pression aval qui génère la perte de pression la plus importante.
- Les résultats obtenus lors de la vérification des conditions de bon fonctionnement par l'application sont consultable en annexe.

Conclusion

Lors de la mise en place d'un projet de régulation de pression sur un réseau donné, il serait judicieux de suivre une certaine procédure (création de zones de desserte (si ces dernières n'existent pas), projection des vannes de régulation en entrée de ces zones, modification des limites des zones si nécessaire, ... etc.), afin de réduire les pressions au maximum en employant le moins de vannes possible ; aussi l'analyse de la variation des pressions au niveau des zones nous permet de déterminer la forme de régulation à appliquer (la réduction de pression si il n'y a pas ou il y a peu de variation de pression et la modulation des pressions si les variations sont sensibles).

Pendant la phase d'étude de la régulation de pression, si l'on voudrait avoir une idée sur la façon dont se comporterait le réseau lors de la mise en place des moyens de régulation avant de passer à la phase de réalisation, il est tout à fait possible de la simuler sur les logiciels de simulation hydraulique. Ces derniers proposent tous les types de vannes de régulation existantes, aux quelles il faudrait assigner certaines données (la consigne notamment). Il est possible de simuler aussi bien la réduction de pression que la modulation de pression, pour la seconde forme il faudrait introduire des commandes (ce qui équivaut en pratique aux appareils électroniques de contrôle qu'on placerait sur les vannes de réduction de pression).

En ce qui concerne notre présent projet, on a tenté de réguler les pressions sur notre réseau d'étude en appliquant la procédure de mise en place la régulation de pression. Au final on est arrivé à la projection de 10 vannes de régulation (toutes de type stabilisateur de

pression aval car on est dans le cas d'une distribution purement gravitaire), 3 vannes dans chacun des deux étages Sidi Slimane et Ben Derdjine et 2 vannes dans chacun des deux étages Route de Chaïba et Haouch Saboune, avec plusieurs modifications sur le réseau (principalement modification des limites entre les étages par l'ouverture et la fermeture des vannes et projection de nouvelles extensions), l'étage Route de Chaïba est l'étage ayant fait l'objet des modifications les plus importantes.

Pour finir, on a essayé de faire le choix des vannes à employer à partir des modèles proposés par le fournisseur de la SEAAL (l'entreprise chargé de la gestion du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Bou Ismaïl).

Chapitre V : Comportement du réseau après régulation des pressions

Après analyse du comportement du réseau d'étude, on s'est aperçu que ce dernier était en grande partie sujet à des pressions excessives (dépassant la pression limite standard). On a donc procédé à la projection d'un ensemble de vannes de régulation censées réguler les pressions subites par le réseau. A travers ce chapitre, on va essayer d'analyser les résultats obtenus suite à la simulation faite en tenant compte des moyens de régulation des pressions ainsi que des modifications projetés, afin d'avoir une idée sur l'impact de la régulation sur le comportement du réseau.

V.1 Résultats et analyse

Afin d'avoir une idée sur le comportement du réseau après régulation des pressions on va analyser les résultats obtenus suite à la simulation, pour ce faire on va procéder de la même manière que lors de l'analyse faites durant le troisième chapitre, à savoir :

- Une analyse globale des nouvelles pressions prédominantes sur le réseau.
- L'édition de cartes thématiques représentant les nouvelles pressions moyennes journalières au niveau de chaque étage, afin de pouvoir apprécier leurs répartition.
- Comparaison des pressions moyennes des zones de fortes et de faibles pressions, aux heures de plus grande et plus faible consommation, d'avant et d'après régulation pour chaque étage.
- Analyse de la variation des la pression moyenne horaire de chaque étage pour voir l'impact de la régulation sur cette dernière.

N.B. : On rappelle que les pressions moyennes horaires sont des moyennes pondérées avec la demande de base comme coefficient de pondération, et sont déterminées par la formule (III.2).

- Détermination des écarts de pressions (ΔP) entre les pressions moyennes horaires (P_h) et les pressions horaires de certains points ($P_{i,h}$) (formule (III.3)), ainsi que leurs écarts-types (σ) (formule (III.4)) et leurs coefficients de variation (c_v) (formule (III.5)).

N.B. : Ceci nous permet d'apprécier la représentativité de la variation de la pression horaire moyenne globale des étages. Durant ce chapitre, cette étape ne sera appliquée que pour l'étage Ben Derdjine dont la variation de la pression horaire moyenne n'était pas représentative avant régulation des pressions. Pour le reste des étages (Sidi Slimane, Route Chaïba et Haouch Saboune), leurs variations de la pression horaire moyenne étaient assez représentatives ; et n'y ayant appliqué que la réduction des pressions leurs variations n'ont pas été affectées.

V.1.1 Commune

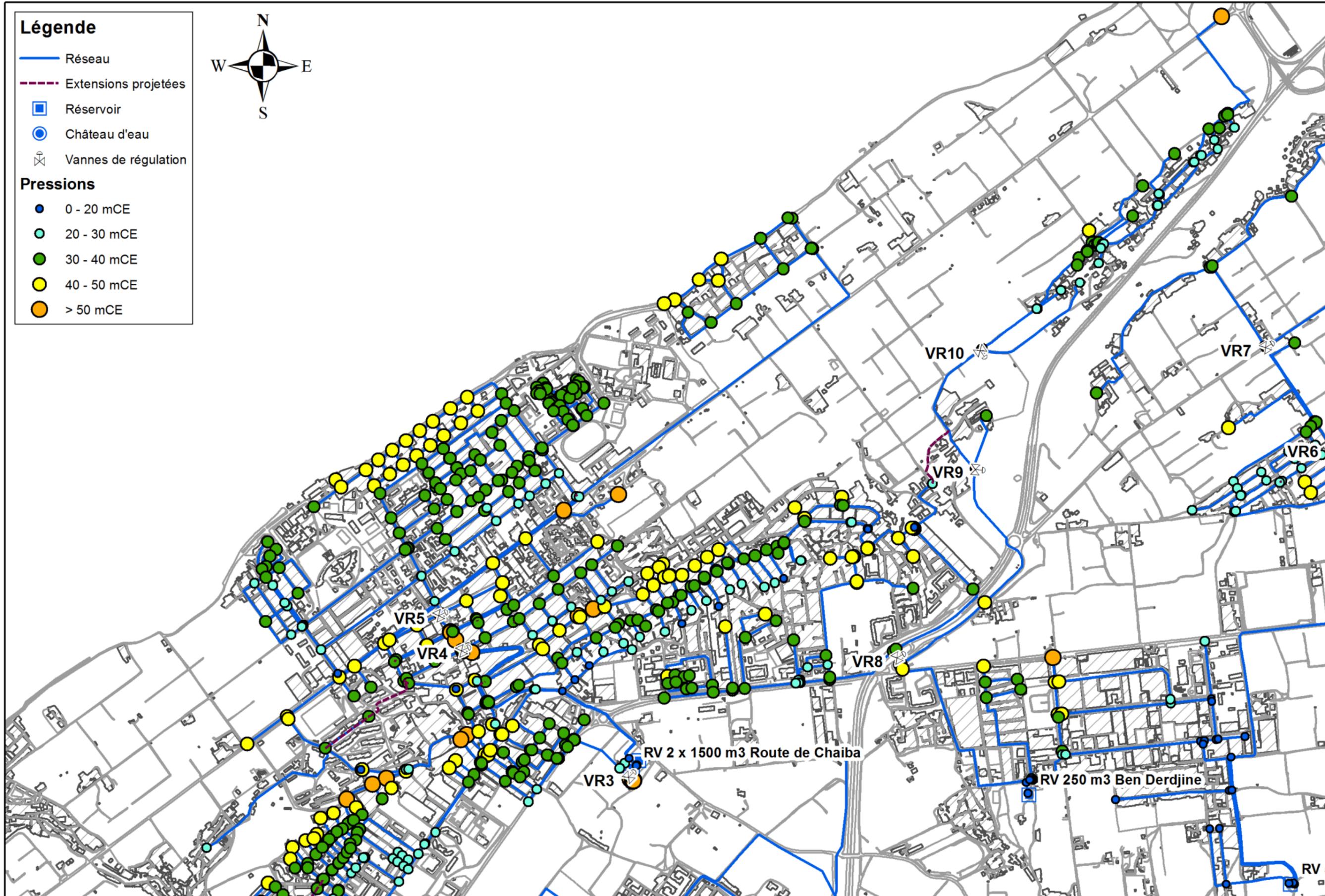


Tableau V-1 : Table des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune

Intervalles de pression (mCE)	Nombre de nœuds	Pourcentage des nœuds pour chaque intervalle (%)	Cumul des pourcentages au dépassement (%)
[0 - 10[	28	3,66	100,00
[10 - 20[	28	3,66	96,34
[20 - 30[	161	21,07	92,67
[30 - 40[	369	48,30	71,60
[40 - 50[	157	20,55	23,30
[50 - 55[	11	1,44	2,75
> 55	10	1,31	1,31
Total	764	100	\

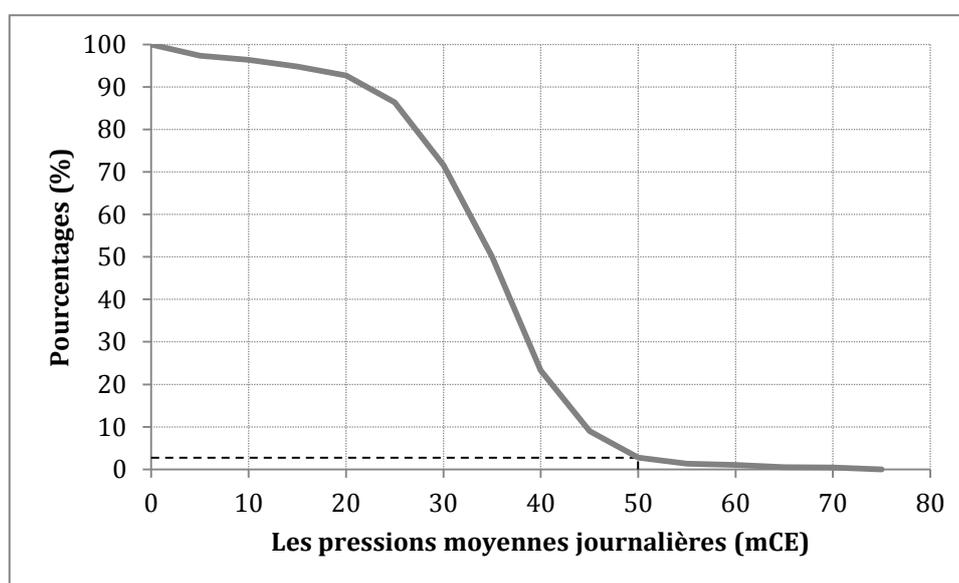


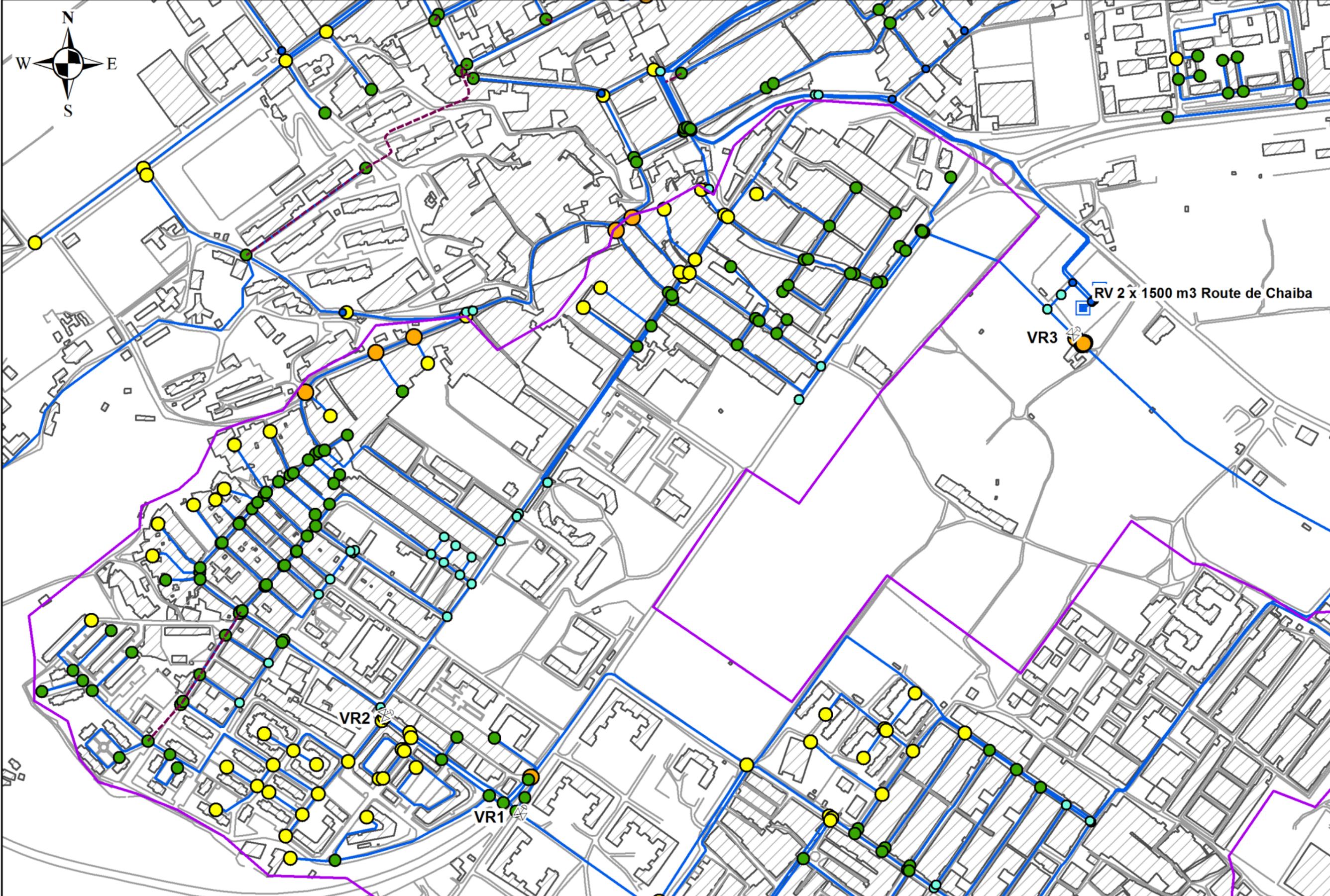
Figure V-2 : Courbe de cumul des pourcentages des pressions moyennes journalières - Commune

Commentaire :

Les résultats obtenus de la simulation après projection des moyens de régulation de la pression au niveau des différents étages du réseau, montrent que ces derniers ont joué leur rôle, les pressions sont rentrées dans l'ordre comme on peut le voir sur la « Carte des pressions moyennes journalières – Commune », toutes les zones précédemment soumises à des pressions qui dépassaient la pression limite standard sont devenues acceptables grâce aux vannes de régulation (stabilisateurs de pressions aval) projetées.

La « courbe de cumul des pourcentages des pressions moyennes journalières – Commune » (Figure V-2) vient confirmer cela. On voit sur le graphe que seul 2,75 % des nœuds du réseau ont des pressions supérieures à la pression limite standard, dont 1,44 % ont des pressions comprises entre 50 et 55 mCE, ces derniers (au nombre de 11 nœuds) sont les nœuds les plus bas des différents étages et dont les pressions en réalité ne dépassent même pas les 53 mCE. Pour les nœuds dont les pressions dépassent les 55 mCE, ce sont les nœuds situés en amont des vannes de régulation sur les conduites principales, ces valeurs de pressions sont donc logiques.

V.1.2 Etage Sidi Slimane



Commentaire :

En comparant les « Carte des pressions moyennes journalières – Etage Sidi Slimane » d’avant et d’après régulation, on remarque que la zone basse de cet étage, dont les pressions dépassaient assez largement la pression limite standard sur un réseau de distribution d’eau potable, a vu ses pressions être réduites au dessous de cette limite, à part quelques points (les plus bas) où la pression est à peine supérieure à la pression limite (d’environ 2 mCE au point le plus bas, ce qui est négligeable).

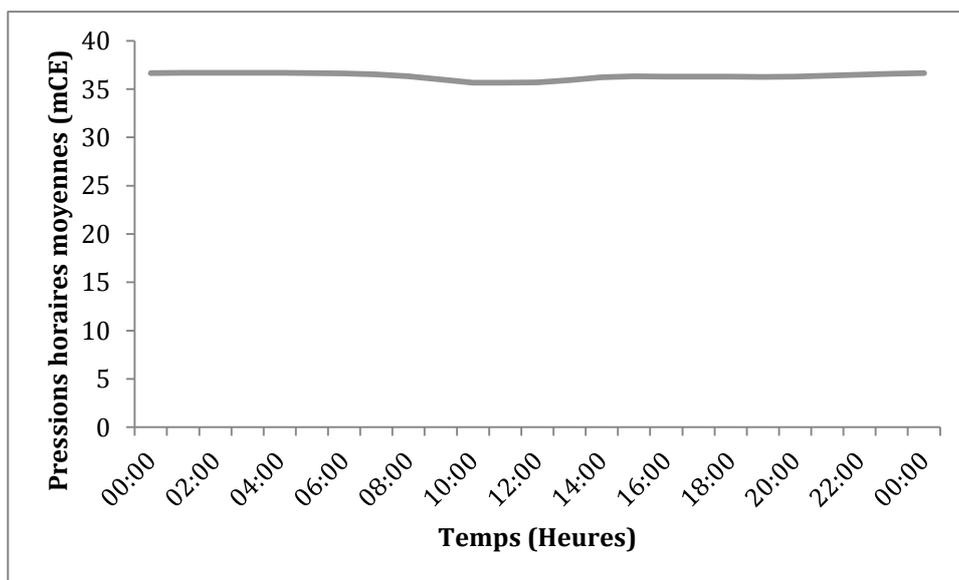


Figure V-4 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l’étage Sidi Slimane

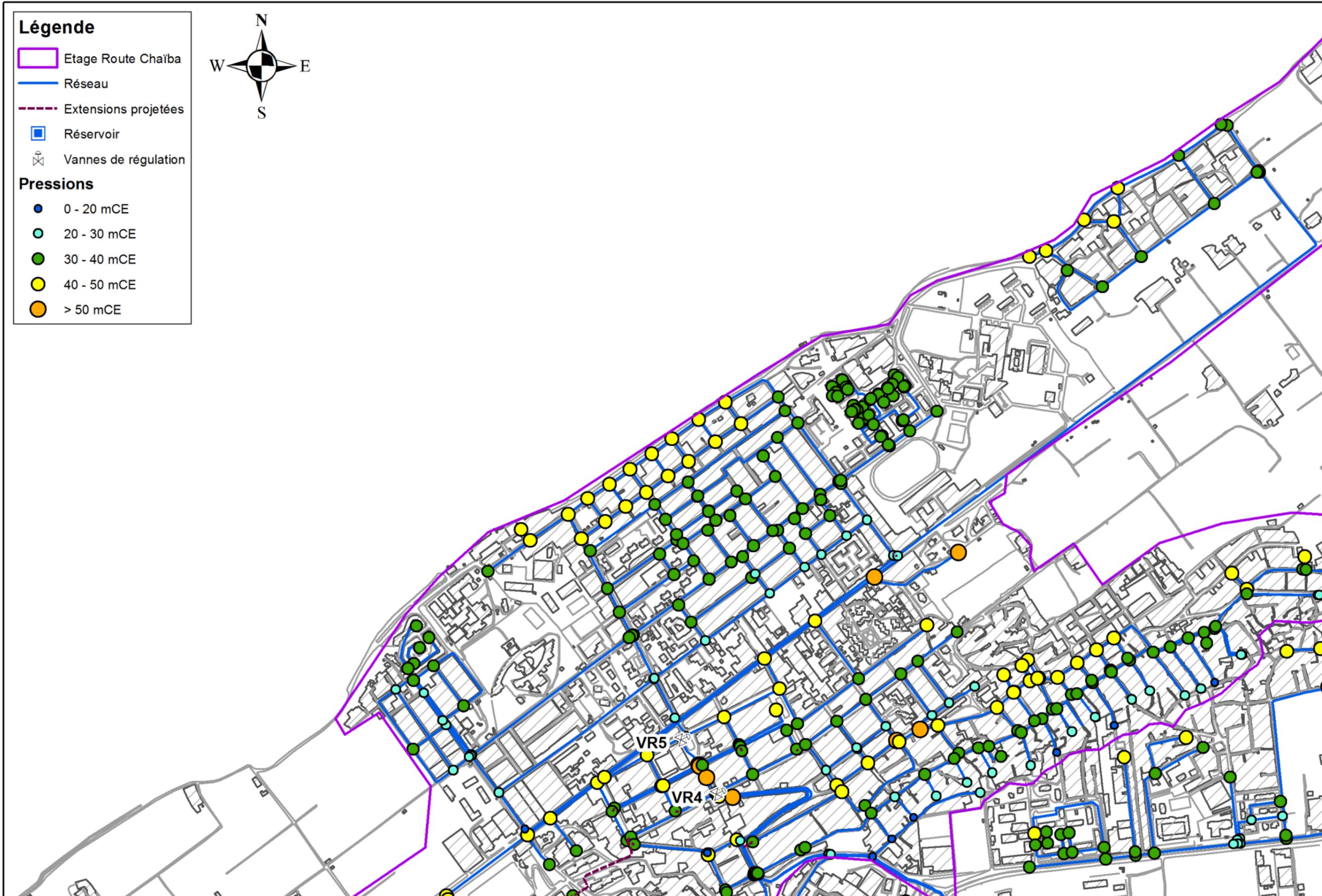
Commentaire :

Les pressions au niveau de l’étage Sidi Slimane variaient peu lorsque l’étage faisait l’objet de pressions importantes, ayant appliqué une réduction des pressions au niveau de cet étage, la variation de ces dernières n’a pas été affectée. Néanmoins à partir de ce graphe on peut constater que la pression moyenne horaire de l’étage s’est nettement améliorée descendant d’une moyenne d’environ 64 mCE avant régulation à une moyenne d’environ 36 mCE après régulation.

Tableau V-2 : Tableau comparatif de quelques pressions de l’étage Sidi Slimane avant et après régulation

		Pression moyenne de l’étage	Pression moyenne de la zone haute	Pression moyenne de la zone basse	Pression du point critique
Heure de plus grande consommation (11:00)	Avant	63,28 mCE	32,73 mCE	74,67 mCE	92,06 mCE
	Après	35,66 mCE	32,73 mCE	36,75 mCE	49,77 mCE
Heure de plus faible consommation (03:00)	Avant	64,66 mCE	33,80 mCE	76,18 mCE	92,46 mCE
	Après	36,68 mCE	33,80 mCE	37,76 mCE	52,21 mCE

V.1.3 Etage Route Chaïba



Commentaire :

A partir de la « Carte de pressions moyennes journalières – Etage Route Chaïba » d’après régulation et en la comparant à celle d’avant régulation (Figure III-6), on remarque que les pressions excessives dont souffrait une grande partie de l’étage Route Chaïba ont été réduites jusqu’à des valeurs inférieures à la pression limite standard, excepté trois ou quatre points ; néanmoins au niveau du point critique la pression limite standard n’est dépassée que de 1,5 mCE ce qui est négligeable. Le reste des points ou les pressions restent importantes, sont les points en amont des vannes de régulation.

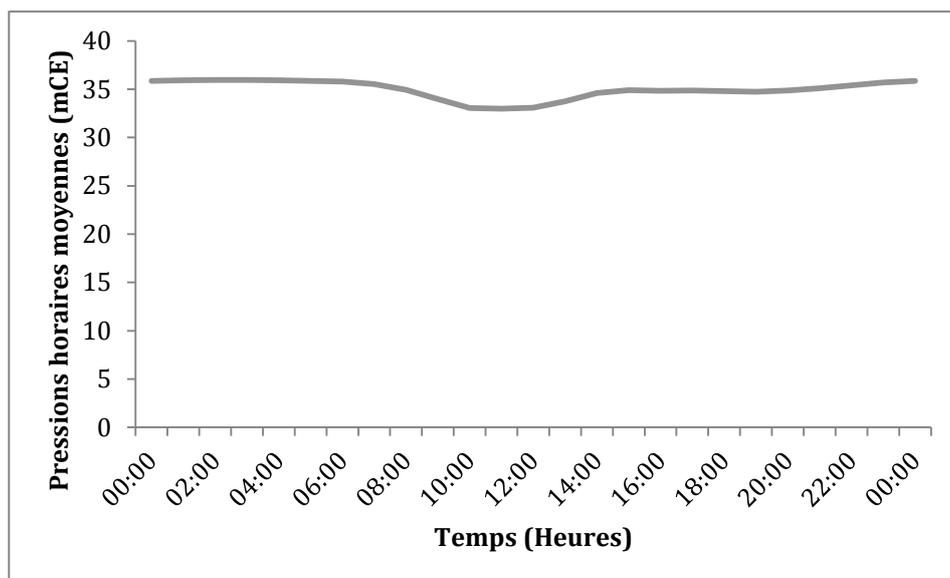


Figure V-6 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l’étage Route Chaïba

Commentaire :

Pour l’étage Route Chaïba aussi la variation de la pression moyenne horaire était très faible, et vu qu’on y a appliqué une simple réduction de pression, l’allure de la variation de la pression est restée inchangée. Cependant, à travers ce nouveau graphe (Figure V-6) on remarque que l’ordre de grandeur des pressions moyennes horaires a été considérablement réduit, allant de pressions de l’ordre des 65 mCE avant régulation à des pressions de l’ordre des 35 mCE après régulation.

Tableau V-3 : Tableau comparatif des pressions de l’étage Route Chaïba avant et après régulation

		Pression moyenne de l’étage	Pression moyenne de la zone haute	Pression moyenne de la zone basse	Pression du point critique
Heure de plus grande consommation (11:00)	Avant	66,97 mCE	31,61 mCE	80,54 mCE	99,57 mCE
	Après	33 mCE	31,61 mCE	33,51 mCE	40,17 mCE
Heure de plus faible consommation (03:00)	Avant	64,24 mCE	35,21 mCE	82,84 mCE	101,1 mCE
	Après	35,95 mCE	35,21 mCE	36,5 mCE	43,82 mCE

V.1.4 Etage Haouch Saboune

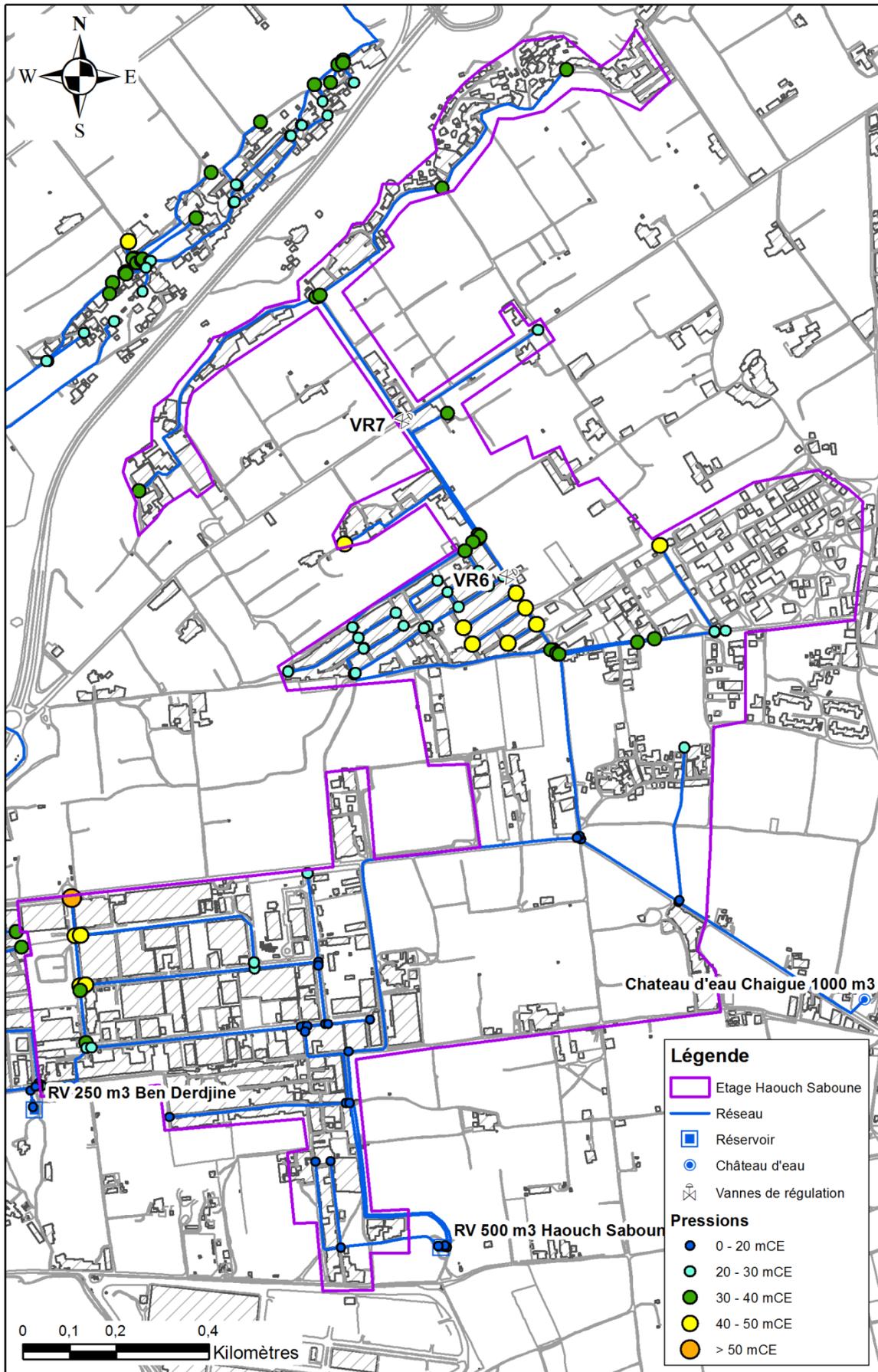


Figure V-7 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Haouch Saboune

Commentaire :

Pour cet étage on avait vu qu’il était scindé en deux zones distinctes, la zone industrielle qui ne connaissait pas de pressions excédentaires et la zone résidentielle qui, à l’inverse de la zone industrielle, était sujette à des pressions très importantes et qui a fait l’objet d’une régulation des pressions. Suite à quoi les pressions de cette zone ont été réduites au dessous de la pression limite standard.

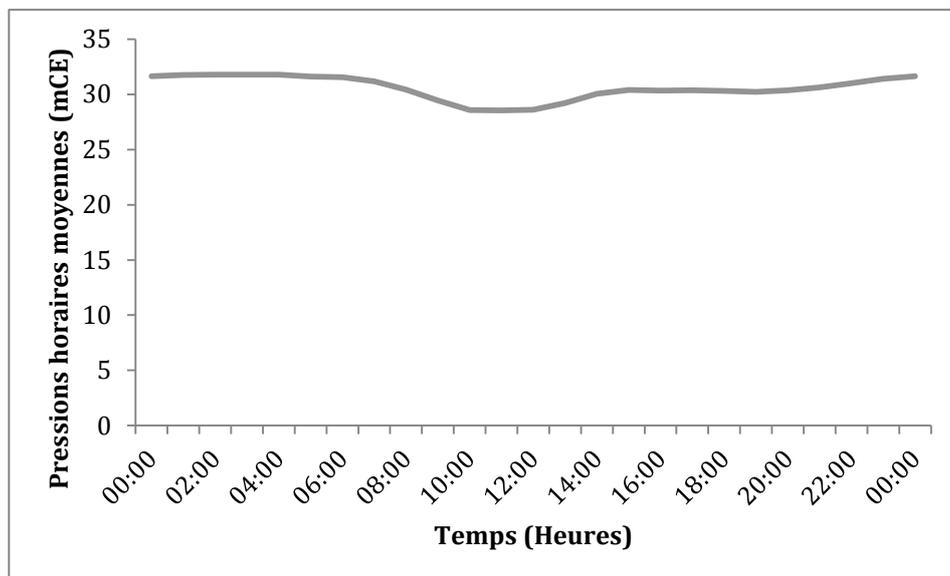


Figure V-8 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l’étage Haouch Saboune - zone résidentielle

Commentaire :

La zone industrielle de l’étage Haouch Saboune faisait l’objet de variation très faible (< 5 mCE), ce qui est relativement négligeable et ne nécessite donc pas le recours à la modulation de pression. Suite à la réduction des pressions au niveau de cette, l’allure de la courbe de variation des pressions moyennes horaires n’a pas changé, mais l’ordre de grandeur de ces dernières a significativement baissé, allant de pressions de l’ordre des 50 mCE avant régulation à des pressions de l’ordre des 30 mCE après régulation.

Tableau V-4 : Tableau comparatif de quelques pressions de l’étage Haouch Saboune avant et après régulation

		Pression moyenne de l’étage	Pression moyenne de la zone industrielle	Pression moyenne de la zone résidentielle	Pression du point critique
Heure de plus grande consommation (11:00)	Avant	33,57 mCE	17,42 mCE	47,24 mCE	87,06 mCE
	Après	23,62 mCE	18,22 mCE	28,53 mCE	39,12 mCE
Heure de plus faible consommation (03:00)	Avant	36,10 mCE	17,49 mCE	51,85 mCE	90,58 mCE
	Après	25,37 mCE	18,29 mCE	31,79 mCE	40,1 mCE

V.1.5 Etage Ben Derdjine

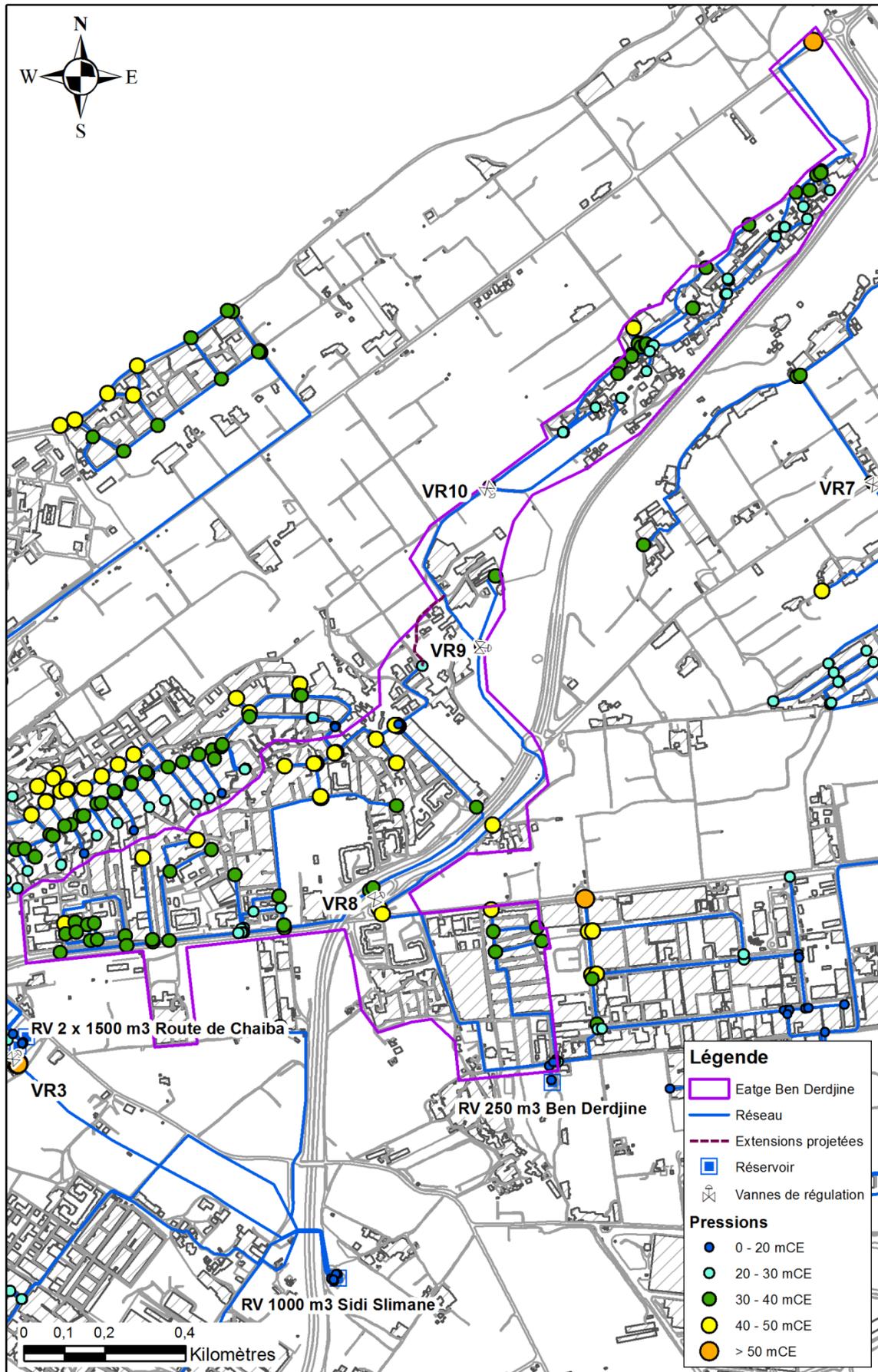


Figure V-9 : Carte des pressions moyennes journalières – Etage Ben Derdjine

Commentaire :

En comparant les « Carte des pressions moyennes journalières – Etage ben Derdjine » d’avant et d’après régulation, on remarque une nette amélioration des pressions subites par cet étage du réseau, particulièrement au niveau de la partie Nord-Est de ce dernier, où les pressions avant régulation dépassaient la barre des 70 mCE, alors qu’après régulation on voit que les pressions sont toutes inférieures à la pression limite standard excepté le point le plus défavorable du réseau, où cette limite n’est dépassé que de 1,26 mCE à l’heure de plus faible consommation. Quant à la partie Ouest, l’amélioration des pressions est moins visible sur la carte des moyennes journalières, car cette dernière souffrait des pressions excessives aux heures de faible consommation.

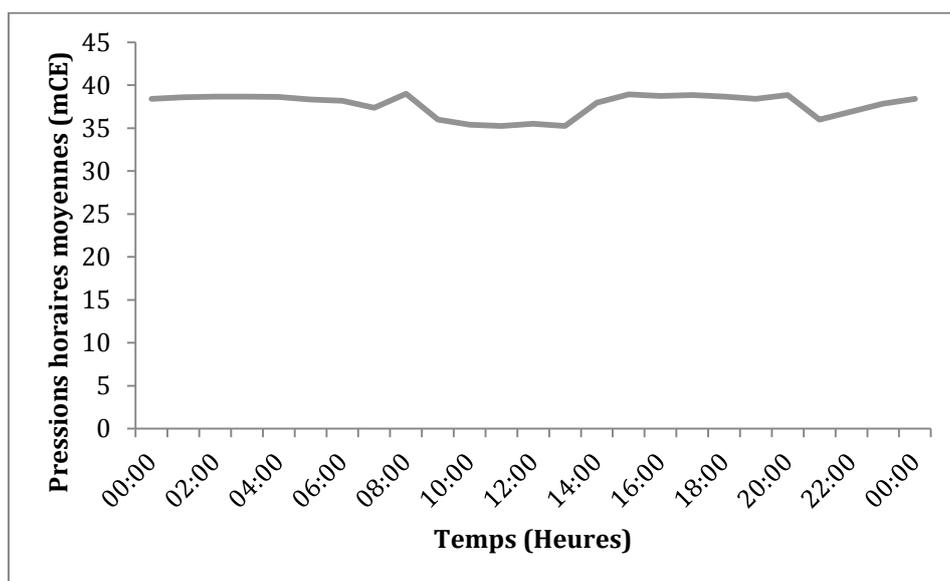


Figure V-10 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de l’étage Ben Derdjine

Commentaire :

A partir de la Figure V-10, on voit que l’allure du graphe de variation de la pression moyenne horaire de l’étage Ben Derdjine après régulation c’est nettement améliorée, la variation des pressions est comprise dans une plage de presque 4 mCE, alors qu’elle était d’environ 28 mCE avant régulation, avec des pressions moyennes de l’ordre des 35 mCE ; ceci est dû à la modulation des pressions appliquée au niveau de la partie Ouest de l’étage qui influence grandement sur les variations moyennes horaires de tout l’étage.

La variation de la pression de la partie Ouest de l’étage Ben Derdjine (Figure V-11) s’est elle aussi améliorée après la modulation des pressions, elle est comprise dans une plage d’environ 5,4 mCE, alors que cette dernière était de l’ordre des 40 mCE avant modulation. Quant à la variation de la pression de la partie Nord-Est de l’étage (Figure V-12), elle s’est stabilisée (il n’y a quasiment plus de variation) et ce après une simple réduction des pressions ; on en a conclu donc que la variation dont faisait l’objet cette partie de l’étage avant réduction des pressions était due aux variations de la pression au niveau des nœuds en amont et non au régime de consommation.

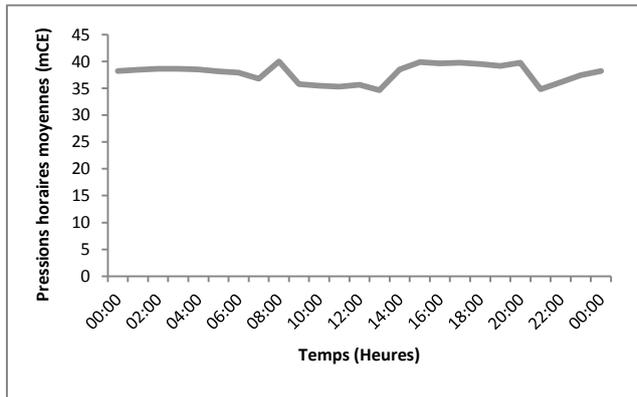


Figure V-11 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Ouest de l'étage Ben Derdjine

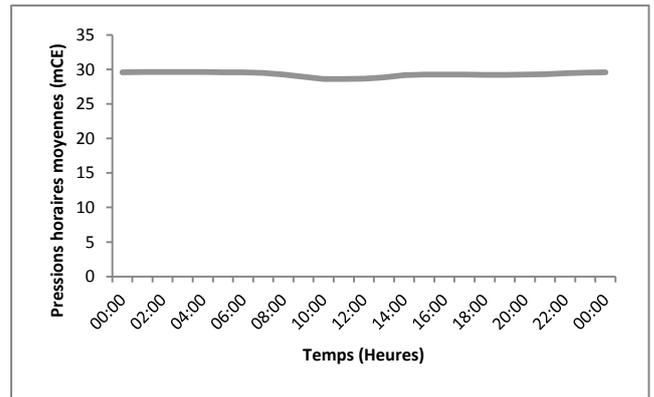


Figure V-12 : Graphe de variation de la pression moyenne horaire de la partie Nord-Est de l'étage Ben Derdjine

Il reste les nœuds juste en amont de ces deux zones qui n'ont pas fait l'objet de régulation (afin de maintenir des pressions suffisantes pour alimenter les immeubles qu'ils desservent), où il y a une certaine variation de pression d'environ 9 mCE (Figure V-13) ; néanmoins la régulation des pressions opérée sur cet étage a influencé sur la variation de la pression au niveau de ces points en la réduisant d'environ 4 mCE (variation de l'ordre des 13 mCE avant la régulation).

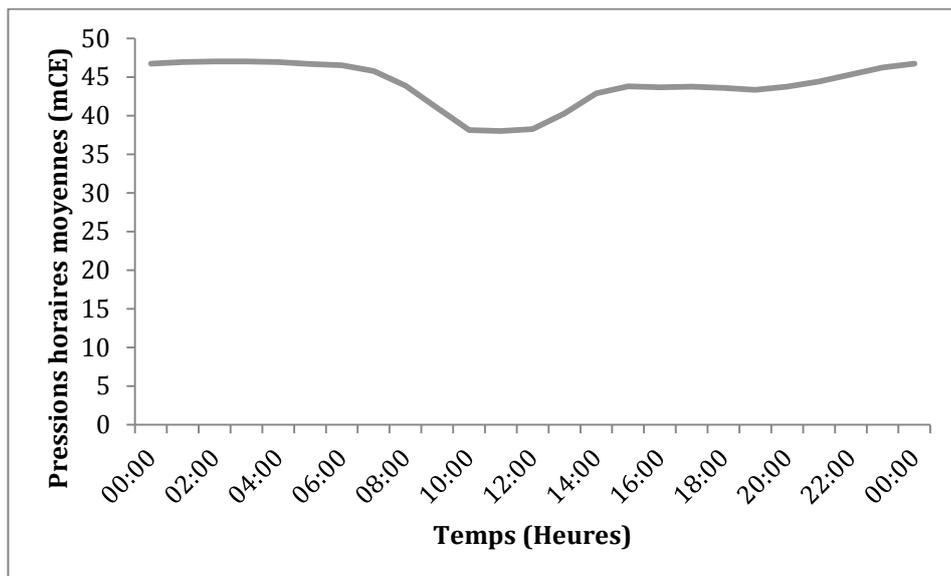


Figure V-13 : Graphe de variation de la pression au niveau des points juste en amont des parties Ouest et Nord-Est (Etage Ben Derdjine)

Représentativité de la variation de la pression horaire moyenne de l'étage Ben Derdjine :

On va tenter de voir si la représentativité de la variation de la pression horaire moyenne de l'étage Ben Derdjine après régulation des pressions s'est améliorée par rapport à l'avant régulation, bien qu'il soit évident qu'elle ne va pas l'être pour tous les nœuds de l'étage.

Tableau V-5 : Les écarts de pression des parties Ouest et Nord-Est de l'étage Ben Derdjine après régulation des pressions

Heures	P_h (mCE)	Partie Ouest						Partie Nord-Est						Nœud amont des deux parties	
		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen		Nœud à plus forte pression		Nœud à plus faible pression		Nœud moyen			
		$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)	$P_{i,h}$ (mCE)	$\Delta P_{i,h}$ (mCE)
00:00	38,39	48,19	9,80	29,59	-8,80	39,31	0,92	51,21	12,82	17,36	-21,03	30,37	-8,02	48,23	38,43
01:00	38,58	48,38	9,80	29,87	-8,71	39,68	1,10	51,24	12,66	17,38	-21,20	30,4	-8,18	48,41	38,61
02:00	38,67	48,47	9,80	30,01	-8,66	39,85	1,18	51,26	12,59	17,4	-21,27	30,41	-8,26	48,5	38,70
03:00	38,67	48,47	9,80	30,01	-8,66	39,85	1,18	51,26	12,59	17,4	-21,27	30,41	-8,26	48,5	38,70
04:00	38,63	48,43	9,80	29,94	-8,69	39,77	1,14	51,25	12,62	17,39	-21,24	30,41	-8,22	48,46	38,66
05:00	38,34	48,14	9,80	29,52	-8,82	39,22	0,88	51,2	12,86	17,35	-20,99	30,36	-7,98	48,18	38,38
06:00	38,19	47,99	9,80	29,29	-8,90	38,93	0,74	51,17	12,98	17,34	-20,85	30,34	-7,85	48,03	38,23
07:00	37,38	47,21	9,83	28,1	-9,28	37,39	0,01	51,04	13,66	17,24	-20,14	30,21	-7,17	47,24	37,41
08:00	39,01	51,29	12,28	31,19	-7,82	39,63	0,62	50,73	11,72	17,01	-22,00	29,93	-9,08	45,33	33,05
09:00	36,00	48,35	12,35	26,71	-9,29	33,84	-2,16	50,28	14,28	16,67	-19,33	29,51	-6,49	42,39	30,04
10:00	35,39	49,43	14,04	26,23	-9,16	32,07	-3,32	49,84	14,45	16,34	-19,05	29,11	-6,28	39,45	25,41
11:00	35,26	49,31	14,05	26,04	-9,22	31,83	-3,43	49,83	14,57	16,33	-18,93	29,1	-6,16	39,33	25,28
12:00	35,51	49,55	14,04	26,41	-9,10	32,31	-3,20	49,86	14,35	16,35	-19,16	29,13	-6,38	39,58	25,54
13:00	35,24	47,61	12,37	25,57	-9,67	32,38	-2,86	50,17	14,93	16,58	-18,66	29,41	-5,83	41,64	29,27
14:00	37,97	50,28	12,31	29,64	-8,33	37,63	-0,34	50,57	12,60	16,89	-21,08	29,78	-8,19	44,31	32,00
15:00	38,93	51,21	12,28	31,07	-7,86	39,47	0,54	50,72	11,79	17	-21,93	29,92	-9,01	45,25	32,97
16:00	38,76	51,05	12,29	30,82	-7,94	39,15	0,39	50,69	11,93	16,98	-21,78	29,9	-8,86	45,09	32,80
17:00	38,84	51,13	12,29	30,95	-7,89	39,31	0,47	50,7	11,86	16,99	-21,85	29,91	-8,93	45,17	32,88
18:00	38,68	50,97	12,29	30,7	-7,98	38,99	0,31	50,68	12,00	16,97	-21,71	29,88	-8,80	45	32,71
19:00	38,41	50,71	12,30	30,31	-8,10	38,49	0,08	50,64	12,23	16,94	-21,47	29,85	-8,56	44,75	32,45
20:00	38,84	51,13	12,29	30,95	-7,89	39,31	0,47	50,7	11,86	16,99	-21,85	29,91	-8,93	45,17	32,88
21:00	35,98	45,84	9,86	26,03	-9,95	34,7	-1,28	50,82	14,84	17,07	-18,91	30,01	-5,97	45,88	36,02
22:00	36,92	46,76	9,84	27,43	-9,49	36,51	-0,41	50,96	14,04	17,18	-19,74	30,15	-6,77	46,8	36,96
23:00	37,86	47,67	9,81	28,81	-9,05	38,3	0,44	51,12	13,26	17,3	-20,56	30,29	-7,57	47,71	37,90
00:00	38,39	48,19	9,80	29,59	-8,80	39,31	0,92	51,21	12,82	17,36	-21,03	30,37	-8,02	48,23	38,43
Moyenne	\	\	11,32	\	-8,72	\	-0,22	\	13,05	\	-20,68	\	-7,75	\	34,15
σ (mCE)	\	\	1,539	\	0,601	\	1,502	\	1,019	\	1,077	\	1,035	\	4,363
c_v (%)	\	\	13,60	\	-6,89	\	-669,65	\	7,80	\	-5,21	\	-13,36	\	12,78

Commentaire :

A partir des valeurs des coefficients de variation obtenus, en valeur absolue tous inférieures à 15 % excepté le nœud moyen de partie Ouest, on peut conclure que la représentativité de la variation de la pression moyenne horaire de l'étage Ben Derdjine est meilleure après régulation ; même au niveau du nœud amont des parties Ouest et Nord-Est, où on a vu que la variation de la pression moyenne horaire différée de la variation moyenne horaire globale de l'étage et dont l'écart-type est relativement élevé par rapport aux autres nœuds étudiés, la valeur du coefficient de variation obtenue indique une bonne distribution des écarts de pression par rapport à la moyenne de ces derniers. Quant au nœud moyen de la partie Ouest la valeur du coefficient de variation obtenue, qui est insensée, elle est due à la moyenne (en valeur absolue) des écarts de pression de ce nœud qui est inférieure à 1 ce qui explique la valeur du c_v obtenue.

Pour finir on peut dire qu'après modulation des pressions de la partie Ouest de et réduction de celles de la partie Nord-Est l'étage Ben Derdjine, la variation de la pression moyenne horaire globale de l'étage est devenue plus représentative qu'elle ne l'était avant régulation.

Conclusion

De l'analyse faites durant ce chapitre, on a remarqué que les moyens projetés afin de réguler les pressions sur notre réseau ont été assez efficaces. Les résultats de la simulation indiquent qu'après régulation, les pressions subites par ce réseau sont devenues à 97,25 % inférieures à la pression limite standard (50 mCE), un chiffre qui prend sens lorsqu'on voit que toutes les zones qui souffraient de pressions excessives, à l'image de la partie basse de l'étage Sidi Slimane ou la partie Nord-Est de l'étage Ben Derdjine ou encore les 70 % de l'étage Route Chaïba, ont vu leurs pressions être réduites jusqu'à la pression limite standard.

Aussi, le deuxième impact positif de la régulation des pressions sur les pressions prédominantes dans le réseau, est la réduction des variations des pressions observée au niveau de l'étage Ben Derdjine et son influence sur la représentativité de la variation de la pression moyenne horaire de ce même étage.

Conclusion générale

A travers ce projet on a vu qu'avant de se lancer dans une étude de régulation des pressions sur un réseau donné, une certaine connaissance de ce dernier et de son comportement était nécessaire. Dans cette optique, lors de notre étude on a eu recours à la création d'un modèle hydraulique, qu'on a tenté de faire aussi représentatif que possible de l'état actuel du réseau étudié. Pour ce faire on s'est basé sur le tracé du réseau sous logiciel SIG ; afin de pouvoir faire cela (créer un modèle hydraulique à partir du tracé du réseau sous logiciel SIG) il est nécessaire que certaines conditions concernant la qualité du tracé soient vérifiées, dont on peut citer : coïncidence des extrémités des lignes/polylignes (conduites) avec des point (nœuds), pas de point (nœud) libre qui ne coïncide avec aucune extrémité, continuité du tracé par rapport à un point qui représenterait une source (bâche ou réservoir par exemple), ... etc. Aussi vu le manque de données auquel on a du faire face, certaines hypothèses ont dues être posées (répartition de la consommation, régime de consommation de la commune, rugosités à affecter aux conduites, ... etc.) afin de compléter les données nécessaires à la création du modèle hydraulique.

Une fois le modèle créé et la simulation faite, on a essayé de faire une analyse des résultats obtenus. On ainsi remarqué que la majeure partie (presque 65 %) du réseau étudié était soumise à des pressions excessives (qui dépassent la pressions limite acceptable (50 mCE)) dues à la dénivelée importante du terrain. L'étage Route Chaïba était le plus touché par les pressions excessives alors que l'étage Ben Derdjine était celui qui subissait les pressions les plus importantes au niveau de sa partie Nord-Est avec le point le plus défavorable où la pression moyenne journalière était de l'ordre des 135 mCE. Quant à la variation des pressions, on a vu que seul l'étage Ben Derdjine y était sujet avec une variation entre les heures de plus grande et de plus faible consommation d'environ 28 mCE.

Après cette analyse et détermination des zones les plus sujettes aux pressions excédentaires, on a entrepris la projection des vannes de régulation de pression sur le réseau. Il existe plusieurs types de vannes de régulation (vannes stabilisatrice de pression amont, vanne stabilisatrice de pression aval, ... etc.), vu que sur le réseau étudié la distribution est purement gravitaire, toutes les vannes employées sont des vannes stabilisatrice de pression aval (parfois appelée aussi vanne réductrice de pression). Pour réguler les pressions on a tenté d'appliquer la procédure présentée dans ce présent document (travailler sur des zones limitées au lieu de tout le réseau, projections de vannes en entrée de zone, application de la modulation des pressions seulement quand il y variation des pressions, ... etc.), et on est arrivé à la projection de 10 vannes de régulation pour pouvoir réduire les pressions jusqu'à la limite acceptable (2 vannes au niveau des deux étages Route Chaïba et Houch Saboune et 3 vannes au niveau des étages Sidi Slimane et Ben Derdjine). Toutes les vannes sont projetées pour être employées pour une réduction des pressions (consigne de réduction des pressions constante dans le temps), excepté la vanne VR8 (au niveau de l'étage Ben Derdjine) qui travaille en modulation des pressions (consigne de réduction des pressions variable dans le temps) pour essayer d'absorber les variations de pression importantes dont faisait l'objet la partie Ouest de cet étage. Aussi plusieurs modifications (notamment : ouverture/fermeture de vannes de sectionnement,

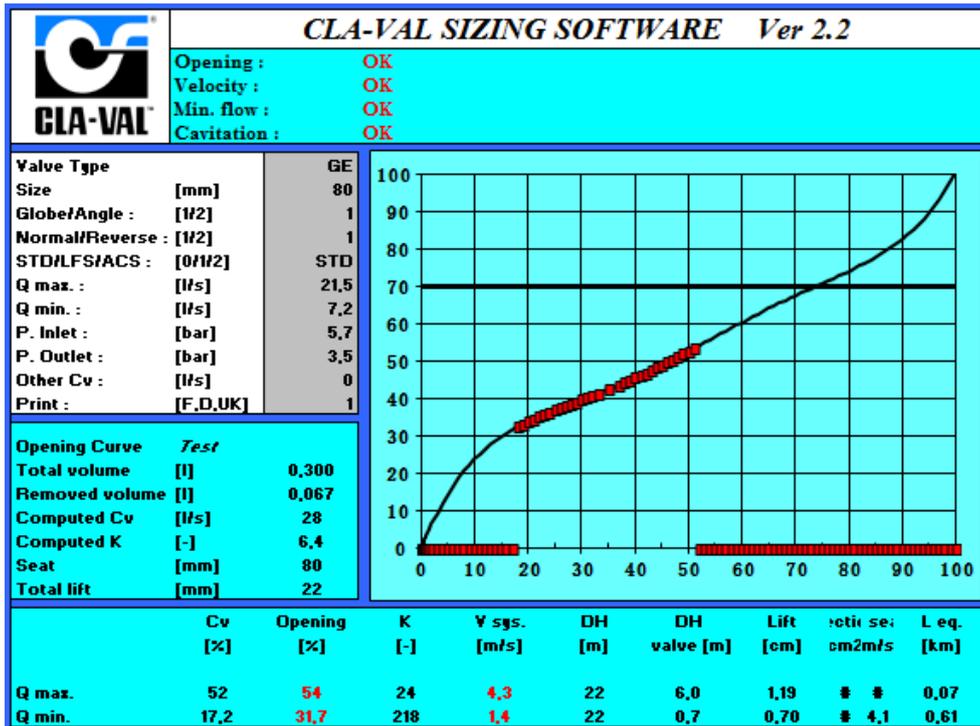
extension de certains tronçons, création de nouvelles mailles) ont dues être projetées pour réduire au maximum le nombre de vannes de régulation employées.

Une fois ces moyens de régulation des pressions projetés, une deuxième simulation, prenant en compte ces derniers, a été faite. A travers l'analyse des résultats de cette seconde simulation on a remarqué que les vannes de régulation projetées ont permis de réduire de manière relativement efficace les pressions dont le réseau étudié faisait l'objet, passant ainsi de presque 65 % du réseau qui souffre de pressions excédentaires (> 50 mCE avec des pressions en certains points atteignant presque le triple de cette valeur) à des pressions acceptables sur la quasi-totalité du réseau (excepté quelques points (les plus bas) où les pressions n'ont pas pu être réduite au dessous des 50 mCE, mais ne la dépasse que de quelques mCE) ; la variation de pression dont faisait l'objet l'étage Ben Derdjine a, elle aussi, été réduite.

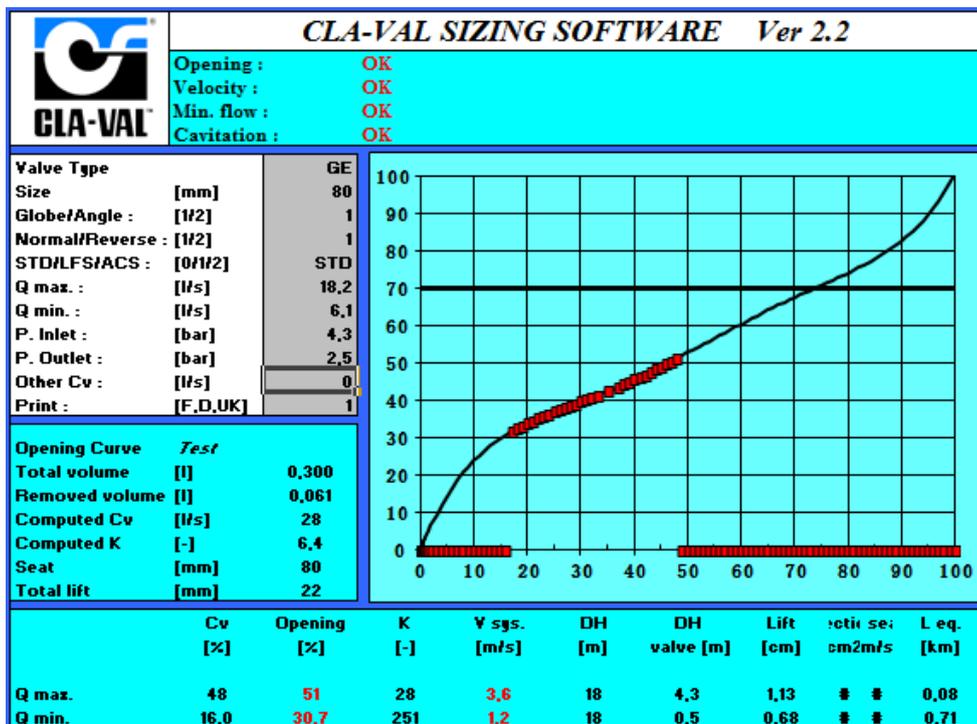
Bibliographie

- BAYARD. *Le système Hydrobloc - Série K Généralités*.
- BEN HASSEN, Floriane. *Caractérisation et évaluation de la pression moyenne minimale d'une zone de desserte d'un réseau d'alimentation en eau potable*. 2012.
- EPANET 2.0 - *Simulation Hydraulique et Qualité pour les Réseaux d'Eau sous Pression - Manuel de l'Utilisateur (Version française)*. 1 septembre 2003. Générale des eaux.
- FORCE, IWA Water Loss Task et THORNTON, Julian. Managing leakage by managing pressure: a practical approach. *Water 21* [en ligne]. 2003. [Consulté le 22 avril 2017]. Disponible à l'adresse : <http://env1.kangwon.ac.kr/leakage/2009/knowledge/papers/pressure/WaterLoss-Oct%20ABS.hwp>
- IRSTEA. Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable : Systèmes d'indicateurs et méthodologies pour la définition, la conduite et l'évaluation des politiques de lutte contre les fuites dans les réseaux d'eau potable. [en ligne]. 2012. [Consulté le 23 avril 2017]. Disponible à l'adresse : <https://pdfs.semanticscholar.org/a2c3/b96d082ddd543f59e6ffcf5a58ae9693fd2.pdf>
- IRSTEA. *Réduction des pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau potable*. novembre 2014.
- LAMBERT, Allan. What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems. In : *IWA Conf. n Systems approach to leakage control and water distribution system management* [en ligne]. Citeseer, 2001. [Consulté le 24 avril 2017]. Disponible à l'adresse : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.7105&rep=rep1&type=pdf>
- MAHBOUB, Abdellatif. *Diagnostic et conception d'un réseau d'alimentation en eau potable par la modulation de pression : Application à l'étage de Bologhine*. octobre 2011. 1-0021-11/01
- MCKENZIE, Ronnie et WEGELIN, W. Implementation of pressure management in municipal water supply systems. In : *EYDAP Conference « Water: The Day After », Greece* [en ligne]. 2009. [Consulté le 23 avril 2017]. Disponible à l'adresse : [http://www.miya-water.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/3 DMA's Pressure management/03 Implementation%20of%20pressure%20management%20in%20municipal%20water%20supply%20systems.pdf](http://www.miya-water.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/3_DMA_Pressure_management/03_Implementation%20of%20pressure%20management%20in%20municipal%20water%20supply%20systems.pdf)
- MEYER, N., LIEMBERGER, R. et HEIMANN, A. Tailoring the Specifications for Pressure Reducing Valves. [en ligne]. 2009. [Consulté le 10 août 2017]. Disponible à l'adresse : <https://pdfs.semanticscholar.org/b1e8/914f64858a33b4e82926fc207bcf880490be.pdf>
- SOUTTER, Marc, MERMOUD, André et MUSY, André. *Ingénierie des eaux et du sol: processus et aménagements*. PPUR presses polytechniques, 2007. ISBN 978-2-88074-724-4. Google-Books-ID: 5ejYixPbEDMC
- VEYSSEYRE, Renée. *Aide-mémoire Statistique et probabilités pour l'ingénieur*. DUNOD, 2006. ISBN 2 10 049994 7.

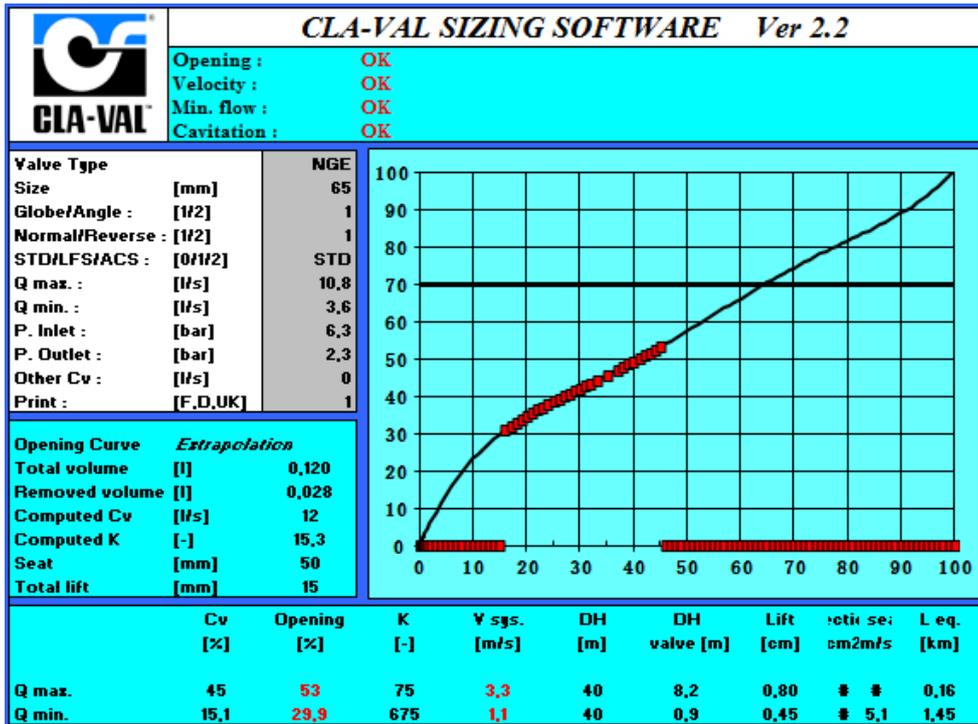
Annexes



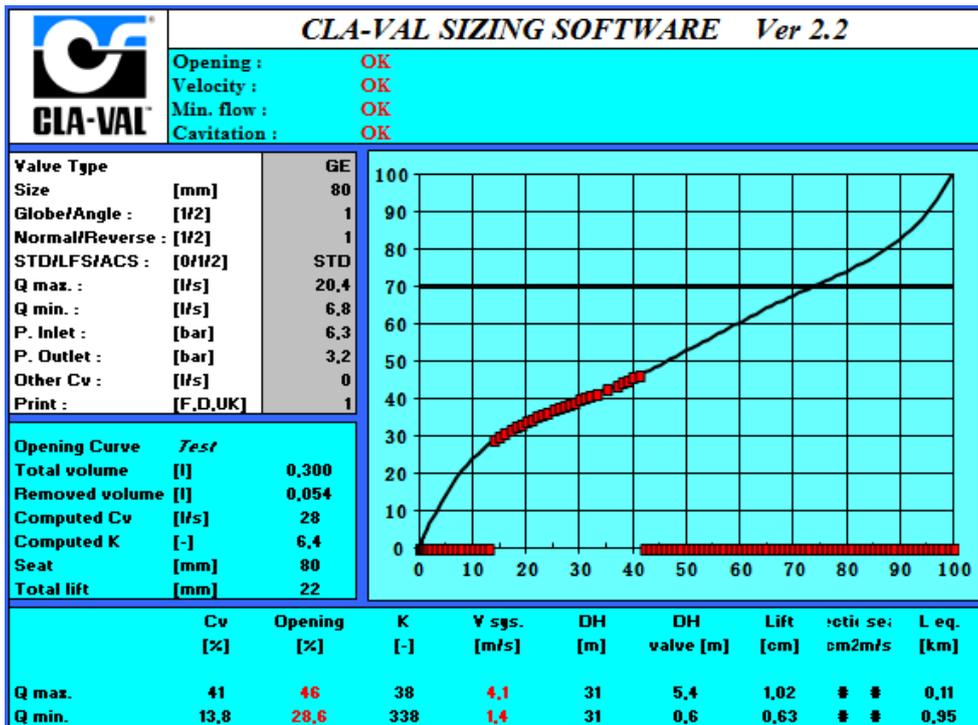
59. Résultats obtenus pour la vanne VR1



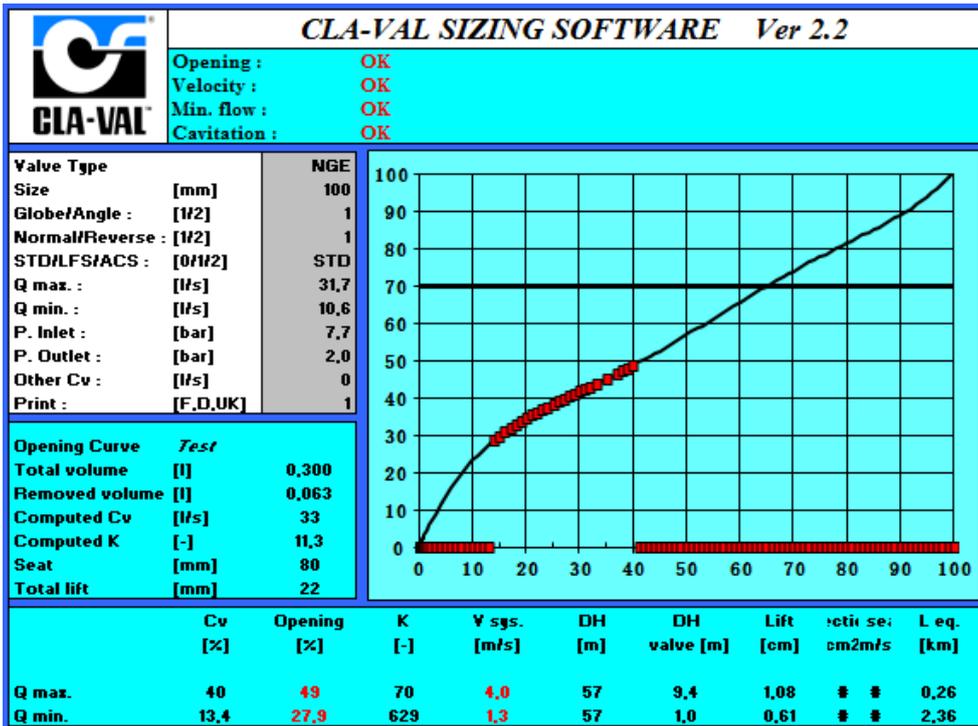
60. Résultats obtenus pour la vanne VR2



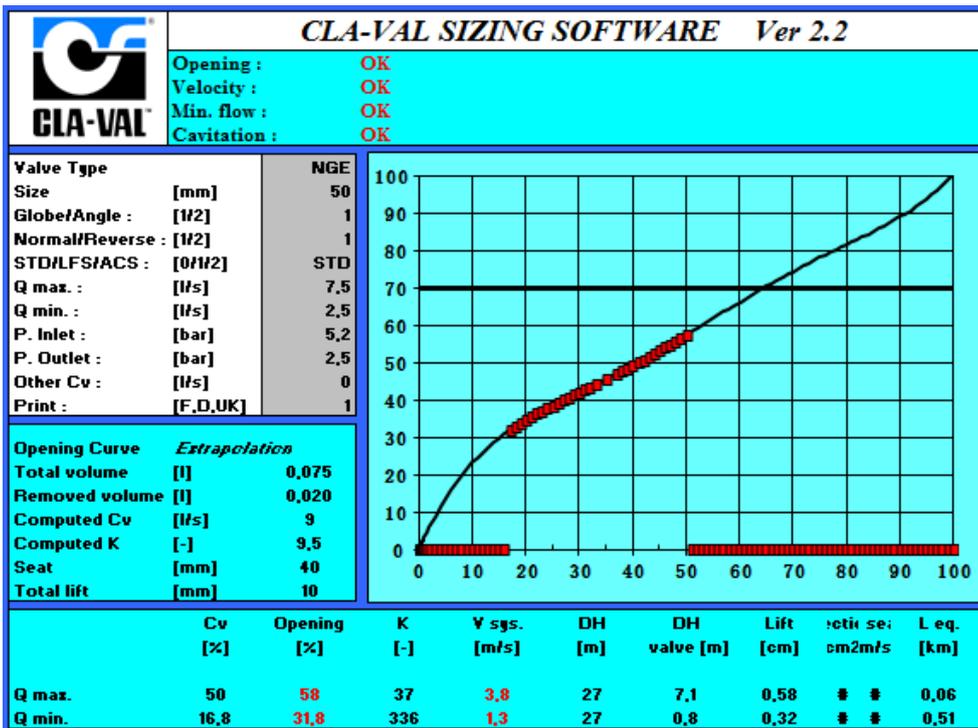
61. Résultats obtenus pour la vanne VR3



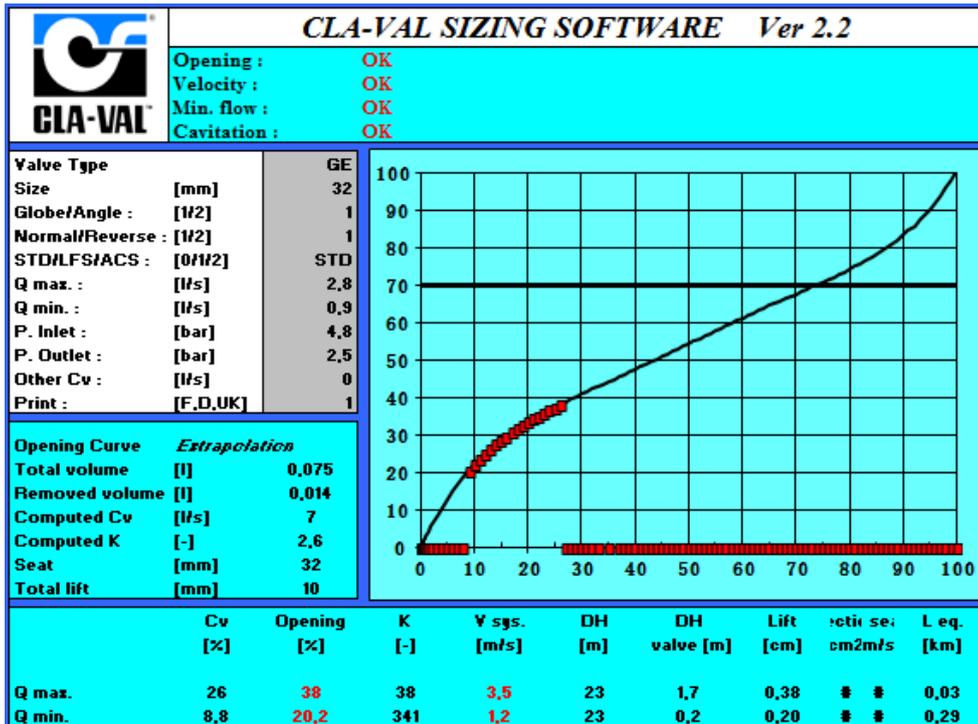
62. Résultats obtenus pour la vanne VR4



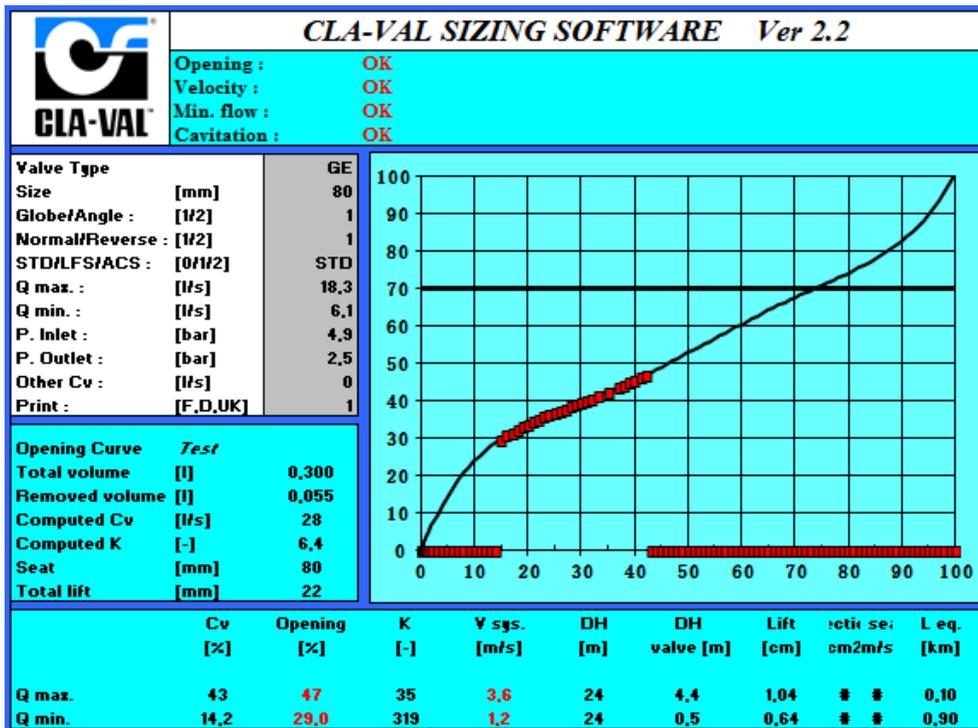
63. Résultats obtenus pour la vanne VR5



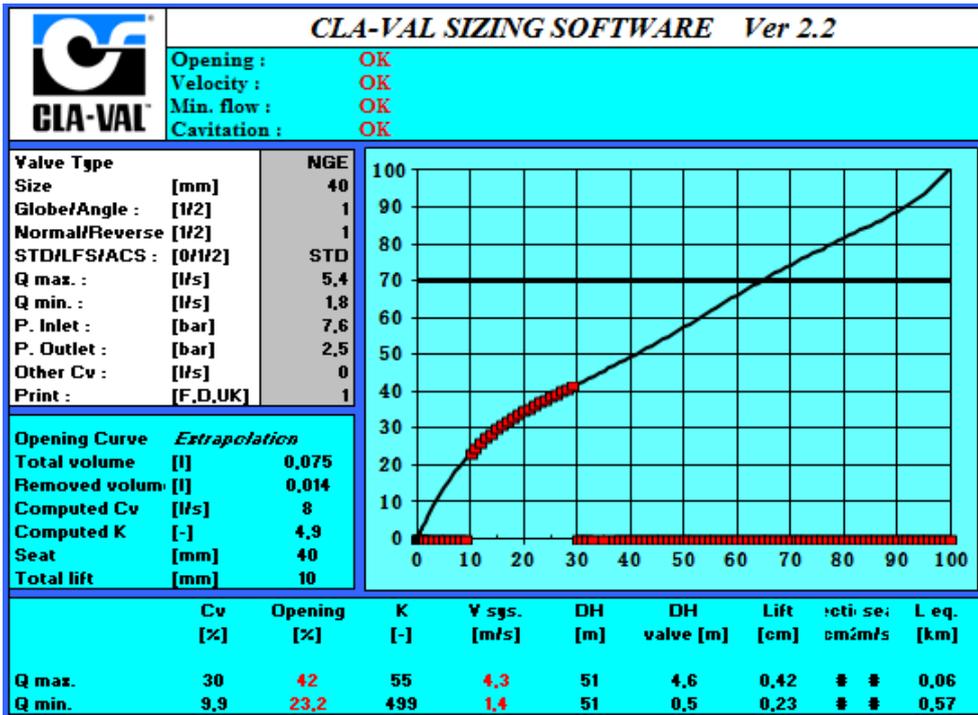
64. Résultats obtenus pour la vanne VR6



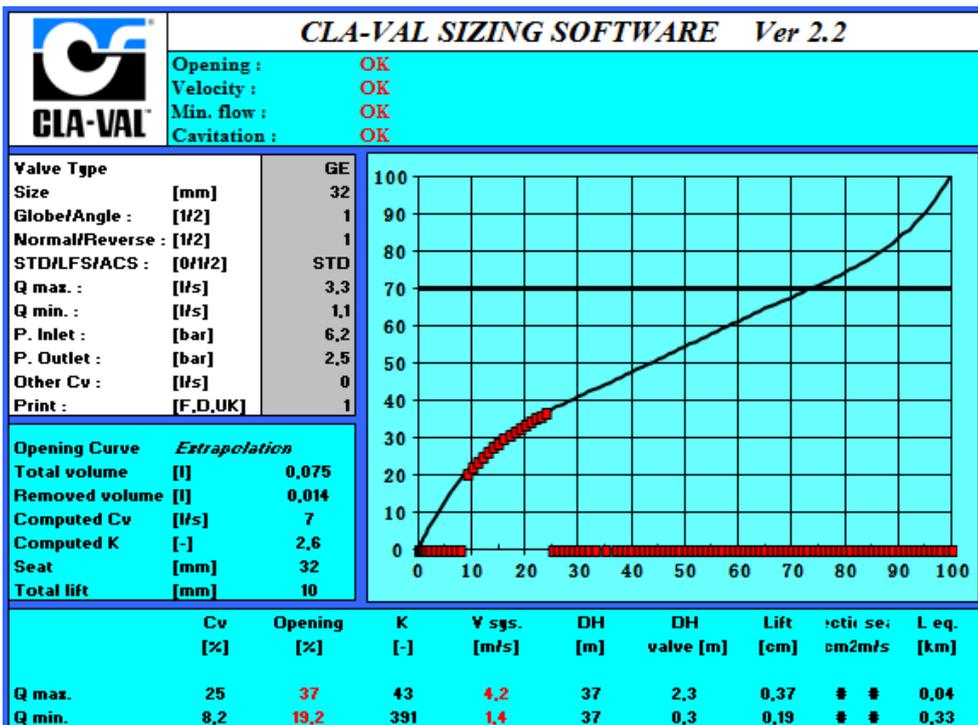
65. Résultats obtenus pour la vanne VR7



66. Résultats obtenus pour la vanne VR8



67. Résultats obtenus pour la vanne VR9



68. Résultats obtenus pour la vanne VR10