

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



*Ecole Nationale Polytechnique*  
*Département d'Hydraulique*

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

*Réalisé par*

**Amine LOUNES**

*Pour l'obtention du diplôme*

**D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

*Thème*

**Simulation d'un réseau de distribution d'eau potable à  
pression modulée.**

**Application : Etage TELEMLY**

*Proposé par*

**M<sup>r</sup> D.DUCCINI**

*Dirigé par*

**M<sup>r</sup> S.BENZIADA**

**M<sup>r</sup> J.J.MARSALY**

*Promotion 2008*

### Résumé

Le réseau de la ville d'Alger est un réseau complexe et très âgé. Une alimentation en continue (H24) aura donc des conséquences néfastes sur les canalisations. Le projet de l'alimentation en continue des abonnés de la capitale constitue un projet prioritaire pour lequel SEAAL met en œuvre les moyens adéquats et nécessaires afin de mener à bien cette mission. Le phénomène des fortes pressions cause de nombreux problèmes dans les canalisations, les fuites connaissent une fréquence remarquable. Afin de faire face à de telles contraintes, la société de l'eau et de l'assainissement d'Alger réalise ce qu'est appelée la modulation de la pression.

A l'aide du logiciel EPANET, nous tenté de simuler le comportement du réseau de la zone étudiée. Nous avons proposé des scénarios concernant le nombre de vannes à mettre en place sur le réseau, ainsi que des consignes à attribuer à celles-ci afin de satisfaire la demande de tous les clients, sans porter atteinte aux conduites constituant le réseau de distribution.

### Abstract

The distribution network of drinking water of the town of Algiers is a complex network and is very old. A supply H24 will have harmful consequences with the drains. The project of the continuously distribution of the subscribers of the capital constitutes a priority project and for which SEAAL offers the adequate and necessary means in order to conclude this mission. The phenomenon of strong pressures causes many problems in the drains, the escapes become of a remarkable frequency. In order to face those constraints, the company of water and cleansing of Algiers carry out what we call the modulation of the pressure.

Using software EPANET, we succeeded in making simulations on the behaviour of the studied zone network. We could propose scenarios concerning the number of valves to be set up on the network, as well as instructions to allot to this one in order to satisfy the request of all the customers, without causing reached with the conduits constituting the distribution network.

### ملخص

ان شبكة توزيع المياه الصالحة للشرب لمدينة الجزائر العاصمة شبكة معقدة و دات سن طويل. لهذا فان التوفير المستمر (24 ساعة) له نتائج وخيمة على القنوات. ان مشروع التوفير المستمر لزبائن العاصمة مشروع ذو اولوية، و الذي من اجله توفر شركة "سيال" كل الامكانيات الخاصة و اللازمة لكي تقوم بهذه المهمة على اكمل وجه. ظاهرة الضغط المرتفع يؤدي الى عدة مشاكل في القنوات، و التسربات تصبح دات تردد ملاحظ. تقوم شركة المياه و التطهير لمدينة الجزائر بتزويد الضغط لمواجهة هذه المشاكل.

بواسطة الحبكة الاعلامية "ابانيت"، تمكنا من القيام بتصنيعات لسلوكات شبكة المنطقة التي قمنا بدراساتها. تمكنا من تقديم بعض الاقتراحات فيما يخص عدد الصمامات التي يتم وضعها في الشبكة، وكذلك العرابن المعطات لتلك الصمامات من اجل تحقيق اكتفاء كل الزبائن دون تسبب اضرار للقنوات المشكلة لشبكة التوزيع.

**A MES CHERS PARENTS ;**

**D'ABORD MA MÈRE QUI N'A JAMAIS CESSÉ DE M'ENCOURAGER ET QUI S'EST TOUJOURS SACRIFIER POUR MON BIEN ÊTRE ET MA RÉUSSITE.**

**MON PÈRE QUI S'EST TOUJOURS MONTRÉ PRÉSENT ET QUI A FAIT EN SORTE QUE JE NE MANQUE DE RIEN DURANT TOUTE MA VIE.**

**A KAHINA, MA SŒUR AINÉE QUI M'A ENCOURAGÉ ET AIDÉ DURANT TOUTES MES ANNÉES D'ÉTUDE.**

**ET BIEN SUR, MON GRAND FRÈRE RAFIK, MON MEILLEUR AMI, MON ANGE GARDIEN. JE NE TE REMERCIERAI JAMAIS ASSEZ.**

**SANS OUBLIER MA COUSINE NORA, QUI EST POUR MOI UNE SECONDE SŒUR.**

## *Dédicace*

*A tous mes professeurs du département hydraulique.*

*Je n'oublierai jamais mes chers camarades de la spécialité à savoir, Lamia ABBAS, Akram APPILA, Imad Eddine BEHIANI, Oussama DJEBALI, Ryma FARIS, Nacer LATBI, Asma N'fissa MAGHEZZI, Yasmine MIRA, M'Hamed FAROUKAI ainsi que Moula ZABOT.*

*Je dédie mon travail à ceux qui ont toujours été à mes côtés, qui n'ont jamais douté de moi, à qui je suis reconnaissant ; mes adorables amis. A Abdel Ghani, Hamid, Hocine, Sekda, Ramzi, Redha, Sofiane, Nassim ainsi que tous ceux avec qui j'ai grandi.*

*Sans oublier bien sur, Boudj et Bouj, Amine, Mouh, Nas, Mus, Mehdi, Racim, Aziz, et tous ceux qui m'ont accompagné pendant mon cursus universitaire au sein de l'école.*

## *Remerciement*

*Je tiens à remercier particulièrement Monsieur J.BENZADA qui a été présent et qui nous a encadrés pendant la réalisation du projet de fin d'étude.*

*Un grand merci à M<sup>lle</sup> J.BENMAAR qui n'a fait que nous encourager et nous orienter dans le droit chemin qui est celui de la réussite ainsi que du sérieux.*

*Je tiens à remercier tous nos encadreurs de la société SEAI, en commençant par Monsieur David DECENI qui nous a pris au sérieux et qui nous a montré son intérêt à ce que nous comprenions et que nous réussissions dans notre travail.*

*Monsieur Fodil TOUZI mérite notre reconnaissance ainsi que notre respect le plus grand pour tout ce qui a pu nous fournir comme information, et qui a toujours fait en sorte que nous ne manquions de rien pendant notre stage.*

*Monsieur Jean Jaque MARSAI, BONNOUH, NAFAA, MAHFOUTI, FAIZE, NOUFEL ainsi que M<sup>lle</sup> JMANE nous ont été d'un apport et d'une utilité remarquable et que nous ne remercierons jamais assez.*

*Grand merci aussi à Monsieur Lounis LAZID du bureau d'étude SOGREAH sans lequel nous n'aurions jamais pu mener à bien notre projet.*

*Merci aussi à mes deux collègues M<sup>r</sup> Ayoub GUEMIA ainsi que M<sup>r</sup> Boualem RECHA avec lesquels j'ai effectué mon stage, et que je n'oublierai jamais.*

## SOMMAIRE

<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>12</b>
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>GENERALITES SUR LES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>16</b>
<b>1 RESEAUX DE DISTRIBUTION.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 TYPES DE RESEAUX .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.1 Réseaux maillés .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2 Réseaux ramifiés .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.3 Réseaux étagés.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.4 Réseaux à alimentations distinctes .....</b>	<b>19</b>
<b>2 DESCRIPTIONS ET DEFINITIONS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 CONDUITES PRINCIPALES (LES ARTERES) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 CONDUITES SECONDAIRES (CONDUITES DE SERVICE).....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 CONDUITES DE DISTRIBUTION PRINCIPALES (LES BRANCHEMENT) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 POINT DE LIVRAISON.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 SECTEUR DE DISTRIBUTION .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 VOLUMES CARACTERISANT LA DISTRIBUTION.....</b>	<b>21</b>
<b>3. METHODES D'ALIMENTATION DES RESEAUX .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 DISTRIBUTION GRAVITAIRE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 POMPAGE COMBINE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 POMPAGE DIRECT.....</b>	<b>23</b>
<b>4. GESTION DES RESEAUX D'AEP.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 CONNAISSANCE DE L'EXISTANT .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 INFORMATIONS RELATIVES AU FONCTIONNEMENT DU RESEAU .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 ENTRETIEN DU RESEAU .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.1 Données relatives au réseau.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3.2 Les données concernant les défaillances et les interventions .....</b>	<b>30</b>
<b>5. SECURITE DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1 MESURES DE PROTECTION ET DE SECURISATION.....</b>	<b>31</b>
<b>a. Disposition de protection physique .....</b>	<b>31</b>
<b>b. Solutions de secours.....</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>31</b>
<b>CHAPITRE II</b>	
<b>PROBLEMATIQUE DU PASSAGE EN ALIMENTATION CONTINUE DE LA VILLE D'ALGER .....</b>	<b>32</b>
<b>1. PRESENTATION DE LA VILLE D'ALGER .....</b>	<b>33</b>
<b>2. PROBLEMATIQUE DU PASSAGE EN ALIMENTATION CONTINUE .....</b>	<b>33</b>
<b>3. EFFETS DES FORTES PRESSIONS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 LES PERTES D'EAU.....</b>	<b>34</b>

3.1.1	Relation entre la pression et les pertes d'eau .....	35
3.1.2	Relation entre pression et fréquence des casses .....	37
3.1.3	Relation entre pression et débit des fuites.....	40
3.2	LE DEBIT DE NUIT .....	43
4.	RECOURS A LA MODULATION .....	43
	CONCLUSION.....	44
CHAPITRE III		
	MODULATION DE LA PRESSION .....	45
	INTRODUCTION.....	46
1.	DEFINITIONS .....	46
2.	STRATEGIE COMBINEE .....	46
3.	MODULATION DE LA PRESSION D'ENTREE DE RESEAU SUIVANT LA DEMANDE .....	47
3.1	VANNE DE REGULATION.....	50
A.	Fonctionnement d'une vanne de régulation hydraulique à pilote .....	50
B.	Modulation de la pression de consigne d'un stabilisateur aval à pilote.....	55
3.2	EXEMPLES DE MODULATION.....	59
4	PROCEDURE DE MODULATION D'UN ETAGE DE DISTRIBUTION .....	67
4.1	INVESTIGATION .....	67
4.2	DELIMITATION DE LA ZONE .....	67
4.3	DENTIFICATION DES TRAVAUX .....	68
4.4	L'INFORMATION .....	68
	CONCLUSION.....	68
CHAPITRE IV		
	MODELISATION DE L'ETAGE <i>TELEMLY</i> .....	69
	INTRODUCTION.....	70
1.	MODELISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D' <i>AEP</i> .....	70
a.	Modèle pour le dimensionnement du réseau.....	70
b.	Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic .....	70
c.	Modèle pour la gestion du réseau .....	71
d.	Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau .....	71
1.1	PRECISION DU MODELE ET REPRESENTATION DU RESEAU D' <i>AEP</i> .....	71
2.	PRESENTATION DU LOGICIEL <i>EPANET</i> .....	72
2.1	HISTORIQUE .....	72
2.2	POTENTIALITES DU LOGICIEL.....	72
3.	PRESENTATION DE L'ETAGE <i>TELEMLY</i> .....	73
4.	MODELISATION DE L'ETAGE <i>TELEMLY</i> .....	75
4.1	RUGOSITE DES CONDUITES .....	76
4.2	LE RESERVOIR.....	77
4.3	PROFILS DE CONSOMMATION .....	77
4.4	RENDEMENT DU RESEAU ET PRISE EN CONSIDERATION DES FUTES.....	78
5	PROJET DE MODULATION .....	79
5.1	SITUATION AVANT MODULATION.....	79

5.1.1	<i>Compagne de mesures</i> .....	82
5.1.2	<i>Fermeture de la frontière</i> .....	83
5.2	PASSAGE A LA MODULATION DE LA PRESSION.....	84
5.2.1	<i>Utilisation d'une seule vanne de régulation</i> .....	85
a.	Vanne de régulation (250 mm) sur la conduite 400 mm .....	85
b.	Vanne de régulation (600 mm) sur la conduite 600 mm .....	87
5.2.2	<i>Utilisation de deux vannes de régulation</i> .....	90
5.2.3	<i>Utilisation de trois vannes de régulation</i> .....	94
5.3	EXTENSION DE LA FRONTIERE DE L'ETAGE <i>TELEMLY</i> .....	97
5.3.1	<i>Utilisation d'une vanne de régulation</i> .....	99
a.	Installation de la vanne 250 mm .....	99
b.	Installation de la vanne 600mm .....	101
c.	Installation des trois vannes de régulation .....	103
d.	Problèmes des vitesses .....	105
5.4	ETABLISSEMENT DES CONSIGNES DES VANNES DE REGULATION.....	107
6.	FIABILITE DU MODELE.....	108
	CONCLUSION.....	109
	CONCLUSION GENERALE .....	110
	BIBLIOGRAPHIE .....	114



## LISTE DES FIGURES

<b>FIGURE I.1 : <i>Eléments d'un réseau d'adduction et de distribution d'eau potable</i></b> .....	16
<b>FIGURE I.2 : <i>Réseaux maillés</i></b> .....	18
<b>FIGURE I.3 : <i>Réseaux ramifiés</i></b> .....	18
<b>FIGURE I.4 : <i>Réseaux étagés</i></b> .....	19
<b>FIGURE III.1 : <i>Stratégie combinée</i></b> .....	47
<b>FIGURE III.2 : <i>Demande de Westminster en fonction du temps</i></b> .....	48
<b>FIGURE III.3 : <i>Histogramme des débits</i></b> .....	48
<b>FIGURE III.4 : <i>Point critique de Westminster (pression en fonction du temps)</i></b> .....	49
<b>FIGURE III.5 : <i>Histogramme des pressions</i></b> .....	49
<b>FIGURE III.6 : <i>Schéma descriptif de la vanne de régulation</i></b> .....	51
<b>FIGURE III.7 : <i>Schéma descriptif du principe de fonctionnement de la vanne de régulation</i></b> .....	52
<b>FIGURE III.8 : <i>Schémas illustrant le fonctionnement de la vanne de régulation</i></b> .....	53
<b>FIGURE III.9 : <i>Schéma de fonctionnement de la vanne en régulation</i></b> .....	53
<b>FIGURE III.10 : <i>Vue en coupe d'un pilote de contrôle de la pression aval</i></b> .....	54
<b>FIGURE III.11 : <i>Pilote et chambre de compensation</i></b> .....	56
<b>FIGURE III.12 : <i>Schéma d'un pilote nu</i></b> .....	57
<b>FIGURE III.13 : <i>Principe de fonctionnement d'un modulateur pneumatique</i></b> .....	57
<b>FIGURE III.14 : <i>Pression de sortie du réducteur</i></b> .....	60
<b>FIGURE III.15 : <i>Pression au point critique</i></b> .....	60
<b>FIGURE III.16 : <i>Débit d'alimentation du secteur</i></b> .....	61
<b>FIGURE III.17 : <i>Secteur de Bickley Oak, Londres (sans modulation)</i></b> .....	62
<b>FIGURE. III.18 : <i>Secteur de Bickley Oak, Londres (avec modulation)</i></b> .....	62
<b>FIGURE III.19 : <i>Système du sud de Londres</i></b> .....	64
<b>FIGURE III.20 : <i>Emplacement des vannes de régulation</i></b> .....	64
<b>FIGURE III.21 : <i>Pression amont, aval et débit à la vanne esclave</i></b> .....	65
<b>FIGURE III.22 : <i>Pression amont, aval et débit à la vanne maitresse</i></b> .....	65
<b>FIGURE III.23 : <i>Pression au point critique</i></b> .....	66
<b>FIGURE III.24 : <i>Débit d'alimentation</i></b> .....	67
<b>FIGURE IV.1 : <i>Extrait du SIG de l'étage TELEMLY</i></b> .....	74
<b>FIGURE IV.2 : <i>Schéma de principe du réseau alimenté par le réservoir TELEMLY</i></b> .....	75
<b>FIGURE IV.3 : <i>Le modèle de l'étage TELEMLY</i></b> .....	76
<b>FIGURE IV.4 : <i>Profil de consommation GC, DIF</i></b> .....	78

<b>FIGURE IV.5 : Profil de consommation DOM.....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURE IV.6 : Schéma d'une simulation avant la modulation de la pression sur EPANET à 2h00 (heure creuse).....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURE IV.7 : Schéma d'une simulation avant la modulation de la pression sur EPANET à 12h00 (heure de pointe) .....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURE IV.8 : Schema d'une simulation montrant les fortes pressions à 0h00 (heure creuse) .....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURE IV.9 : Schéma d'une simulation montrant les fortes pressions à 12h00 (heure de pointe) .....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURE IV.10 : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles .....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURE IV.11 : Emplacement des enregistreurs de pression sur le réseau alimenté par le réservoir TELEMLY.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURE IV.12 : Création de la frontière sur plan extrait du SIG du réseau d'Alger.....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURE IV.13 : Schéma montrant le nombre de vannes de régulation à mettre en service sur l'étage TELEMLY.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURE IV.14 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une seule vanne de régulation (250mm). ....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURE IV.15 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une seule vanne de régulation (250mm).....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURE IV.16 : Requête des points dont la pression est négative à 12h00 .....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURE IV.17 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une seule vanne de régulation (600mm) .....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURE IV.18 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une seule vanne de régulation (600mm). ....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURE IV.19 : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles (cas d'une seule vanne 600mm) .....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURE IV.20 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant deux vannes de régulation .....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURE IV.21 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant deux vannes de régulation .....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURE IV.22 : Schéma d'une simulation montrant les pressions à 0h00 (heure creuse).....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURE IV.23 : Schéma d'une simulation montrant les pressions à 12h00 (heure de pointe) .....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURE IV.24 : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles .....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURE IV.25 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant trois vannes de régulation .....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURE IV.26 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant trois vannes de régulation.....</b>	<b>95</b>

<b>FIGURE IV.27 : Création de la nouvelle frontière sur plan extrait du SIG du réseau d'Alger .....</b>	<b>97</b>
<b>FIGURE IV.28 : Le modèle de l'étage TELEMLY étendu sur EPANET.....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURE IV.29 : Schéma d'une simulation de l'étage TELEMLY étendu sur EPANET à 0h00 (heure creuse).....</b>	<b>99</b>
<b>FIGURE IV.30 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une vanne de régulation (250mm).....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURE IV.31 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une vanne de régulation (250mm). ....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURE IV.32 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une vanne de régulation (600mm).....</b>	<b>101</b>
<b>FIGURE IV.33 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une vanne de régulation (600mm). ....</b>	<b>102</b>
<b>FIGURE IV.34 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, de l'étage TELEMLY étendu (trois vannes).....</b>	<b>103</b>
<b>FIGURE IV.35 : Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, de l'étage TELEMLY étendu (trois vannes).....</b>	<b>104</b>
<b>FIGURE IV.36 : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles (avant extension de la zone) .....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURE IV.36 : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles (après extension de la zone).....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURE IV.37 : Evolution de la pression au nœud 2288 sur EPANET avant et après la modulation de la pression.....</b>	<b>10</b>

## Liste des tableaux

<b>TABLEAU III.1 : Comparaison pression d'entrée-pression au point critique.....</b>	<b>43</b>
<b>TABLEAU IV.1 : Consignes horaires données à la vanne 600 mm.....</b>	<b>89</b>
<b>TABLEAU IV.2 : Consignes horaires données à la vanne 600 mm.....</b>	<b>93</b>
<b>TABLEAU IV.3 : Consignes horaires données à la vanne 250 mm.....</b>	<b>94</b>
<b>TABLEAU IV.4 : Consignes horaires données à la vanne 600 mm .....</b>	<b>96</b>
<b>TABLEAU IV.5 : Consignes horaires données à la vanne 250 mm .....</b>	<b>96</b>
<b>TABLEAU IV.6 : Consignes horaires données à la vanne 250mm .....</b>	<b>101</b>
<b>TABLEAU IV.7 : Consignes horaires données à la vanne 600mm .....</b>	<b>102</b>
<b>TABLEAU IV.8 : Consignes horaires données à la vanne 250mm .....</b>	<b>105</b>
<b>TABLEAU IV.9 : Consignes horaires données à la vanne 600mm .....</b>	<b>105</b>

# **Introduction générale**

La Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger (*SEAAL*) a été créée le premier mars 2006, à l'issue de l'initiative des pouvoirs publics, relayée par les apports constitutifs et exclusifs de l'Algérienne Des Eaux (*ADE*) et de l'Office National de l'Assainissement (*ONA*), sous la forme d'une société par action. Sa création fut un événement majeur pour la production, la distribution d'eau ainsi que pour l'assainissement dans la ville d'Alger. *SEAAL-spa* bénéficie d'une allocation d'un budget d'exploitation et d'investissement de 60 milliards de dinars algériens. Suez Environnement constitue également un avantage pour la Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger par un contrat de transfert de savoir-faire, qui assure une capitalisation projetée en faveur du personnel des deux organismes (*ADE*, *ONA*).

Avec le temps, les besoins de la population se sont développés suivant l'évolution du niveau de vie, ceci dit, le citoyen est devenu trop exigeant concernant les différents services, en allant de l'alimentation en gaz, en électricité, jusqu'à l'eau potable et l'assainissement. Pour cela, les services concernés (*SEAAL*) ont pensé, du point de vue distribution en eau potable, à une alimentation continue, celle-ci n'étant pas évidente.

Le réseau d'Alger est un réseau complexe et très âgé, donc une alimentation en *H24* aura des conséquences néfastes sur les canalisations, du fait des fortes pressions pendant les heures creuses (la nuit en général). Le nombre de casses et de fuites nous fera perdre des volumes énormes et influera sur la totalité des abonnés desservis. Ainsi, les ingénieurs de *SEAAL-spa* ont pensé à réduire ce genre de risque en essayant de diminuer les pressions, surtout au niveau des points les plus bas de la région à alimenter. Cependant, le problème apparaîtra aux heures pleines, lorsque la pression est brisée par l'ouverture des robinets des abonnés, ce qui causera des sous-pressions au niveau des points les plus défavorables de l'agglomération. La solution idoine, est de réguler la pression selon le régime de consommation des abonnés. Cette solution se nomme « modulation de la pression ». C'est pour cette technique que les services gérant la distribution en eau potable de la ville ont opté.

Le travail qui nous a été proposé par *SEAAL* est de faire une simulation avec le logiciel *EPANET* sur l'un des étages de la ville d'Alger, pour lequel la modulation de la pression est en cours de réalisation. Nous aurons donc l'occasion de faire des prévisions concernant les problèmes que la société aura à gérer, le nombre de vannes de modulation à introduire dans le réseau ainsi que les consignes à attribuer à chacune d'elles.

Nous commencerons par présenter, sous forme de généralités, les différents points essentiels à connaître pour réussir à se rapprocher du domaine de la distribution d'eau potable. Cette présentation constitue des descriptions ainsi que des définitions intervenant dans la bonne gestion et la maîtrise des réseaux d'eau potable et les moyens d'assurer à ces derniers une durée de vie acceptable.

Le problème des fortes pressions ainsi que des pertes d'eau dans le réseau sont présentés dans le deuxième chapitre. Nous ressortirons le fait que des décisions doivent être prises, et que l'alimentation continue de la ville d'Alger peut engendrer des contraintes que nous devons affronter et combattre.

Le chapitre III donne une définition détaillée de la modulation de la pression et présente des exemples pratiques de l'expérience réalisée dans plusieurs villes dans le monde. La vanne de modulation y est également présentée finement et clairement.

A travers le chapitre IV, la modélisation du réseau de l'étage étudié est bien assimilée. En effet, des définitions sont présentées, ainsi que la procédure que nous avons suivie afin de mener à bien le travail que nous nous sommes fixés. Des résultats y sont aussi présentés, ainsi que l'objectif de notre simulation, qui se résume en des propositions de nombre ainsi que de positions des vannes. Aussi nous proposerons des consignes horaires pour celles-ci.

Nous terminerons notre thèse par une conclusion générale dans laquelle nous expliquerons les difficultés rencontrées lors de l'établissement du projet et des différentes étapes que nous avons pu traverser pendant la période de notre stage.

## **CHAPITRE I**

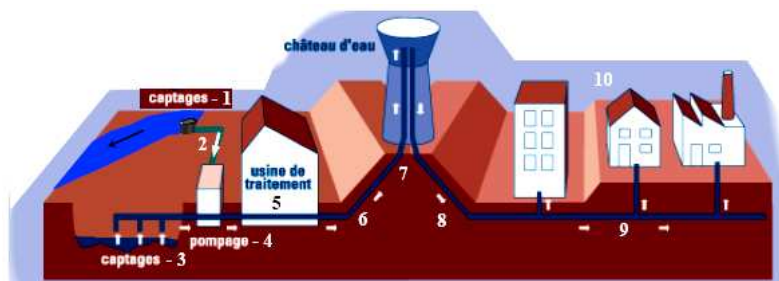
# **Généralités sur les réseaux de distribution d'eau potable**



## Introduction

Un système d'alimentation en eau potable (AEP) est composé d'un ensemble d'infrastructures et d'installations nécessaires pour satisfaire tous les besoins en eau potable d'une zone urbaine et industrielle.

Le système d'AEP comporte différents composants dont les constructions et les installations affectées au captage (1,3), au traitement (5), au transport (2, 6,8), au stockage (7) et à la distribution de l'eau potable (9) chez les différents consommateurs.



**Figure I.1 :** *Eléments d'un réseau d'adduction et de distribution d'eau potable* (Nafi 2006).

Le dimensionnement des éléments composant le système d'AEP dépend d'un grand nombre de paramètres, tant techniques que financiers, susceptibles de varier dans le temps. A chaque modification ou extension de réseau, il est nécessaire de reconsidérer l'évolution probable de la demande et des ressources, ainsi que d'analyser les coûts d'investissement et d'exploitation.

### 1. Réseaux de distribution

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

Pour que les performances d'un réseau de distribution soient satisfaisantes, celui-ci doit être en mesure de fournir, à des pressions compatibles avec les hauteurs des immeubles, les débits et les volumes d'eau requis, et ce en tout temps lors de la durée de sa vie utile. Ces pressions ne doivent, pas non plus, dépasser une limite, fixée au préalable, afin de ne pas avoir de problèmes de ruptures de conduites. C'est pourquoi, lors de la conception d'un

réseau, il est important d'identifier et de prendre en compte des situations critiques afin que celui-ci, dans de telles situations, se comporte de façon satisfaisante.

Nous pouvons citer les situations suivantes :

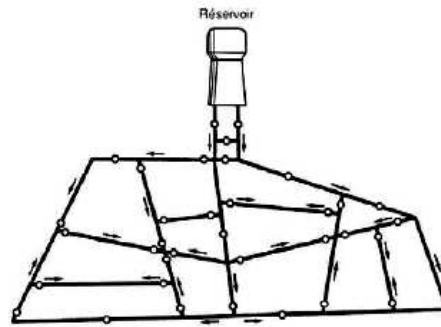
- Consommation de pointe horaire ;
- Consommation journalière maximale durant un ou plusieurs incendies ;
- Consommation journalière maximale en cas de casse d'une conduite secondaire ou principale ;
- Situations particulières (jours fériés par exemple).

## **1.1 Types de réseaux**

Un réseau de distribution peut avoir quatre formes différentes ; maillé, ramifié, étagé et à alimentation distincte. Un réseau peut avoir l'une de ces formes selon la topographie, l'occupation du sol et la répartition de l'agglomération à desservir.

### **1.1.1 Réseaux maillés**

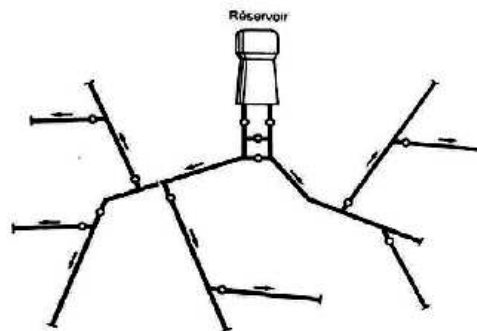
Dans une municipalité, les conduites du réseau de distribution sont le plus souvent enfouies sous la chaussée. Quand le réseau est constitué de boucles il est alors dit maillé, ce qui permet d'offrir aux usagers un meilleur service possible. En effet, la pression dans le réseau est ainsi équilibrée, et le nombre d'abonnés non desservis en cas de bris ou de réparation est réduit au maximum, puisque l'eau peut atteindre un même point de consommation par plusieurs chemins. En effet, dans un réseau maillé, l'eau circule dans toutes les branches, sans zones mortes. De plus, en cas de rupture ou d'intervention sur une conduite principale, il reste possible d'assurer la distribution à la majeure partie du réseau.



**Figure I.2 :** Réseau maillé.

### 1.1.2 Réseaux ramifiés

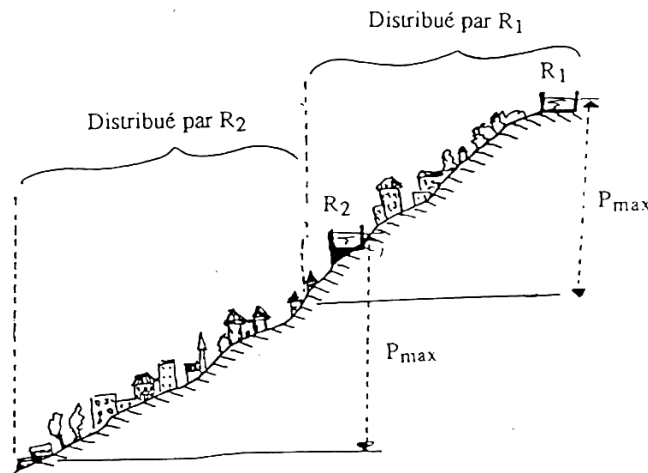
Lorsque le réseau n'est pas maillé, il est dit ramifié. Nous devinons aisément que, dans un tel réseau, le bris d'une conduite entraîne la perte de service pour tous les usagers situés en aval. De plus, dans une conduite donnée, l'eau s'écoule toujours dans le même sens, ce qui n'est pas toujours le cas dans un réseau maillé. Par contre, un réseau ramifié est évidemment moins coûteux.



**Figure I.3 :** Réseau ramifié.

### 1.1.3 Réseaux étagés

Lorsque le secteur à alimenter s'étend sur une dénivellation trop importante, l'alimentation à partir d'un seul réservoir peut être à l'origine de pressions trop élevées en bas du réseau. Des réservoirs intermédiaires doivent alors être intercalés, ce qui permet de diviser le réseau en sous-réseaux d'une dénivellation satisfaisante. Ces réservoirs peuvent être alimentés par la même source, avoir leur propre alimentation, ou même être reliés entre eux.



**Figure I.4 : Réseau étagé.**

### 1.1.4 Réseaux à alimentations distinctes

Les réseaux à alimentations distinctes distribuent, d'une part, l'eau potable destinée à tous les besoins domestiques, et d'autre part, l'eau non potable réservée aux usages industriels et au lavage et arrosage des rues et plantations. Ces réseaux ne se justifient que dans les installations extrêmement importantes.

## 2. Descriptions et définitions

Un réseau de distribution est un ensemble constitué de :

- Réservoirs et équipements hydrauliques ;
- Conduites principales ;
- Conduites secondaires ;
- Conduites principales de distribution ;
- Points de livraison ;
- Appareils de robinetterie, et de régulation.

En fonction de la situation urbaine et de l'importance du quartier nous distinguons trois types de conduites :

## **2.1 Conduites principales (les artères)**

Les artères représentent les conduites qui partent du réservoir, soit de la station de pompage (*SP*), afin de distribuer l'eau dans tous les points du réseau par le plus court chemin. Les artères doivent être posées de telle façon à ce qu'elles puissent alimenter le secteur et disposer, si c'est possible, des diamètres économiques et d'obtenir des pressions uniformément distribuées.

## **2.2 Conduites secondaires (conduites de service)**

Leurs diamètres varient entre 250 – 150 mm. Elles sont alimentées par les artères et distribuent l'eau vers les branchements.

## **2.3 Conduites de distribution principales (Les branchement)**

C'est la partie de l'installation située entre les conduites de service et le compteur ou le robinet vanne d'arrêt, lorsque le branchement ne comporte pas de compteur (service incendie notamment). Le diamètre du branchement est déterminé en fonction des débits de pointe et des consommations journalières prévisibles.

Une canalisation se compose d'éléments droits (tuyaux), d'éléments de raccordement (raccords) et de pièces spéciales (coudes, cônes, tés,...).

## **2.4 Point de livraison**

Le point de livraison est l'emplacement où est délivrée l'eau potable à l'abonné, il est situé au raccord aval du compteur.

## **2.5 Secteur de distribution**

Le secteur de distribution est constitué d'un ensemble de canalisations de distribution et de branchements dont le volume mis en distribution est mesuré en permanence. Pour des raisons de commodité de gestion, de topographie ou de géographie, un réseau de distribution peut être divisé de façon permanente en zones indépendantes, dont chacune est alimentée en un ou plusieurs points, et où l'introduction de l'eau est maîtrisée de façon constante.

## **2.6 Volumes caractérisant la distribution**

### **a. Volume de service**

C'est le volume utilisé pour l'exploitation du réseau.

### **b. volume de gaspillage**

C'est le volume perdu en raison d'incident d'exploitation.

### **c. volume détourné**

C'est le volume utilisé frauduleusement (volume utilisé par les branchements clandestins, les piquages avant compteur, l'utilisation illégale de poteaux d'incendies, ...).

### **d. volume de fuites**

C'est le volume résultant des défauts d'étanchéité du réseau.

### **e. volume de défauts de comptage**

C'est le volume résultant de l'imprécision, du dysfonctionnement des organes de comptage, des oublis de relevés et des erreurs d'évaluation de la lecture.

### **f. volume des pertes en distribution**

C'est la somme algébrique des volumes de fuites gaspillés, détournés, et défauts de comptage. Le terme le plus utilisé est le « Non Revenue Water » (NRW) pour désigner ce genre de perte.

## **3. Méthodes d'alimentation des réseaux**

Le réseau est un ensemble de conduites fonctionnant sous pression. Il faut donc un système d'alimentation de ce réseau qui permette de fournir le débit de consommation variable à une pression relativement constante. Il existe plusieurs façons de réaliser cette alimentation, dont voici les principales :

### **3.1 Distribution gravitaire**

Nous pouvons concevoir un système de distribution d'eau par gravité lorsque la source d'eau est située à une altitude supérieure à celle de l'agglomération à desservir. Un tel système est bien sûr idéal, puisqu'il n'est dépendant d'aucun poste de surpression pour assurer l'approvisionnement en eau, en quantité suffisante et à une pression appropriée : aucune dépense d'énergie n'est donc imputable au pompage, et la qualité du service n'est pas tributaire du bon fonctionnement d'un ou de plusieurs postes de surpression.

Cependant, si la dénivellation permet d'assurer une pression suffisante au cours des périodes de consommation habituelles, cela n'est pas nécessairement vrai en cas d'incendie ; nous devons alors utiliser des pompes d'urgence.

Par contre, nous pouvons être confrontés à de fortes pressions au niveau des points trop bas par rapport à l'altitude du réservoir. Dans ce cas, nous devons prévoir un moyen pour briser la charge qui pourrait, d'une part occasionner des dégâts majeurs au niveau des canalisations (bris), et d'autre part, être la cause de fuites dans le réseau. L'installation de vannes de régulation est à prévoir dans ce cas.

### **3.2 Pompage combiné**

Nous devons toutefois le plus souvent recourir à des postes de surpression et à des réservoirs répartis dans l'ensemble du réseau pour assurer un service satisfaisant. En périodes de forte consommation, les réservoirs servent ainsi à combler la différence entre la demande en eau et la capacité de production de la station de purification. Nous les sollicitons également pour fournir, soit l'eau nécessaire à l'extinction des incendies, soit l'eau de consommation elle-même lors de la mise hors service de la station de purification (réparation, entretien...) ou lors du bris d'une conduite (principale ou secondaire). Enfin, c'est grâce à l'ensemble des réservoirs et des postes de surpression que nous pouvons maintenir des pressions satisfaisantes en tout temps dans l'ensemble du réseau (niveau de mise en charge du réseau). Au cours des périodes de faible consommation (le plus souvent, la nuit), nous procédons au remplissage des réservoirs, et les postes de surpression seuls assurent les pressions souhaitées dans l'ensemble du réseau.

De tels systèmes offrent les nombreux avantages suivants :

- Faible variation de la pression, notamment en périodes de forte consommation (puisque l'eau provient de plusieurs sources) ;
- Réserves d'eau en cas d'incendies ;
- Débits de pompage relativement uniforme (ce qui permet de faire fonctionner les pompes à leur régime optimal) ;
- Approvisionnement par gravité d'au moins une partie de l'eau de consommation en cas de pannes à la station de purification.

### **3.3 Pompage direct**

Dans ce cas, l'approvisionnement en eau de consommation est entièrement dû à des postes de surpression. Pour satisfaire adéquatement une demande en eau qui, peut être fortement variable (par exemple, au cours de la journée), nous concevons les postes de surpression de façon à ce qu'ils fonctionnent avec beaucoup de souplesse : plusieurs pompes de capacités diverses, pompes à vitesses variables, pompes couplées à des moteurs à essence.

De tels systèmes présentent cependant les inconvénients suivants :

- Il faut en générale prévoir plusieurs postes de surpression dont les coûts de construction et d'utilisation sont élevés ;
- Aucune réserve ne permet d'assurer l'approvisionnement en eau, ne serait ce qu'en cas de panne ;
- De fortes fluctuations de la pression associées aux variations de consommation peuvent survenir si le nombre de postes de surpression est limité ;
- Même pour une consommation constante, il existe de grandes variations de pression dans le réseau si le nombre de postes de surpression est limité ;
- Les nombreux bris de conduites imputables aux variations importantes et fréquentes de la pression sont responsables de plusieurs fuites d'eau.



#### **4. Gestion des réseaux d'AEP**

C'est presque une évidence de dire que, pour bien gérer un système, il convient de bien le connaître. Cette évidence, loin d'être toujours respectée en matière de réseau, est cependant un critère impératif pour l'approche du renouvellement.

Cette connaissance doit être basée sur les trois points suivants :

##### **4.1 Connaissance de l'existant**

Il est indispensable de bien connaître la position et le linéaire des différentes conduites du réseau, leurs matériaux, leurs diamètres et leurs âges, de même que la localisation et le type des différents appareils (mesures, protection du réseau, etc.). Cette connaissance doit être transposée sur des plans de réseau mis à jour régulièrement. Les plans sont habituellement de deux types :

1. Des plans généraux à échelle relativement petite entre 1/2000 et 1/1000 qui permettent d'avoir l'ensemble du réseau et facilitent la compréhension de son fonctionnement, notamment lorsqu'il faut isoler un secteur.

C'est l'outil de base du fontainier (employé responsable de la production et de la distribution d'eau potable). De nombreux services possèdent ce type de plans, mais tous ne sont pas remis systématiquement à jour. Trop souvent, chaque agent reporte les modifications, dont il a connaissance, sur son propre plan sans faire remonter cette information. L'utilisation des « Systèmes d'Information Géographiques » (SIG), lorsqu'ils sont adaptés aux besoins des utilisateurs, facilitent cette tâche. Sur ces plans doivent figurer :

- Tous les équipements et appareils liés au fonctionnement du réseau (réservoirs, vannes des sectionnements, appareils de régulation,...) ;
  - Le diamètre et le matériau des conduites ;
  - Quelques côtes altimétriques du terrain ;
2. Des plans précis à grande échelle (au 1/200, 1/500), définis par rue, sur lesquels figureront :
    - L'emplacement des branchements et la triangulation des robinets de prise en charge ;

- Le positionnement exact du réseau (en 3D) et de ces appareils annoncés (appelés à vidanges et ventouses) ;
- La position des réseaux voisins ;
- Le matériau, le diamètre et l'âge de la conduite et des branchements.

Les éléments indiqués ci-dessus ne sont pas exhaustifs. L'utilisation de l'informatique permet aujourd'hui de prendre en compte de nombreux paramètres supplémentaires et d'utiliser facilement les sémiologies (forme et couleur) numériques.

#### 4.2 Informations relatives au fonctionnement du réseau

Il s'agit là d'un aspect de la connaissance moins habituel que le précédent mais certainement, tout aussi important et complémentaire.

Dès qu'il atteint une certaine importance, soit 100.000 m<sup>3</sup> mis en distribution par an, par exemple, le réseau doit être organisé en secteur de distribution et il est impératif de bien connaître les différentes catégories de volumes pour l'ensemble du réseau et pour chacun des secteurs, notamment :

- Le volume mis en distribution annuellement ;
- Les volumes comptabilisés pendant la même période ;
- Les divers volumes non comptabilisés (les pertes d'eau, le volume consommé pour les incendies ...) ;
- Les paramètres hydrauliques de chaque tronçon.

A partir de ces différentes catégories de données et des caractéristiques du réseau, seront calculés les rendements ® et indices habituels, comme les rendements primaires ( $R_p$ ) et nets ( $R_n$ ), les indices linéaires de pertes en distribution ou en réparation ( $ILP$ ), Avec :

$$R_p = \frac{\text{Volume comptabilisé } (V_c)}{\text{Volume mis en distribution } (V_d)} \quad (1.1)$$

$$Rn = \frac{Vc + \text{Volume autorisé non compté } (V_{ancp})}{Vd} \quad (1.2)$$

$$ILP = \frac{Vd - Vc}{\text{Longueur totale du réseau}} \quad (1.3)$$

Il peut également être intéressant d'avoir une idée des principales lignes piézométriques à différentes périodes, de connaître l'évolution des caractéristiques de l'eau, de même que de réaliser périodiquement des analyses de débit sur les compteurs des différents secteurs de distribution.

#### 4.3 Entretien du réseau

Quelles qu'aient pûes être les précautions apportées à l'exécution des chantiers et dans la gestion de la distribution, des ruptures et des fuites peuvent se produire. Ces phénomènes sont symptomatiques du vieillissement du réseau. C'est alors que nous déclenchons l'opération classique d'entretien curatif. Celle-ci nécessite d'abord une localisation de la fuite. Nous fouillons dans la zone où l'eau vient en surface, puis nous effectuons la réparation avec les moyens techniques disponibles (montage de joints lorsque cela est possible, mise en place de colliers de réparations des joints, pose de manchons...). Une attention particulière doit être portée sur les risques de pollution au cours de ces opérations de réparation. Lors des fuites sur les vannes, les ventouses et les décharges, nous procédons le plus souvent au remplacement systématique de l'appareil en cause.

D'autres actions peuvent également être entreprises. Elles résultent alors d'une attitude volontariste dans le domaine de la qualité de l'eau et dans le maintien des capacités hydrauliques du réseau. L'entretien préventif conduit à la lutte contre le vieillissement du réseau par des opérations de remplacement, ou par des opérations de réhabilitation des ouvrages.

Les procédures de réhabilitation sont destinées à remettre en état une conduite dont certaines caractéristiques se sont dégradées mais dont la qualité permet d'en continuer l'exploitation.

Le remplacement représente une pose d'une conduite nouvelle destinée à être substituée à un ouvrage ancien à abandonner.

Les procédés de réhabilitation ou de renouvellement sont très développés. La présence d'un organe de régulation nécessite la justification des travaux et des dépenses de renouvellement.

Pour comprendre l'évolution de l'état d'un réseau, il faut pouvoir en analyser les faits marquants, notamment les réparations.

Afin de pouvoir effectuer cette analyse, il est impératif de recueillir sur le terrain les nombreuses indications disponibles lors d'une intervention et créer une fiche des interventions qui reprendra entre autre :

- Les caractéristiques des conduites ;
- Leur état général ;
- Les caractéristiques du remblai existant et de l'environnement de la conduite ;
- Tous les éléments liés à l'intervention (durée, pièces utilisées ...).

Parallèlement, le fichier des appareils permettra de suivre le fonctionnement et l'entretien de ceux-ci.

Ces informations permettent de mettre à jour les différents plans présentés au § 5.1. De plus, le repérage des interventions sur ces mêmes plans conduit à identifier les secteurs à forte fréquence d'incidents. Par une exploitation statistique de ces fichiers et des informations reportées sur les plans, des fiches des conduites peuvent faciliter le traitement de ces informations. Il deviendra alors possible d'effectuer des prévisions sur les risques de défaillances (désordres) pour chaque secteur.

Bien que la liste de ces ouvrages, évoqués ci-dessus, ne soit pas exhaustive, elle précise les points qui semblent indispensables pour une bonne approche du renouvellement. Il s'agit de conditions nécessaires mais certainement pas suffisantes, car un autre facteur déterminant entre en ligne de compte: l'expérience des exploitants eux-mêmes, les distributeurs d'eau en général et plus précisément les gestionnaires de réseau [Igor BLINDU, 2004].

#### 4.3.1 Données relatives au réseau

La nature et l'origine des données sont différentes selon les services concernés par le réseau. Globalement, l'information relative au réseau conduira à la liste suivante :

- Secteur, nom de la rue et éventuellement le numéro du bâtiment ;
- Le diamètre des tronçons ;
- La longueur des tronçons ;
- Equipements de réseaux (vannes, organes de régulation, ventouses, etc. ...) ;
- La date de pose ;
- Emplacement de la conduite par rapport à la chaussée (ce facteur caractérise le fait que la conduite se trouve sous la chaussée ou le trottoir) ;
- Emplacement par rapport aux autres réseaux (assainissement, rejets divers, ...) ;
- Conditions de pose et protection (ces données concernent la profondeur de la canalisation et son lit de pose) ;
- Le matériau de canalisation ;
- Ouvrages annexes (éléments des réservoirs, les stations de pompage ou de traitement d'eau dont les caractéristiques interviennent dans les calculs des réseaux) ;
- Dernière intervention (caractéristiques : opérations de recherches de fuites, travaux de nettoyages effectués, ...) ;
- Points des livraisons particuliers :
  - poteaux et bouches d'incendie ;
  - abonnés spéciaux (hôpitaux, installations de lutte contre l'incendie, etc. ...) ;
- Pressions (charge hydraulique) :
  - la charge maximale autorisée ;

- la charge prévue de service (valeur théorique) ;
- la charge de sécurité ;
- Débits ;
- Nombre d'abonnés par unité de longueur ;
- Des données de consommation moyenne observée ou relevée sur les compteurs ou sur des points d'observation ;
- Date de dernier abonné ;
- Nature de l'eau ;
- Les analyses contenant notamment le taux d'oxygène dissous, le *pH* et la conductivité de l'eau ;
- Informations de diverses origines correspondant à une anomalie de fonctionnement des installations :
  - Insuffisance ou excès de pression ;
  - Qualité de l'eau ;
  - Débit insuffisant, ou trop élevé ;
  - Vitesse hors limites.
- Date de passage à un nouveau matériau ou de remplacement ou de réhabilitation. Cette date peut être importante car elle permettra de comparer les différents matériaux : fonte grise/fonte ductile, joint expresse, revêtement intérieur, revêtement extérieur ;
- La longueur remplacée ;
- Le sol et sa corrosivité ;
- Trafic automobile.

#### **4.3.2 Les données concernant les défaillances et les interventions**

La réparation des défaillances est l'occasion de renseigner certaines variables de détérioration (profondeur de pose, nature de sol, humidité du sol) ainsi que l'état de corrosion de la conduite.

Apparemment, il n'existe aucune norme concernant la description des différents travaux d'entretien ou de réparation. C'est pourquoi, il est parfois impossible de distinguer une réparation effectuée sur un tuyau ou sur un branchement ou de discerner la canalisation affectée, lorsque deux conduites existent sur une même rue, le diamètre n'étant pas toujours indiqué [Igor BLINDU, 2004].

En résumé, les fiches et les formulaires associés aux défaillances et aux observations des dysfonctionnements fournissent les renseignements suivants :

- La rue et le secteur où a eu lieu la défaillance (et éventuellement le numéro de rue ou l'emplacement de la défaillance) ;
- La date et l'heure de la défaillance ;
- Le diamètre ;
- Le type de réparation ;
- Le temps d'intervention et le personnel ;
- Les outils, pièces et matériaux utilisés, la cause de la défaillance ;
- Le coût de la réparation ou du remplacement.

#### **5. Sécurité de l'alimentation en eau potable**

Assurer la continuité et la fiabilité de la distribution d'eau potable aux populations, c'est la préoccupation que relèvent au quotidien les distributeurs d'eau. Les réseaux modernes sont en général redondants, souvent interconnectés et permettent de limiter la portée des incendies, si bien que les défaillances passent généralement inaperçues pour le consommateur. Mais lorsque survient l'accident grave, c'est toute la population qui est directement menacée.

La vulnérabilité (ou sensibilité) d'un réseau d'alimentation en eau potable est fonction de ses composantes.

## **5.1 Mesures de protection et de sécurisation**

### **a. Disposition de protection physique**

- Des fermetures de sécurité et des alarmes anti-intrusion doivent équiper tous les accès aux surfaces libres d'eau potable (réservoirs) ;
- Les branchements de distribution doivent être équipés de clapets anti-retour (normalement et obligatoirement pour les branchements industriels), afin d'éviter tout retour d'eau contaminée dans le réseau.

### **b. Solutions de secours**

Un réseau de secours, distinct du réseau principal, peut permettre d'assurer l'alimentation de certains usagers prioritaires tels que les hôpitaux (*un tel réseau existe à Zurich (Suisse)*). C'est un réseau alimenté gravitairement par des sources, il dessert les hôpitaux et les abris, et des bornes fontaines pouvant être équipées de robinets (1 robinet pour 1000 habitants).

Les dispositifs ou les solutions de secours ne doivent pas être établis pendant la crise, ils doivent exister effectivement en réserve et pouvoir être activés rapidement. [MESNY 1997].

## **Conclusion**

La solution de renouvellement systématique des réseaux ne constitue pas une bonne alternative pour les responsables de la gestion de l'eau en Algérie, et en particulier dans la ville d'Alger, même si un renouvellement très important du réseau est prévu (entre 70 et 90 km chaque année, soit sur 4000 km de réseau, 1,75% par an). Celui-ci concerne des maillages des renforcements, ainsi qu'une sécurisation du réseau mais reste insuffisant pour éviter les effets des pressions trop élevées. La solution adoptée est une solution préventive, celle-ci sert à préserver les caractéristiques des conduites constituant le réseau, car les fortes pressions engendrent des casses, ainsi nous tentons de réduire celles-ci afin de ne pas aggraver les canalisations.



## **CHAPITRE II**

# **Problématique du passage en alimentation continue de la ville d'Alger**

## 1. Présentation de la ville d'Alger

La wilaya d'Alger compte quelques 3.5 millions d'habitants répartis sur 53 communes regroupées en 12 centres de gestion.

L'alimentation en eau potable de cette population est assurée au moyen de trois sources principales : les eaux de surface, les eaux de nappes phréatiques ainsi que les eaux issues du dessalement même si cette dernière n'est pas à des quantités très importantes, des travaux sont en cours pour que l'usine d'El Hamma fonctionne à son rendement prévu (200.000 m<sup>3</sup>/j prévu, soit 25% de la ressource totale disponible).

Les eaux collectées par les barrages et les forages sont acheminées jusqu'aux abords des villes, traitées pour être ensuite distribuées à la majorité de la population. La distribution aux consommateurs est assurée par un réseau maillé de canalisations de différents diamètres et matériaux représentant un linéaire de 4000 km environ sur un territoire de 750 km<sup>2</sup>.

La problématique de l'exploitant des réseaux d'Alger se pose en plusieurs points. Une démographie galopante, une urbanisation mal contrôlée, un réseau vétuste et pour partie mal connu, rendent nécessaire la mise en place de moyens modernes et efficaces.

## 2. Problématique du passage en alimentation continue

La ville d'Alger est divisée en quatre secteurs : centre, ouest, nord et sud. Les quatre secteurs reçoivent environ 330.000 m<sup>3</sup>/j, soit un peu plus de 40% de la ressource disponible.

SEAAAL n'a mené aucune étude détaillée des secteurs Ouest et Nord et s'est focalisé sur les réseaux servis en gravitaire, alors que beaucoup sont alimentés par les conduites de refoulement des stations de pompage aux réservoirs.

Pour l'ensemble des quatre secteurs cités, la pression de nuit moyenne, au point de cote moyenne, est de l'ordre de 80m. Ce chiffre est inexact, puisqu'il a été calculé sans tenir compte de l'importance relative des secteurs, ni des éventuelles pertes de charge de nuit, mais l'excès de pression est évident.

Il semble que les réseaux historiques d'Alger aient été peu rénovés. D'après l'étude de la Société des Eaux de Marseille (*SEM*), les conduites y sont encore à 90% en fonte grise à joint plomb, et les branchements en plomb. Ces réseaux ont bien sûr été fragilisés par

l'intermittence de l'alimentation (il y a trois ou quatre ans, le Centre d'Alger recevait l'eau un jour sur trois).

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

Les responsables de la distribution d'Alger ont expérimenté l'effet négatif de l'excès de pression quand ils ont tenté d'alimenter en permanence certains quartiers du Centre Ville ; il leur a fallu sept mois pour résorber les fuites créées pendant leur essai.

### **3. Effets des fortes pressions**

#### **3.1 Les pertes d'eau**

Nous entendons par pertes d'eau, toute eau distribuée non facturée :

- Piquages illicites ;
- Eaux sans compteurs ;
- Facturations forfaitaires ;
- Fuites sur réseaux.

Certaines des pertes sont apparentes : les consommations publiques ne sont pas souvent intégralement mesurées.

Le nettoyage des rues et des camions de voirie représente en général moins de 1 % du volume produit. Mais la consommation des bâtiments municipaux peut être significative, y compris à cause des fuites intérieures. L'arrosage des espaces verts et la consommation des fontaines publiques doivent aussi être contrôlés. La pose de compteurs doit être systématique.

Le passage en surverse des réservoirs est une source de perte importante. Nous devons installer des capteurs de mesure de hauteur d'eau ou des compteurs sur les conduites de trop-plein.

Mais l'essentiel des pertes est dû aux fuites souterraines sur les réseaux qui se répartissent en deux groupes :

- Des fuites en grand nombre, la plupart trop petites pour justifier le coût de leur détection et réparation (points de corrosion, fuites aux joints et aux raccords). Nous pourrions dire qu'elles constituent sur le réseau une sorte de « bruit de fond », ou d' « arrière-plan » des fuites importantes. Ces fuites, presque inexistantes sur les réseaux neufs de bonne qualité, peuvent représenter jusqu'à 20 m<sup>3</sup>/j/km de conduite sur les réseaux anciens ou fragiles.
- Un petit nombre de fuites importantes qu'il faut réparer.

La majorité de ces dernières sort assez rapidement en surface, ou perturbe suffisamment l'alimentation pour faire l'objet d'une détection et d'une réparation assez rapide. Le petit nombre qui reste souterrain représente des volumes perdus élevés, puisqu'elles peuvent couler indéfiniment.

De nouvelles fuites apparaissent constamment. La réduction des pertes est une activité qui se déploie dans le temps ; il faut pouvoir progresser dans certaines zones sans perdre les résultats déjà acquis ailleurs.

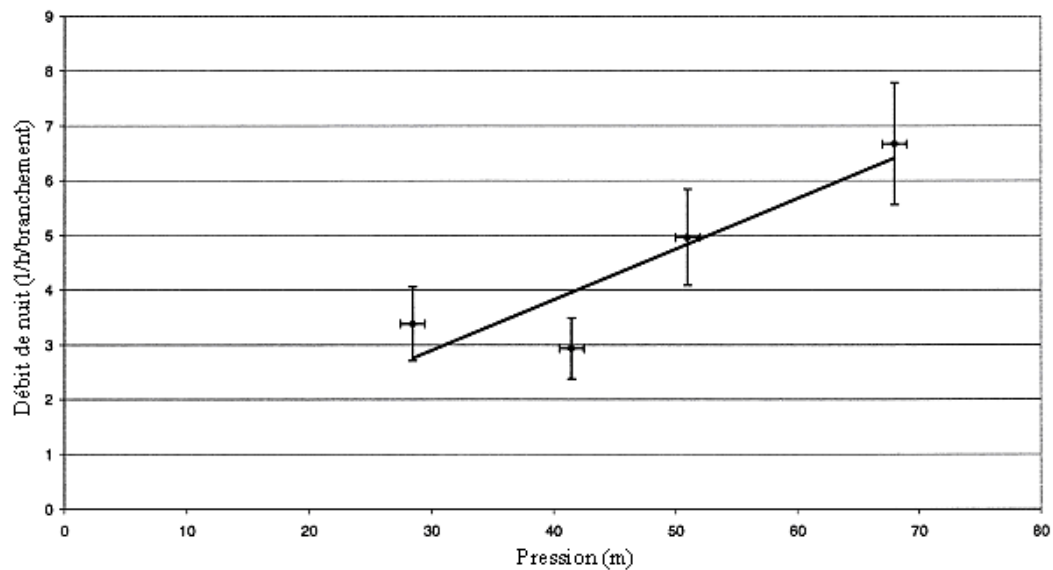
### **3.1.1 Relation entre la pression et les pertes d'eau**

De 1999 à 2003, l'*UKWIR* (UK Water Company) a étudié pour l'industrie de l'eau anglaise la relation entre pression et pertes d'eau.

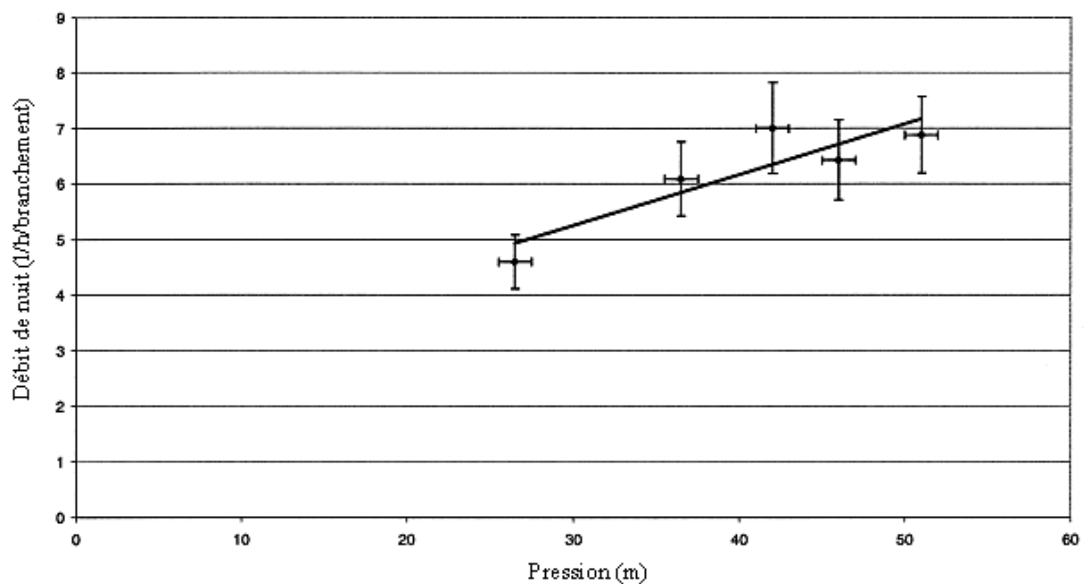
L'étude a d'abord mis en évidence une relation nette entre le débit de nuit, dont les fuites sont la composante essentielle, et la pression de service. Les deux graphiques ci-dessous (Figures II.1 et II.2) les comparent pour 125 secteurs de la Bristol Water et 805 de la Yorkshire Water.

Sur le premier graphique (Figure II.1), le débit de nuit suit la pression de façon quasi linéaire : il passe de 3 l/h/branchement à 30 m de pression de nuit à 6,5 l/h/branchement à 70 m.

Sur le deuxième (Figure II.2), la relation est plutôt à la racine carrée. Pour une augmentation de la pression d'un facteur 2 (de 27 m à 52 m), le débit de nuit augmente d'un facteur 1,5 (de 4,5 l/h/branchement à 7 l/h/branchement).



**Figure II.1 :** Relation entre débit de nuit et pression de service (pour 125 secteurs de la Bristol Water). [Document technique de SEAAL]



**Figure II.2 :** Relation entre débit de nuit et pression de service (pour 805 secteurs de la Yorkshire Water). [Document technique de SEAAL]

L'UKWIR a aussi étudié le rythme d'augmentation « naturelle » des pertes en l'absence d'une politique active de recherche des fuites (En dehors de la réparation de celles venues en surface et du suivi des réclamations des abonnés pour manque de pression). Sur la base des données relevées sur 129 secteurs, l'étude a conclu que cette augmentation est faible

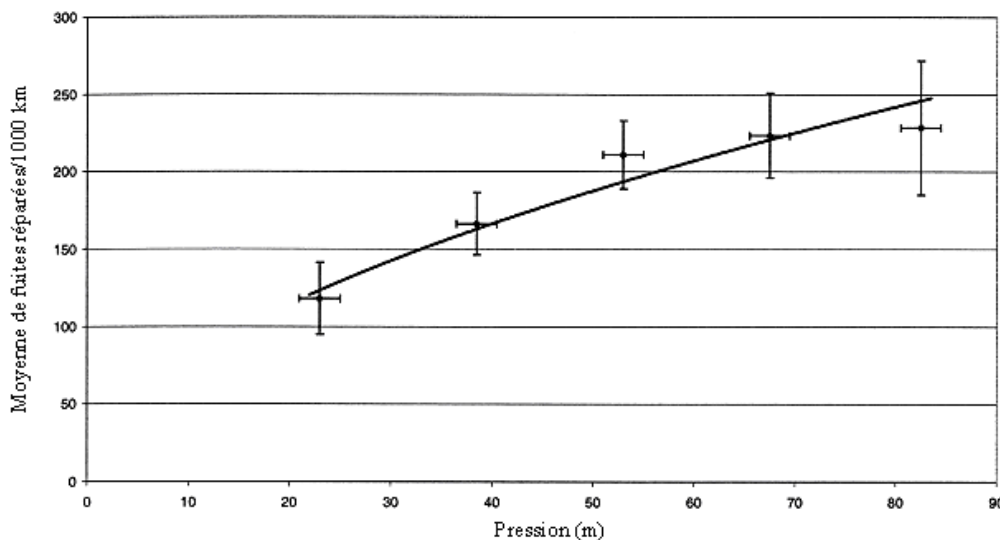
sur les réseaux alimentés à une pression de nuit inférieure à 50 m, mais qu'elle est de 17  $m^3/branchement/an$  sur les réseaux alimentés à une pression supérieure.

La pression a clairement une incidence sur le débit des fuites et sur leur nombre, c'est-à-dire sur leur rythme d'apparition.

### 3.1.2 Relation entre pression et fréquence des casses

Les études ont indiqués une forte corrélation entre la pression de service de nuit et la fréquence des fuites réparées.

Le graphique ci-après (Figure II.3) indique le nombre de fuites réparées par an en fonction de la pression moyenne de nuit sur 750 secteurs de la Yorkshire Water.

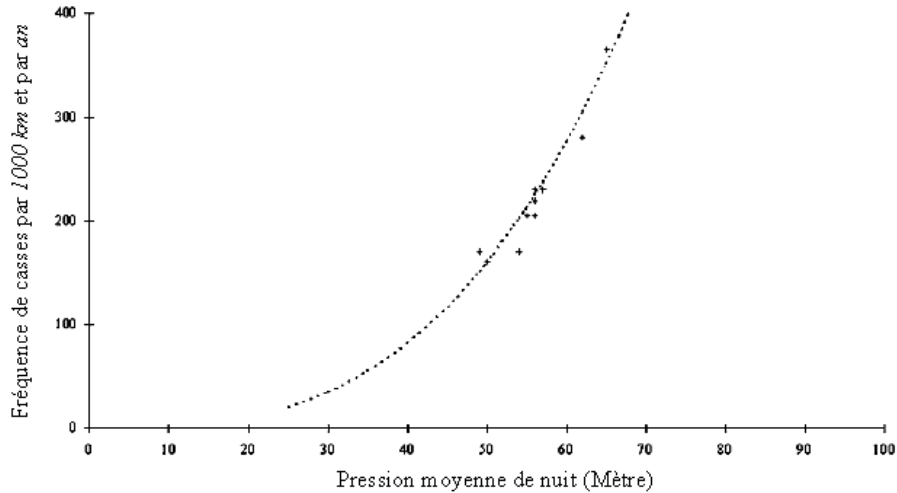


**Figure II.3 :** *Relation entre la pression et le nombre de fuites réparées.* [Document technique de SEAAL]

Pour une augmentation de la pression d'un facteur 3.5 (de 24 à 84 m), le nombre de réparations a augmenté d'un facteur 2 (de 120 à 230).

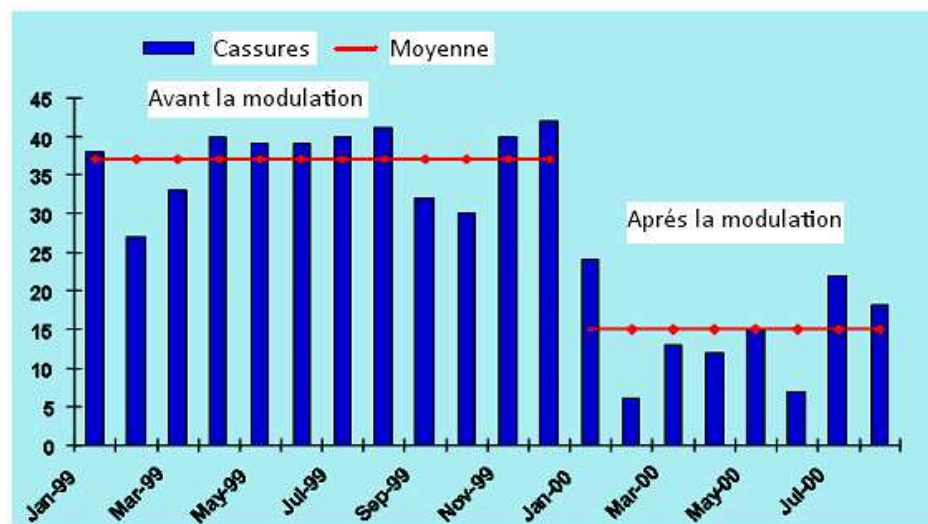
L'étude de l'UKWIR a conclu: « *Un rapport à la racine carrée entre la pression moyenne de nuit et la fréquence des casses peut être utilisé pour prédire, de façon pessimiste et à minima, les effets du contrôle de pression. Les résultats obtenus devraient être meilleurs, grâce à la stabilité apportée par la régulation de pression.* »

Dans l'exemple ci-dessous (Figure II.4), issu d'une autre source (Alan Lamberts, l'ensemble de la Welsh Water), le nombre de fuites varie au cube du rapport des pressions de nuit.



**Figure II.4 :** *Fréquence de cassure en fonction de la pression de nuit.* [Document technique de SEAAL]

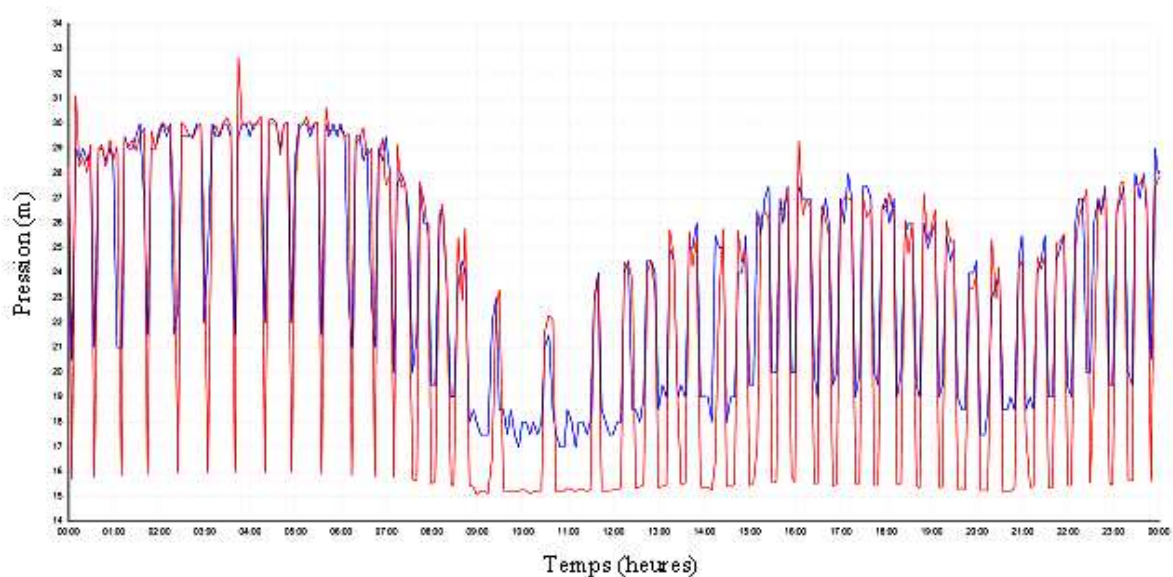
Le graphique suivant (Figure II.5), présente le résultat d'une campagne de réduction de pression sur le réseau d'amiante-ciment de Palmira (Colombie). Des résultats similaires ont été obtenus sur celui de Bologne (Italie).



**Figure II.5 :** *Nombre de cassures avant et après la réduction de pression.* [Document technique de SEAAL]

Nous venons de voir que les pressions statiques trop élevées créent des fuites. Une variation brusque de pression peut en créer aussi.

La trop grande rapidité de manœuvre d'une vanne en est la cause la plus fréquente. Le graphique ci-dessous (Figure II.6), montre les variations de pression dues à l'opération d'une vanne électrique à l'entrée du réservoir d'Indicatore, en Toscane (en rouge, la pression à l'entrée du réservoir, en bleu, celle mesurée sur sa conduite d'alimentation de 200 mm, à deux kilomètres à l'amont).

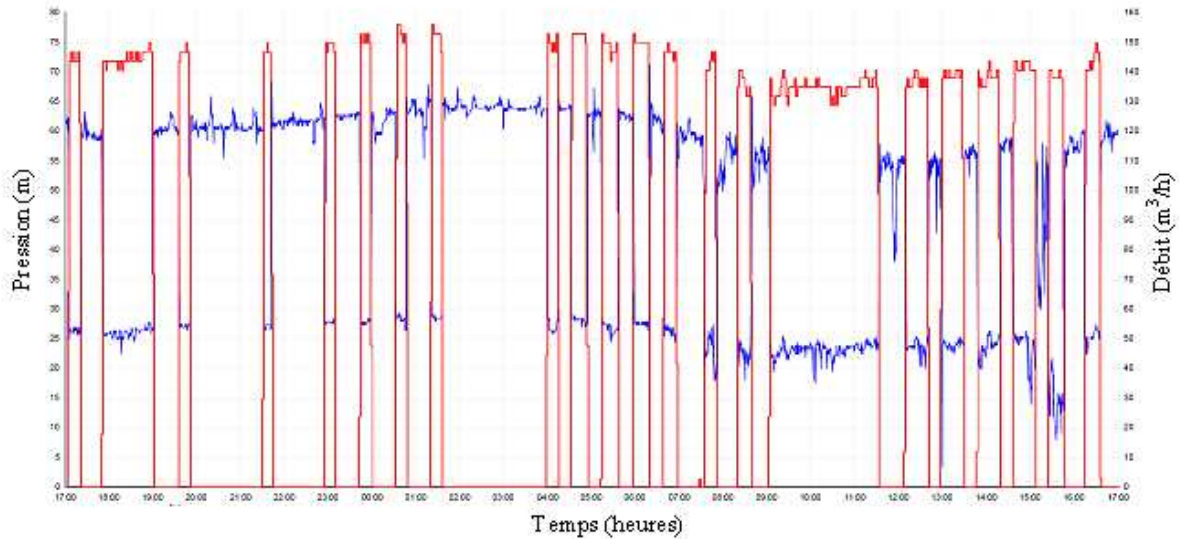


**Figure II.6 :** *Variation de la pression due à une manœuvre rapide d'une vanne.*

[Document technique de SEAAL]

La perturbation peut aussi être due aux tirages d'un abonné industriel. Le graphique ci-après (Figure II.7), superpose débit (rouge) et pression (bleu) enregistrés au branchement de 150 m de la SOMADIR à Casablanca. L'intervalle d'enregistrement est de 2 m pour le débit, 30 s pour la pression. Elle varie de 40 m à chaque tirage ; le phénomène se répète plus de vingt fois par jour.





**Figure II.7 :** Variation de la pression due au tirage d'un consommateur industriel.

[Document technique de SEAAL]

### 3.1.3 Relation entre pression et débit des fuites

Pour évaluer le rapport entre la pression dans la conduite et le débit déchargé à l'atmosphère par une fuite, un technicien se réfère, en général, à la formule :

$$Q = k.S.\sqrt{2gh} \quad (3.1)$$

Où  $S$  représente la section de l'orifice,  $k$  un coefficient de décharge,  $g$  est égal à  $9,81 \text{ m/s}^2$  et  $h$  (en mètres) la pression nette à l'orifice.

Suite à une modification de la pression de  $h_1$  à  $h_2$ , le rapport des débits  $Q_1$  et  $Q_2$  est :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (3.2)$$

G. Gergaut, expert du groupe *VEOLIA*, a modifié, une nuit après l'autre, la pression de sortie d'un réducteur, et a enregistré les débits de nuit sur le réseau aval, en *PVC*, pour chaque valeur. Le tableau suivant (Tableau II.1) représente les résultats obtenus (la pression est augmentée chaque nuit de 0,5 bar):

N° des Essais	1	2	3	4	5	6	1 bis
Pression aval (bars)	1,7	2,2	2,7	3,2	3,7	4,2	1,7
Débit de nuit (m <sup>3</sup> /h)	1,12	1,96	2,04	3,36	3,96	5,7	2

**Tableau II.1 :** *Débit de nuit en fonction de la pression.* [Document technique de SEAAL]

Nous pouvons faire les remarques suivantes :

- Le retour à la pression d'origine (1 bis) ne permet pas de revenir au débit d'origine : des fuites se sont agrandies, ou de nouvelles se sont créées.
- L'augmentation de pression de 1,7 à 4,2 bars a théoriquement pour conséquence une augmentation du débit d'un facteur 1,6. Dans l'expérience, ce facteur est de 5,1.

Cette simple expérience, réalisée sur un petit réseau, a donné les mêmes résultats que de nombreuses mesures réalisées par l'UKWIR, dont l'étude a abouti aux constatations suivantes :

La vitesse de passage de l'eau à travers un orifice de section fixe varie bien suivant la théorie, à la racine carrée du rapport des pressions disponibles à l'orifice. Mais la section de l'orifice et le coefficient de décharge ne sont pas constants pour les fuites de petite dimension, celles qui constituent le « bruit de fond » du réseau.

En général, le débit des fuites à ces points faibles varie suivant :

- La racine carrée du rapport des pressions pour la vitesse de passage de l'eau,
- Le rapport des pressions pour la section de l'orifice.

Pour une fuite de ce type, une baisse de pression d'un facteur 2 pourra réduire le débit par 2,9, soit deux fois la réduction de débit d'une fuite à section constante.

D'autre part, si le coefficient de décharge est constant en régime turbulent (0,75), il varie en régime laminaire. Le régime d'écoulement des fuites de petite section comme les points de corrosion est laminaire, et la variation de pression peut entraîner une variation du coefficient de décharge par un facteur 3 (de 0,25 à 0,75).

Un réseau neuf de bonne qualité réagira globalement à la racine carrée du rapport des pressions. Un réseau fragile ou ancien, où le « bruit de fond » est important, sera beaucoup plus sensible à leur variation. Les fuites intérieures, très importantes dans les pays en voie de développement, le sont probablement bien plus aussi.

En conclusion, les équations générales les plus adaptées à l'analyse et la prédiction simple du rapport entre la pression ( $P$ ) et le débit des fuites ( $L$ ) sur les réseaux d'eau sont:

$$\frac{L_1}{L_0} = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{NI} \quad (3.3)$$

Dans les équations ci-dessus, l'exposant  $NI$  va de 0,5 jusqu'à 2,5, suivant le type de fuites et leur proportion sur le réseau :

- Le débit des petites fuites indétectables aux joints et aux raccords est très sensible à la pression, avec des valeurs typiques de  $NI$  proche de 1,5.
- La valeur typique de  $NI$  pour les fuites importantes sur les conduites en plastic est de 1,5 ou plus.
- La valeur typique de  $NI$  pour les fuites importantes sur les conduites en métal est proche de 0,5.
- La valeur moyenne de  $NI$  tirée d'échantillons anglais, japonais et brésiliens est de 1,15.

Sans connaissance particulière des matériaux des conduites et des niveaux de pertes, nous ferons l'hypothèse d'une relation linéaire entre la pression et le débit des pertes ( $NI = 1$ ). L'*UKWR* conclut : « Pour évaluer l'intérêt de la réduction des pressions sur des zones importantes, on utilisera une relation pression/débit des pertes linéaire ».

Voici les résultats de quatre opérations importantes de réduction de pression :

- *MANCHESTER* : installation de 118 réducteurs de pression - économie de 58.000 m<sup>3</sup>/j ;
- *JOHANNESBURG* : installation de 14 réducteurs de pression - économie de 22.000 m<sup>3</sup>/j ;
- *LONDRES* : installation de 31 réducteurs de pression - économie de 29.000 m<sup>3</sup>/j ;
- *SAO PAULO* : installation de 66 réducteurs de pression - économie de 65.000 m<sup>3</sup>/j.

### 3.2 Le débit de nuit

En alimentation stabilisée, la demande est minimale la nuit. Mesurer les débits de nuit, c'est donc mesurer les pertes sur le réseau et chez les abonnés.

La mesure régulière du débit de nuit de petits secteurs étanches permet donc de localiser les fuites importantes qui existent, mais aussi d'être informé rapidement de l'apparition de nouvelles fuites.

## 4. Recours à la modulation

Aujourd'hui, les responsables de la distribution de la ville d'Alger tentent d'éviter les conséquences des pressions élevées de diverses manières :

- Création d'étages intermédiaires par tierçage des vannes ;
- Isolement des conduites les plus fragiles (mise hors service par fermeture des vannes) ;
- Alimentation à pleine pression pendant dix heures par jour, puis interruption pendant les heures creuses, en fermant presque complètement les principales vannes d'alimentation de l'étage. Ainsi, la plus grande partie du réseau reste en eau et la pression est réduite aux heures creuses.

Ces mesures palliatives ne sont que partiellement efficaces. En effet, la *SEM* a, par exemple, mesuré une pression de nuit de 125m en point bas de l'un des étages d'Alger Centre, bien trop élevée, même si elle est inférieure à la pression maximale théorique de 185m.

La détection des fuites et la récupération de pression qu'elle va induire, puis le passage à l'alimentation permanente nécessitent un autre mode de protection des réseaux qui consiste à réguler la pression en fonction de la demande.

Un programme de régulation de pression mené à KHAYELITSHA, une banlieue très pauvre de CAPE TOWN, en Afrique du Sud, avec un réseau collectif et des installations intérieures en très mauvais état, a permis, grâce à une réduction de la pression d'alimentation moyenne de 25% (de 80m à 60m), une baisse du volume distribué de 40% (de 2500 m<sup>3</sup>/h à 1500 m<sup>3</sup>/h). Aussi, la régulation de la pression a permis d'obtenir des résultats spectaculaires sur plusieurs réseaux, vieux de plus de 100 ans et fragilisés par les bombardements du Blitz, du Centre de Londres : par exemple, sur le secteur d'OVAL (ELEPHANT and CASTLE,

35.000 m<sup>3</sup>/j), une baisse de seulement 4m d'une pression d'alimentation journalière déjà très basse (35m) a permis une économie du volume distribué par jour de l'ordre de 7%.

Sur les réseaux d'Alger, il est nécessaire de créer des étages de pression. Il y a peu de réservoirs situés à cote basse pour le faire. Les seuls existants sont ceux de Ravin (TP 55 m, 1000 m), trop petit et trop éloigné du Centre Ville, et de *TELEMLY (BENZINE)* (TP 88 m, 12.000 m<sup>3</sup>), utilisé aussi comme relais pour refouler vers les réservoirs de Bordj Boulila, Bologhine et Sahel.

Nous devons donc installer des vannes de régulation pour créer ces nouveaux étages, dont on fera varier la pression de sortie en fonction de la demande et de la perte de charge qu'elle induit. Nous aurons donc les quatre étages suivant :

- *TELEMLY* : Réseau alimenté par le réservoir *TELEMLY* (CR 82.94m, CTP 88.48 m 2 x 3500 m<sup>3</sup> + 2 x 2500 m<sup>3</sup>) ;
- *KOUBA 97* : Réseau alimenté par le réservoir de *KOUBA* (CR 89 m, CTP 97 m, 4 x 20.000 m<sup>3</sup>) ;
- *KOUBA 117* : Réseau alimenté par le réservoir de *KOUBA* (CR 110.12 m, CTP 117.3 m, 3 x 4803 m<sup>3</sup>) ;
- *BOULOGNE CENTRE* : Réseau alimenté par le réservoir *BOULOGNE CENTRE* (CR 203.96 m, CTP 208.86 m, 2 x 4500 m<sup>3</sup>).

## Conclusion

Il n'y a pas que quatre étages pour lesquels la modulation de pression est prévue. Il reste les étages suivants : *BOULOGNE*, *BOUZEREAH*, *SAHEL* et *FORT L'EMPREUR*. Ces derniers seront réalisés en priorité 2.

Nous nous sommes intéressés à l'étude de la modulation de la pression de l'étage *TELEMLY*, nous présenterons ce dernier dans le chapitre suivant.

## **CHAPITRE III**

# **Modulation de la pression**

## **Introduction**

En principe, une ville moderne doit avoir un bon service de l'eau (alimentation continue). Pour assurer un tel service, il faut faire face à plusieurs contraintes comme l'augmentation de la pression aux points bas du réseau pendant les heures creuses, ce qui augmente le débit des fuites, et surtout pour les anciens réseaux (cas de la ville d'Alger). Comme le choix de rénovation, dans le cas de grandes villes n'est, en général, pas évident, la modulation de la pression peut constituer une alternative intéressante.

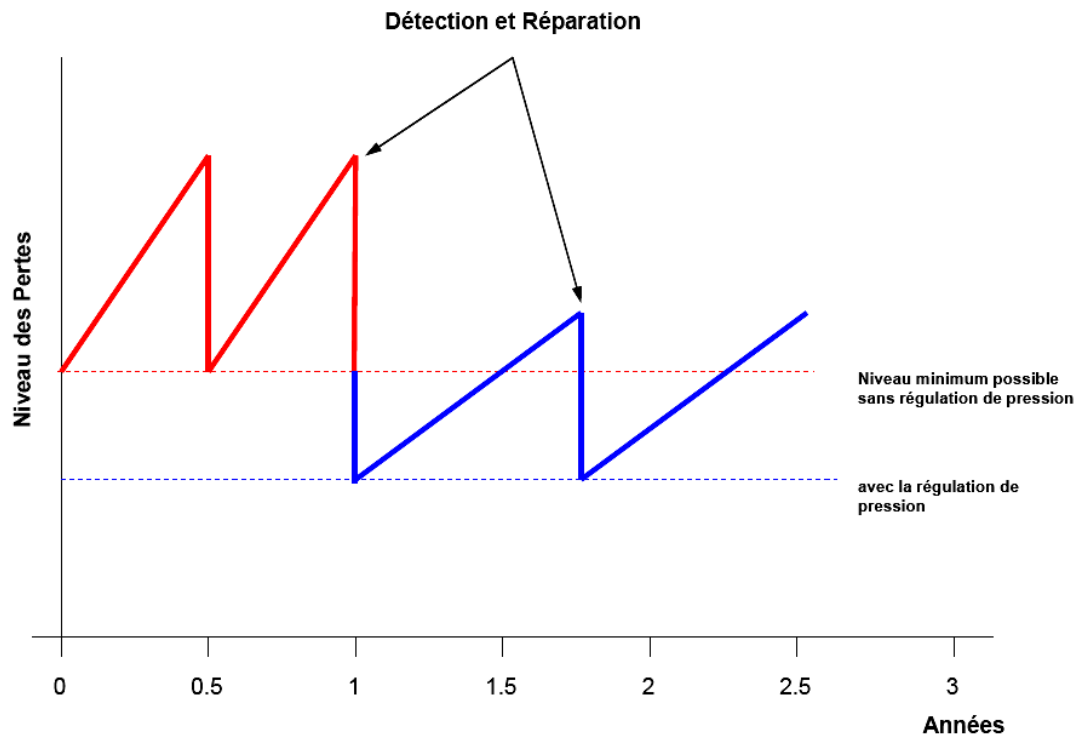
### **1. Définitions**

La modulation permet d'adapter la pression d'entrée d'un réseau aux variations de la demande : nous évitons ainsi de le « surpresser » en permanence, de la valeur de la charge perdue par friction, pour alimenter le point critique à la pointe de la demande. Cela n'entraîne pas que la perte de charge ne soit plus nuisible pour le réseau ; elle contraint toujours à le « surcharger » en totalité, sauf sa partie la plus extrême ou la moins bien servie. La base de la modulation de pression est donc de la réduire au minimum admissible. Elle permet aussi la réduction des pertes d'eaux occasionnées par la forte pression.

### **2. Stratégie combinée**

Associer régulation de la pression et mesure du débit de nuit est très efficace : la régulation de la pression réduit le débit des fuites existantes et ralentit l'apparition de nouvelles. La mesure du débit de nuit oriente la recherche des fuites importantes.

Le contrôle de la pression permet d'atteindre un niveau de pertes plus bas et de réduire le rythme des interventions (step-test, détection acoustique) nécessaires pour s'y maintenir. Ce résultat est présenté ci-après sous forme graphique (Figure III.1).



**Figure III.1 :** *Stratégie combinée.* [Document technique de SEAAAL]

Ralentir l'apparition des fuites réduit les frais de réparation et permet souvent de différer le remplacement de conduites. Dans ce cas, l'économie de capital peut être considérable.

### 3. Modulation de la pression d'entrée de réseau suivant la demande

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

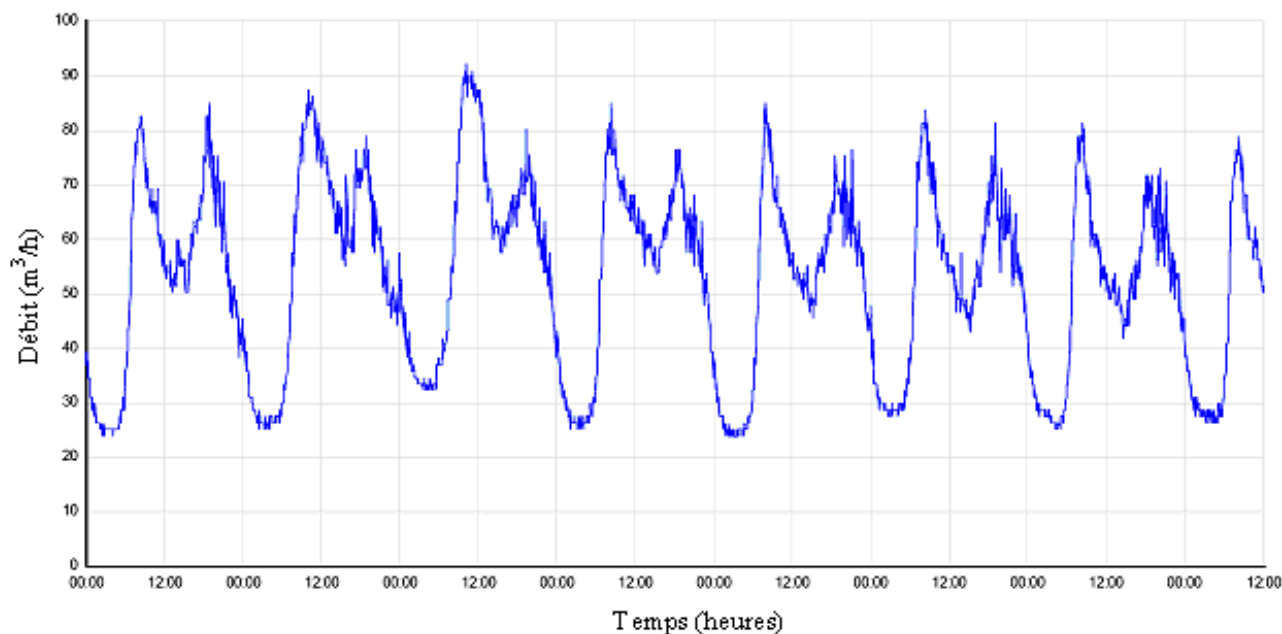
La pointe est un phénomène très aigu, mais presque transitoire, et la période de forte demande dure peu. Comme la perte de charge varie au carré de la vitesse de l'eau, la pression au point critique, souvent à peine suffisante à la pointe, est excessive dès après la pointe, et le réseau est surchargé durant 90 % du temps.

Les graphiques et histogrammes suivants présentent une illustration.

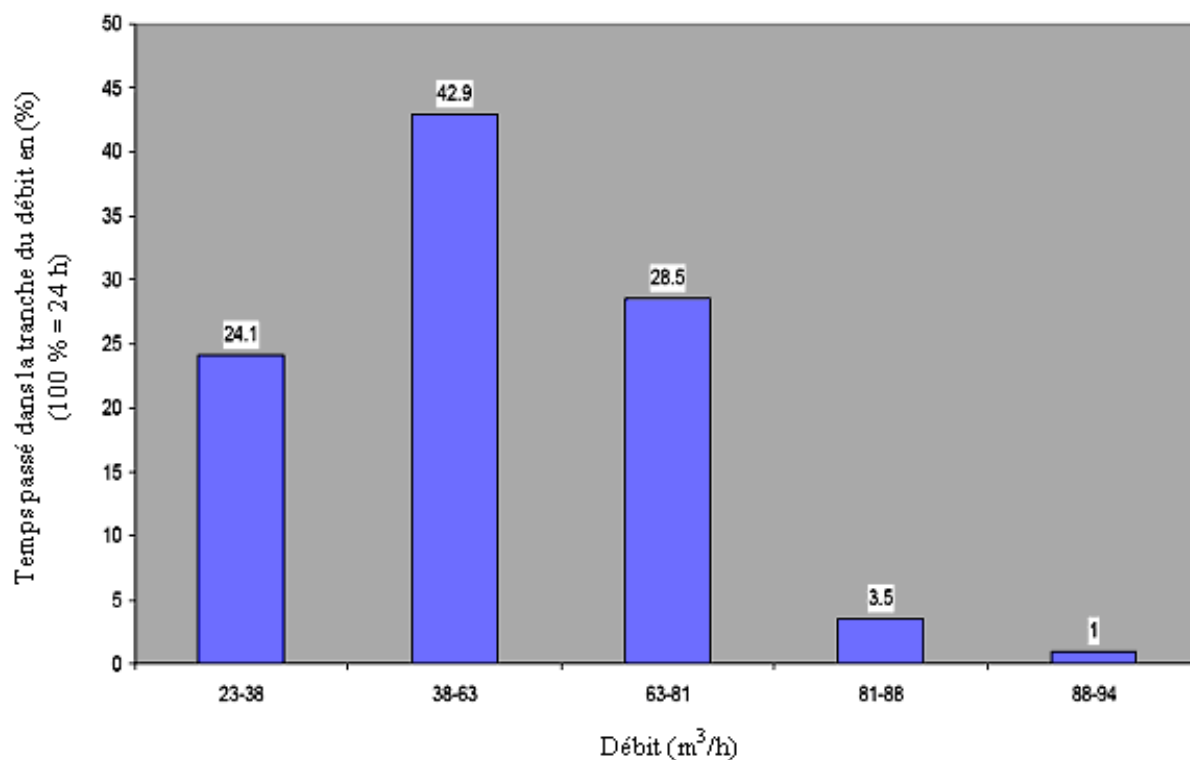
Le premier (Figure III.2) montre les débits d'alimentation du secteur « Westminster » dans la banlieue de Manchester.



L'histogramme qui suit (Figure III.3) en analyse les données : il indique le temps passé dans chaque tranche de débit. Nous voyons que la durée des tirages aux débits de pointe ne représente que 4, 5% du temps, soit une heure par jour.

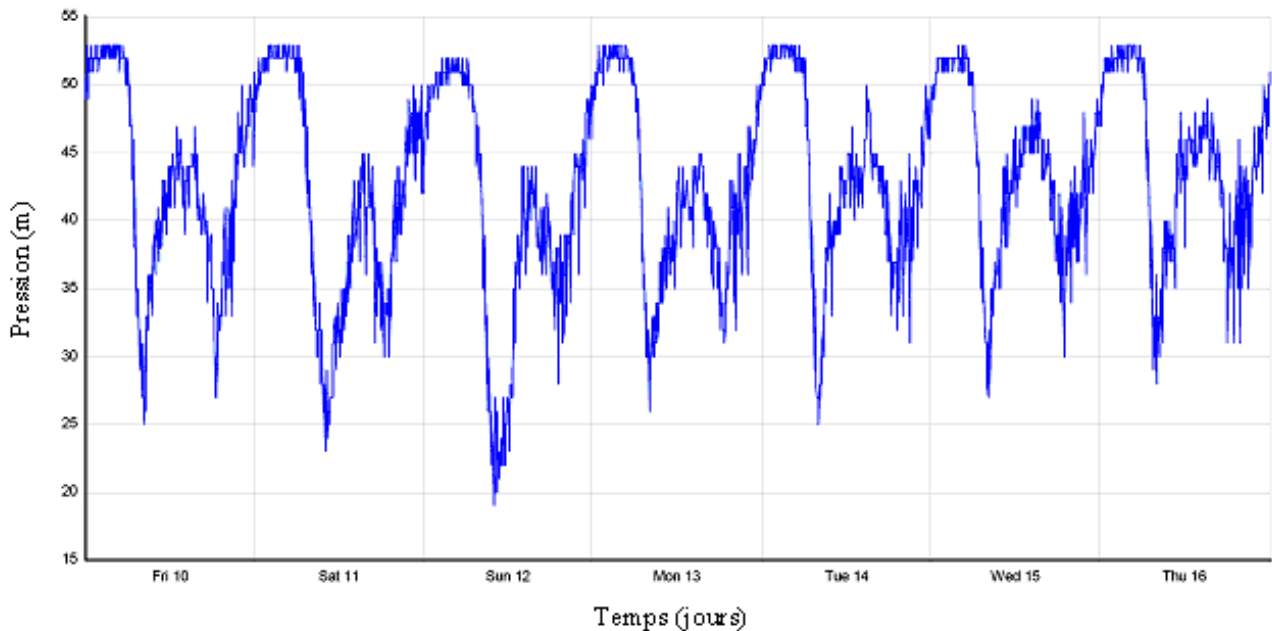


**Figure III.2 :** *Demande de Westminster en fonction du temps* [Document technique de SEAAL]

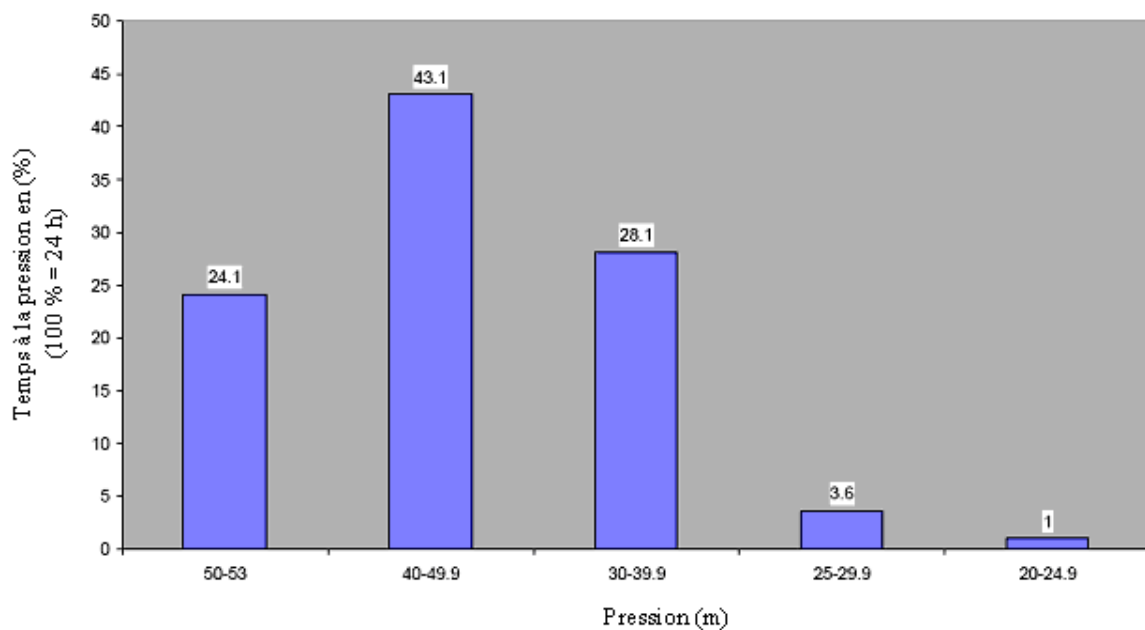


**Figure III.3 :** *Histogramme des débits.* [Document technique de SEAAL]

Le graphique ci-après (Figure III.4) présente les pressions au point critique pour la même semaine. L'histogramme qui suit analyse les données, en reprenant les durées indiquées dans l'histogramme des débits ci-dessus (Figure III.5). Nous voyons l'importance de la récupération de pression dès la pointe passée.



**Figure III.4 :** *Point critique de Westminster (pression en fonction du temps).* [Document technique de SEAAL]



**Figure III.5 :** *Histogramme des pressions.* [Document technique de SEAAL]

Avec une pression nécessaire et suffisante au point critique de 20 m, il est possible de réduire la pression sur le réseau de 10 m dès après la pointe. La plus grande réduction est évidemment possible la nuit (30 m pendant 6 h) ; mais elle est très importante pendant encore 10h/j (25 m).

Il faut donc moduler la pression à l'entrée d'un réseau en fonction de la demande. Nous pouvons pour cela utiliser des vannes de régulation hydrauliques à pilote (type Hydrobloc de BAYARD ou Hytrol de CLA-VAL), équipées d'un modulateur électronique (type Modulo de TECHNOLOG).

Il n'est pas nécessaire de faire communiquer le modulateur et le point critique : il suffit d'entrer dans sa mémoire une courbe de régulation (en fonction du temps ou de la demande). Le modulateur mesure en permanence la pression à réguler et la compare avec la pression de consigne mémorisée pour le débit ou la période concernés.

### 3.1 Vanne de régulation

#### A. Fonctionnement d'une vanne de régulation hydraulique à pilote

Une vanne de ce type se compose de :

a) la vanne de base comprenant :

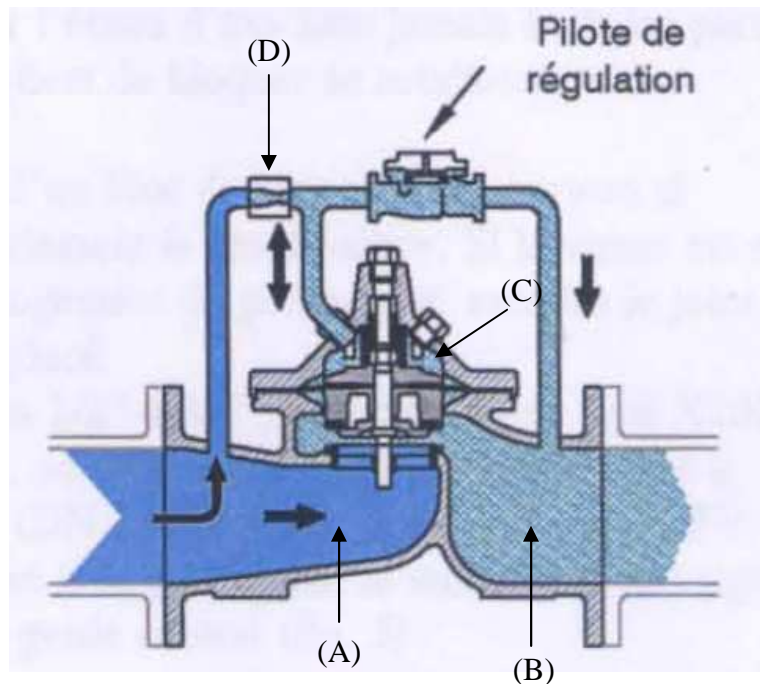
- un corps, séparé en deux parties ((A) et (B) de la Figure III.6 ci-dessous) par une cloison médiane qui comporte une ouverture (siège) ;
- un chapeau ;
- un ensemble mobile de fermeture avec une membrane de commande : pièce de liaison, clapet, axe de guidage, contre-siège.

Le chapeau et la membrane constituent et délimitent la chambre de contrôle de la vanne (C).

b) le circuit hydraulique de commande de la vanne, ou circuit pilote, qui comporte :

- Sur sa tubulure amont, une restriction (D) ;
- Sur sa tubulure aval, un pilote, qui agit comme un orifice variable, en fonction de la grandeur à réguler (dans le cas présent, la pression aval) ;

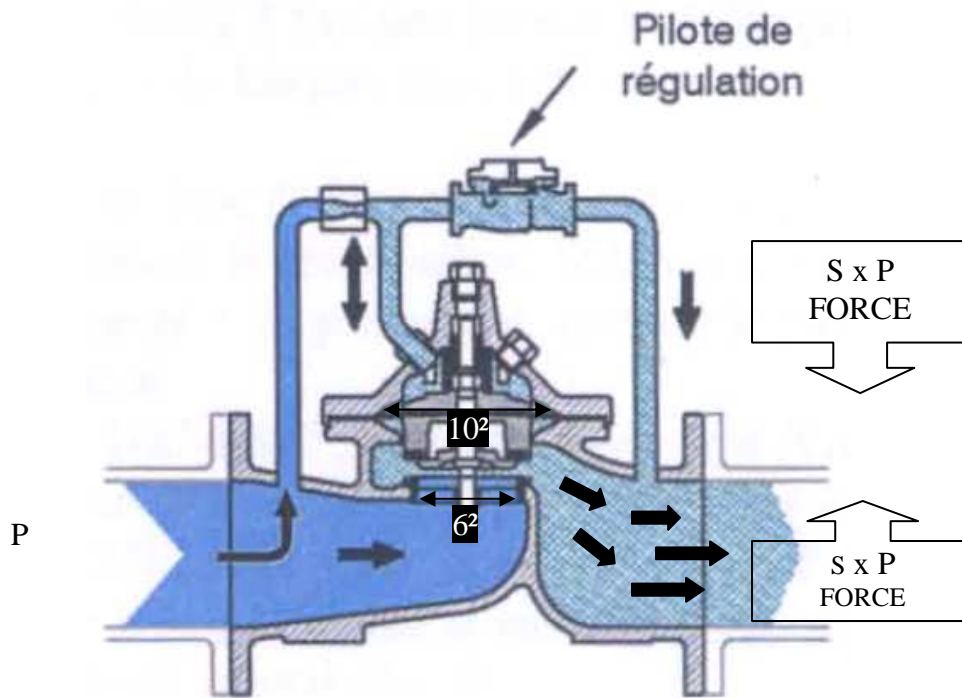
- Une liaison avec la chambre de contrôle.



**Figure III.6 :** *Schéma descriptif de la vanne de modulation.* [Document technique de CLA-VAL]

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

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



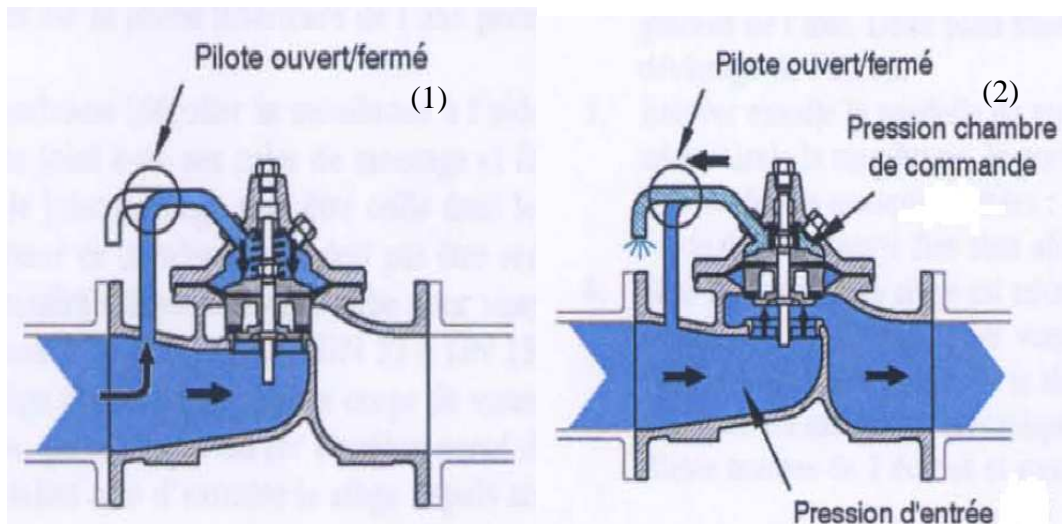
**Figure III.7 :** Schéma descriptif du principe de fonctionnement de la vanne de régulation.

[Document technique de CLA-VAL]

Les deux schémas ci-dessous (Figure III.8) en illustrent le fonctionnement.

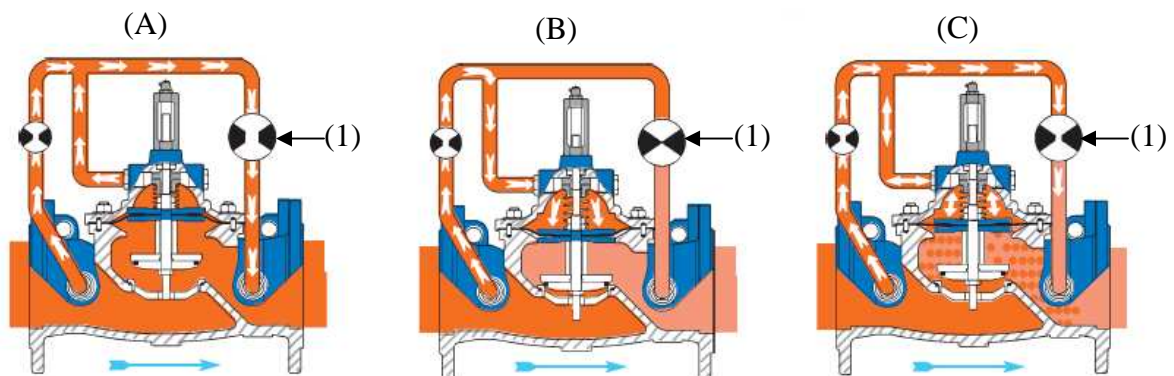
A gauche (Schéma (1)), le robinet de dérivation relie l'amont de la vanne à la chambre de contrôle ; la vanne est fermée.

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



**Figure III.8 :** Schémas illustrant le fonctionnement de la vanne de régulation. [Document technique de CAL-VAL]

L'installation d'un pilote sur le circuit de dérivation permet d'utiliser la vanne comme instrument de régulation. Nous présentons ici le fonctionnement d'une vanne équipée d'un pilote de régulation de la pression aval, mais en principe est le même quelque soit le pilote.



**Figure III.9 :** Schéma de fonctionnement de la vanne en régulation. [Document technique de PAM]

Avec ; (1) : Le pilote

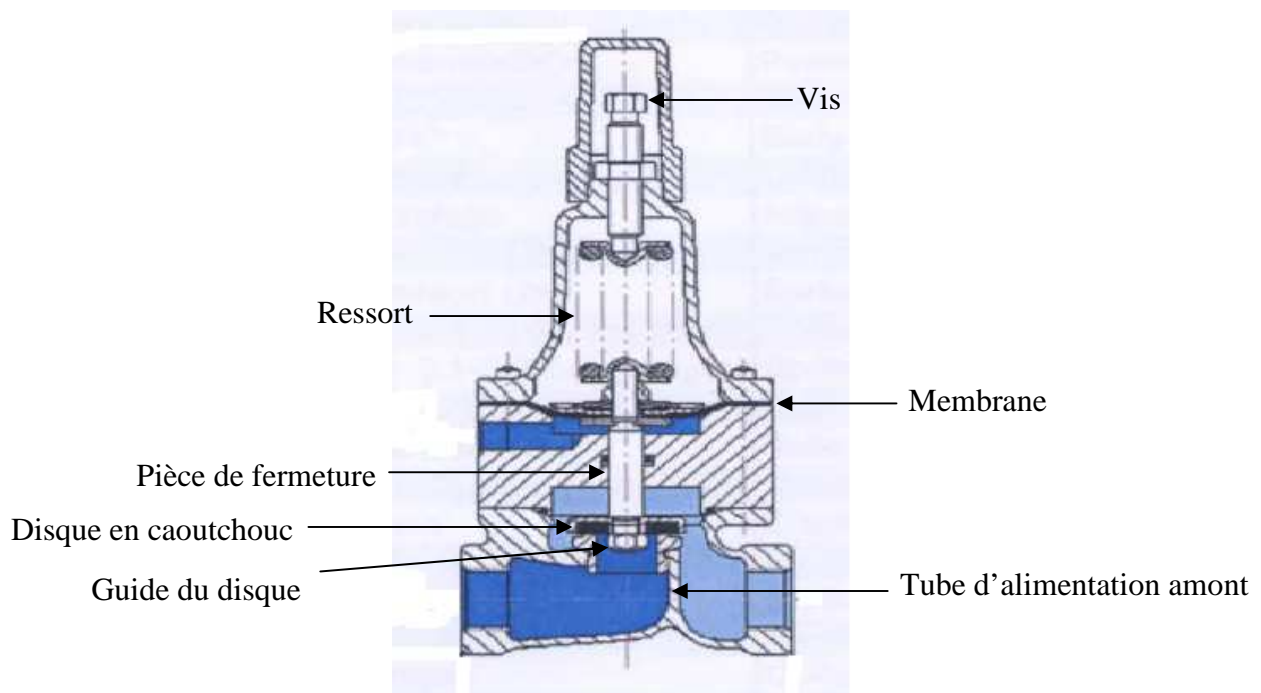
(A) L'ouverture contrôlée du pilote augmente son débit d'échappement à une valeur supérieure à celle du débit d'admission et provoque l'ouverture de la vanne de base.

(B) La fermeture contrôlée du pilote diminue son débit d'échappement à une valeur inférieure à celle du débit d'admission et provoque la fermeture de la vanne de base.

(C) Les positions alternées du pilote le stabilisent dans une position d'équilibre où son débit d'échappement est égal à celui du calibre d'admission et bloquent la vanne de base dans une position intermédiaire de service.

Le pilote joue le rôle d'un robinet à ouverture variable sans intervention manuelle. Comme la vanne principale, il comporte deux parties séparées par une membrane étanche. Dans la partie sèche se trouve un ressort. La membrane est soumise à la tension du ressort que nous réglons par enfoncement de la vis accessible à l'extrémité supérieure du pilote.

La pièce de fermeture du pilote est solidaire de la membrane. Cette pièce comporte un opercule situé en face de la tubulure d'alimentation du pilote. Le mouvement de bas en haut de la membrane déplace la pièce de fermeture et règle le passage de l'eau de l'amont à l'aval du pilote.



**Figure III.10 :** *Vue en coupe d'un pilote de contrôle de la pression aval.* [Document technique de CLA-VAL]

C'est le rapport des forces entre la poussée du ressort et la pression de l'eau, exercées de part et d'autre de la membrane, qui va déterminer le degré d'ouverture du pilote.

Si le pilote est fermé, c'est que la pression aval est supérieure à la pression de consigne fixée par la poussée du ressort. Au contraire, si la pression aval baisse et devient inférieure à cette poussée, par exemple à la suite d'une augmentation de la demande, le ressort se détend, repousse la membrane et le pilote s'ouvre.

Si le pilote est fermé, l'eau du circuit de commande, provenant de l'amont de la vanne, est envoyée dans la chambre de contrôle et la vanne se ferme.

S'il y a demande aval, la pression aval baisse et le pilote s'ouvre. La restriction située sur la tubulure amont du circuit hydraulique crée une perte de charge, et donc une différence entre la pression résultante présente dans la chambre de contrôle et la pression amont, qui s'exerce sous l'équipage mobile.

Le rapport des forces s'inverse, repousse la membrane vers le haut, l'eau présente dans la chambre de contrôle est appelée par la demande et s'échappe vers l'aval ; la vanne commence à s'ouvrir.

Une baisse de la demande aval entraîne le mouvement inverse ; la pression aval augmente, le pilote se referme, la chambre de contrôle de la vanne se remplit, et la vanne se ferme jusqu'à ce que l'équilibre entre les forces qui s'exercent sur la membrane du pilote s'établisse.

La vanne principale reproduit les mouvements de son pilote.

La pression aval reste constante, quelles que soient la pression amont et la demande aval. La vanne agit comme un « stabilisateur » de la pression aval.

### **B. Modulation de la pression de consigne d'un stabilisateur aval à pilote**

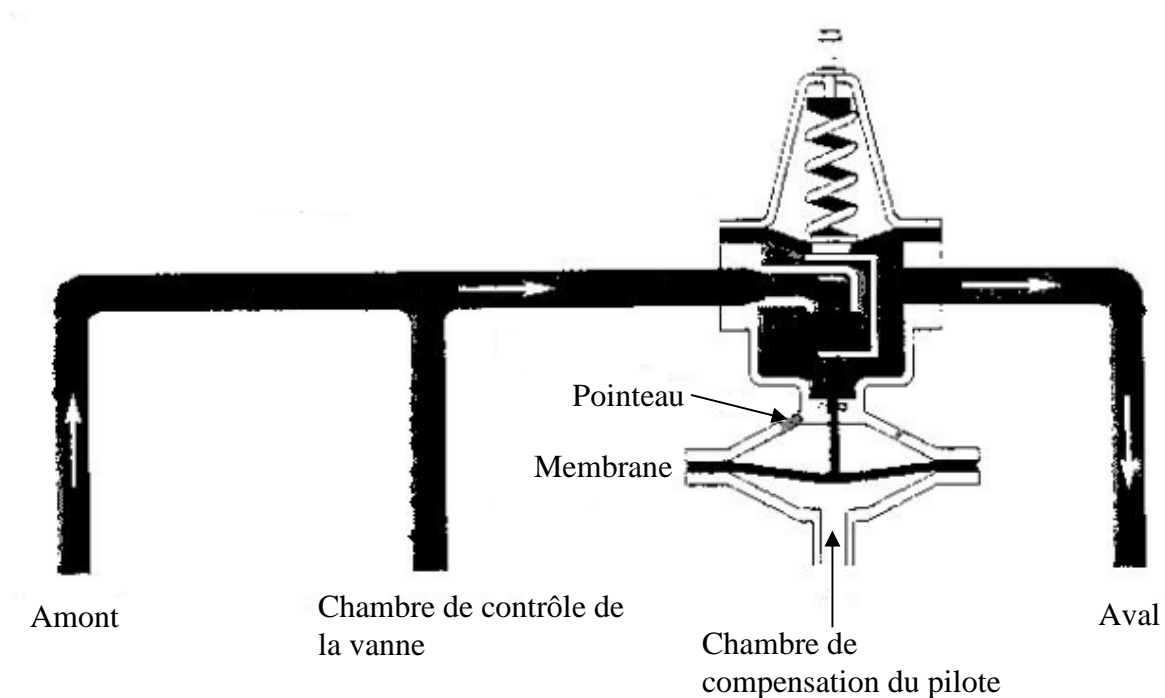
Pour modifier la pression de consigne du pilote, nous devons modifier la force exercée sur sa membrane par le ressort. Nous pouvons remplacer celui-ci par un axe vertical, actionné par un moteur électrique pas à pas. Mais la mécanique requise est relativement compliquée et fragile, et le courant doit être disponible dans le regard, par définition inondable.

Nous pouvons aussi exercer une force sur le ressort, par l'intermédiaire d'une chambre de régulation vissée au pilote.



Cette chambre comporte elle aussi une membrane qui la partage en deux parties. Dans l'une d'elles se trouve un pointeau métallique, solidaire de la membrane, et qui lui est perpendiculaire. L'autre partie est ouverte à l'atmosphère ; sa pressurisation déforme la membrane, et pousse le pointeau qui en est solidaire. Nous verrons plus loin différentes méthodes utilisées pour pressuriser la chambre.

La chambre de régulation est vissée sous le pilote, à la place du bouchon de fermeture. Le pointeau vient porter sous l'opercule de fermeture du pilote, et son déplacement de bas en haut exerce une force opposée à celle exercée par le ressort sur la membrane du pilote ; la pression de consigne de la vanne est la résultante de la soustraction des deux. Nous parlons de chambre de compensation.



**Figure III.11 :** *Pilote et chambre de compensation.* [Document technique de SEAAAL]

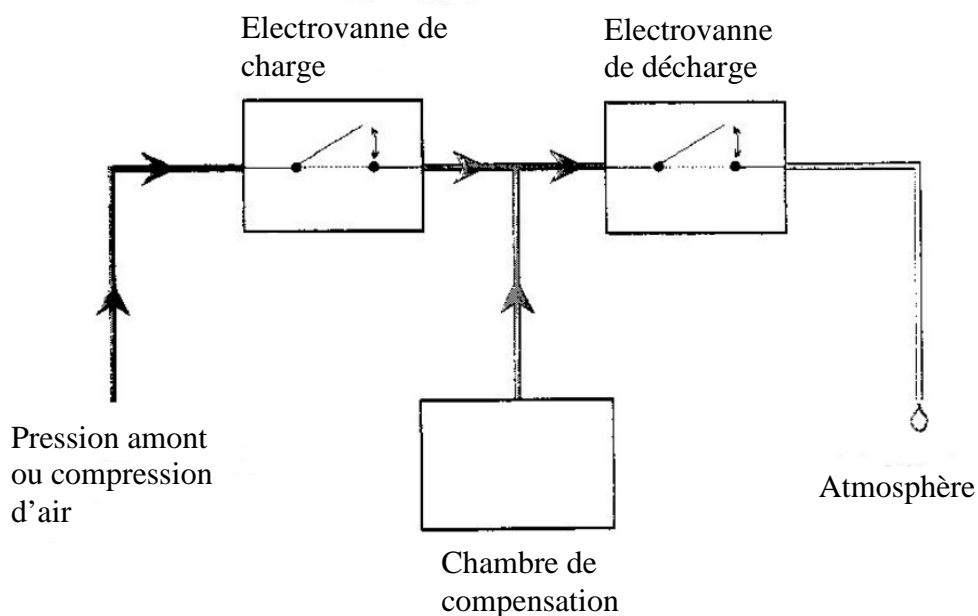
Le tarage manuel du pilote correspond à la pression maximale requise à l'heure de pointe, et pressurise la chambre de compensation pour ajuster la pression de consigne à la baisse de la perte de charge sur le réseau.

La figure ci-après (Figure III.12), montre un pilote nu.



**Figure III.12 :** *Schéma d'un pilote nu.* [Document technique de CLA-VAL]

Dans la première génération de modulateurs électroniques, la pressurisation de la chambre de contrôle était assurée par la pression de l'eau disponible à l'amont de la vanne principale (modulateur « hydraulique »). Nous utilisons aussi aujourd'hui l'air comprimé (modulateur « pneumatique »), mais le principe de fonctionnement est identique. Il est expliqué sur la (Figure III.13) ci-après.



**Figure III.13 :** *Principe de fonctionnement d'un modulateur pneumatique.* [Document technique de SEAAAL]

Le modulateur comporte un circuit à trois entrées dont deux sont équipées d'une électrovanne. L'entrée non équipée est raccordée par un tube à la partie de la chambre de compensation à pressuriser. Une des entrées équipées est raccordée à la pression amont de la vanne principale ou directement au compresseur d'air du modulateur, l'autre va à l'atmosphère. La pressurisation du circuit entraîne celle de la chambre de compensation.

Pour augmenter la pression dans le circuit, le modulateur ouvre l'électrovanne raccordée à la pression amont ou à la pompe et laisse fermée celle qui donne à l'atmosphère ; pour y baisser la pression, il fait l'inverse. La régulation est progressive, réalisée par une série d'ouvertures des électrovannes de très courtes durées (50 ms en moyenne).

Pour économiser l'énergie des piles, la pompe et les électrovannes montées dans le modulateur sont petites. Le diamètre de celles utilisées dans un modulateur « hydraulique » est de l'ordre du millimètre. Il peut arriver que des particules en suspension dans l'eau s'y coincent et en empêchent la fermeture étanche, ce qui interdit la régulation.

Dans la dernière génération de modulateurs, la pressurisation à l'air comprimé du circuit de contrôle pallie cet inconvénient. La fiabilité de ces appareils est supérieure.

La surface de la membrane de la chambre de compensation utilisée avec un modulateur « hydraulique » est à peu près égale à celle de la membrane du pilote.

La pression disponible pour la régulation avec un modulateur « pneumatique » est assez faible à cause de la taille du compresseur, réduite pour économiser l'énergie. La surface de la membrane de la chambre de compensation doit donc être plus grande que celle du pilote. La pose de la chambre, plus volumineuse, peut nécessiter des modifications mineures à la tubulure du circuit pilote de certaines vannes.

Enfin, la rigidité des ressorts pour pression élevée (200 m) limite l'amplitude de la modulation possible avec les appareils « pneumatiques » ; nous choisirons le ressort le plus souple possible compatible avec la pression de consigne souhaitée.

Le modulateur mesure en permanence la pression à l'aval de la vanne de contrôle et la compare avec la pression de consigne. Il n'est pas nécessaire de faire communiquer le modulateur et le point critique : il faut entrer dans sa mémoire une courbe de régulation, en fonction du temps ou de la demande.

Tracer cette courbe de régulation nécessite une série de mesures simultanées du débit et de la pression à l'entrée du réseau, et de la pression en différents points du réseau lui-même.

Une fois le point critique identifié, nous comparons la pression à ce point et à l'entrée du réseau à différents débits (ou à différentes heures), et nous en tirons la pression de consigne nécessaire pour chacun d'eux.

Exemple

Débit	Pression d'entrée	Pression au point critique
150 m <sup>3</sup> /h (07h45)	60 m	30 m
40 m <sup>3</sup> /h (03h45)	60 m	60 m

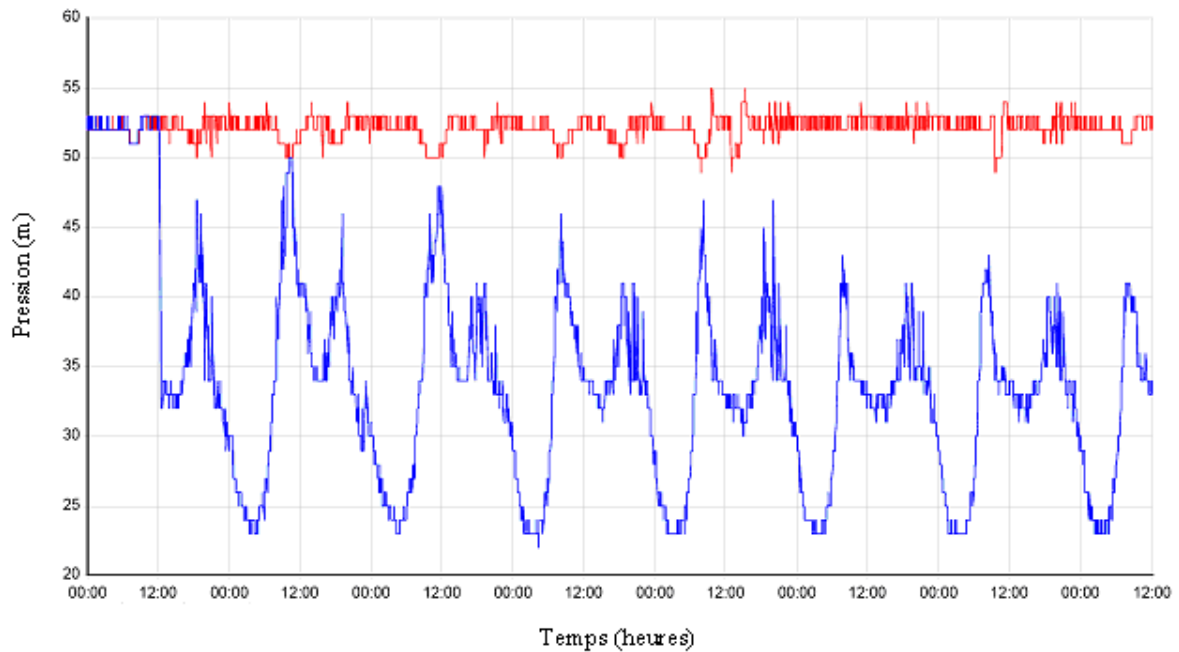
**Tableau III.1 :** *Comparaison pression d'entrée-pression au point critique.* [Document technique de SEAAL]

Si nous voulons 30 m constants au point critique, nous mémorisons dans le modulateur une pression de consigne de 60 m à 150 m<sup>3</sup>/h (à l'heure de pointe) et 30 m à 40 m<sup>3</sup>/h (la nuit). Le reste de la courbe de contrôle est tracé par le logiciel interne.

### 3.2 Exemples de modulation

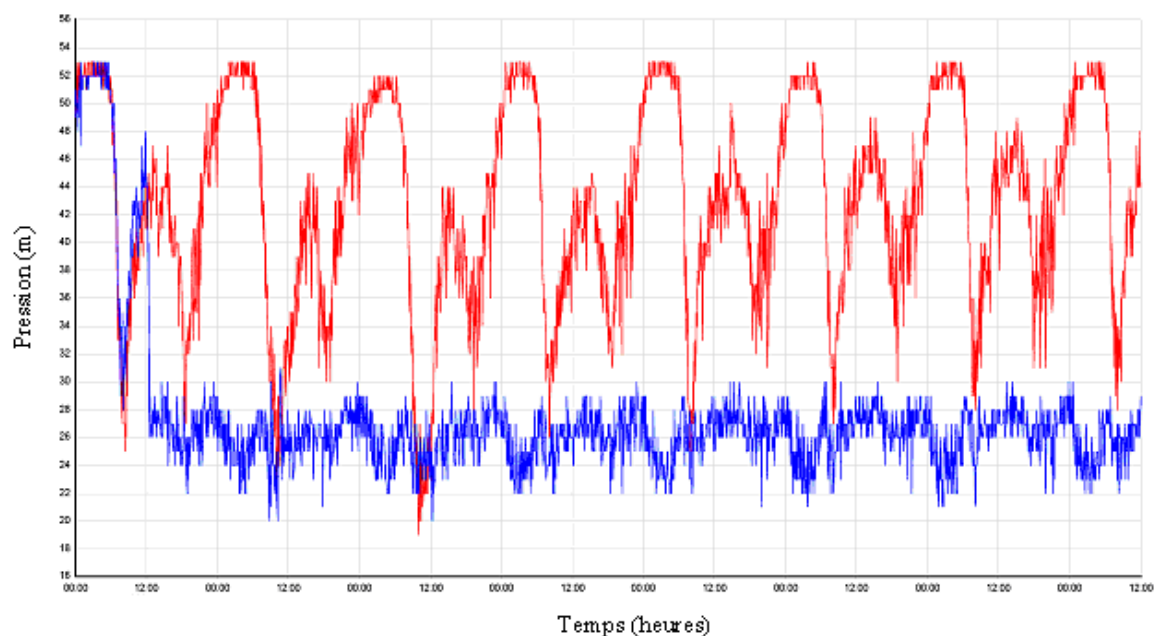
Les trois graphiques suivants présentent pour le même quartier de Westminster et pour deux semaines consécutives, la pression à la sortie du réducteur de pression alimentant le réseau, celle au point critique, et le débit d'alimentation du secteur.

Chaque graphique présente la situation en alimentation à pression constante et à pression modulée. Du 10 au 17 mai, le secteur est alimenté à une pression constante de 52 m ; les données sont présentées en rouge. La semaine suivante, la pression de sortie du réducteur est modulée suivant la demande ; les données sont présentées en bleu. Le graphique ci-dessous présente la pression de sortie du réducteur. Nous pouvons noter que la pression de 52 m n'est nécessaire que deux fois par semaine, le matin des samedi 18 et dimanche 19 Mai.



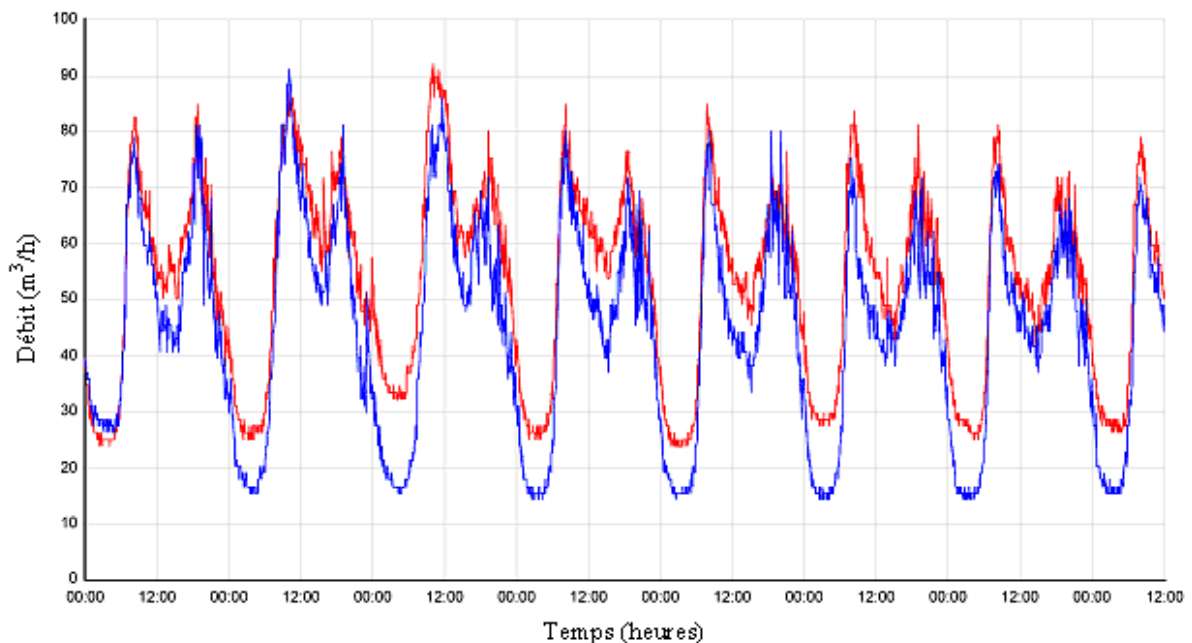
**Figure III.14 :** *Pression de sortie du réducteur.* [Document technique de SEAAL]

Le graphique suivant présente la pression au point critique. En modulation, elle est presque constante. Les pressions sur le réseau varient beaucoup moins qu'en alimentation à pression fixe.



**Figure III.15 :** *Pression au point critique.* [Document technique de SEAAL]

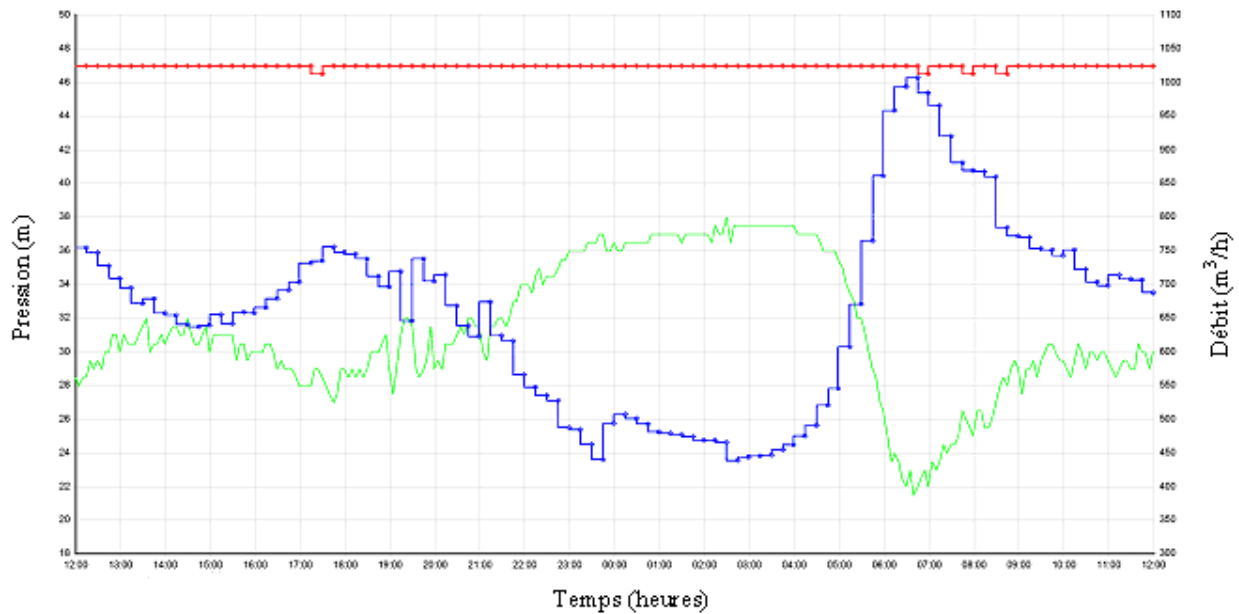
Le dernier graphique présente les débits d'alimentation du secteur; on économise l'eau de jour comme de nuit.



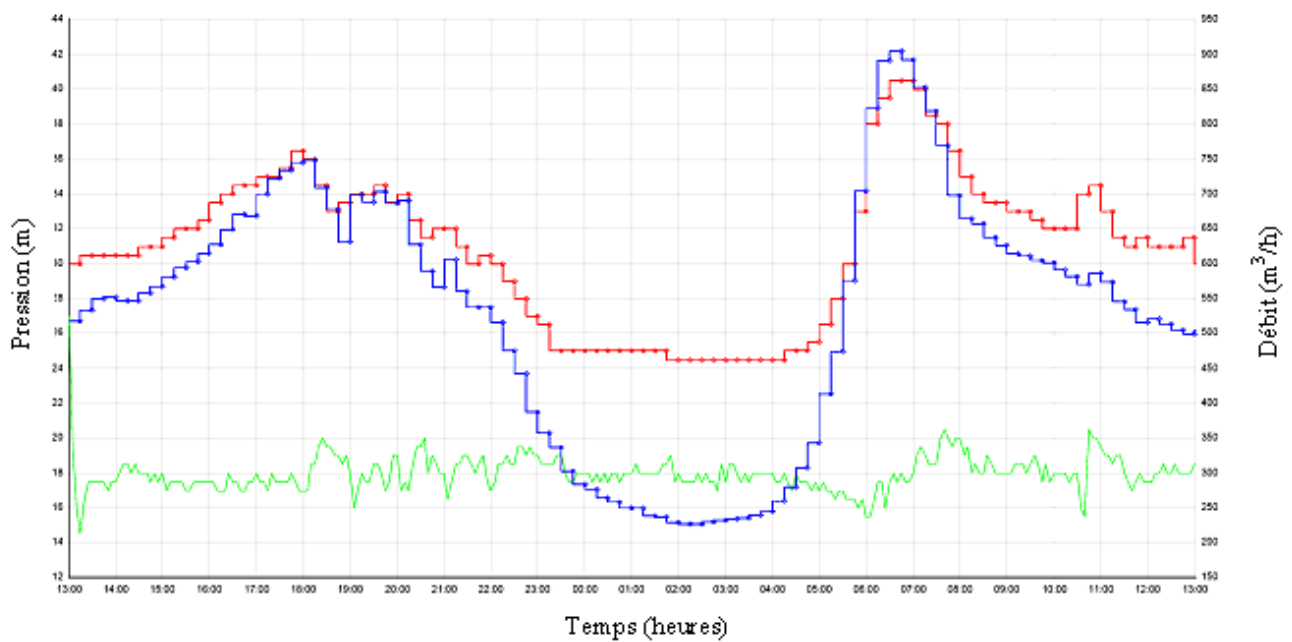
**Figure III.16 :** *Débit d'alimentation du secteur.* [Document technique de SEAAL]

Moduler la pression de 30 m a permis de réduire la pression moyenne à l'entrée du réseau de Westminster de 18 m, ou 35%, et de 17% la consommation journalière du secteur. La moitié de ces économies a été réalisée de jour.

Voici un autre exemple de modulation de pression en fonction de la demande (Secteur de Bickley Oak, Londres). Les graphiques montrent le débit d'alimentation (en bleu), la pression à l'aval de la vanne de régulation (en rouge), et la pression au point critique (en vert) pour deux jours consécutifs (pression en sortie de vanne constante le premier jour, modulée en fonction du débit le second).



**Figure III.17 :** *Secteur de Bickley Oak, Londres (sans modulation).* [Document technique de SEAAL]



**Figure. III.18 :** *Secteur de Bickley Oak, Londres (avec modulation).* [Document technique de SEAAL]

La pression en sortie de vanne a été réduite de 16 m en moyenne sur 24h (de 45 m à 29 m, soit 36 %). La consommation du secteur a baissé de 3.100 m<sup>3</sup>/j (de 15.900 à 12.800 m<sup>3</sup>/j, soit 19, 5 %).

La régulation a pour objectif de satisfaire l'abonné, tout en gardant la pression du réseau la plus stable tout en étant admissible. Si nous ajoutons la différence entre les pressions nécessaires au confort de l'abonné de jour et de nuit à la charge perdue sur les réseaux pendant la pointe, il est presque toujours justifié de réguler la pression d'alimentation en fonction de la demande.

Il est recommandé de le faire sur les zones les plus grandes possible, avec le dénivelé pour seule limite de taille lors du dessein de leurs frontières (sur de grandes zones de distribution, il ne devrait pas excéder 15 m). Nous plaçons les vannes de régulation le plus en amont possible, par exemple au raccordement des conduites de distribution principales avec le réseau primaire.

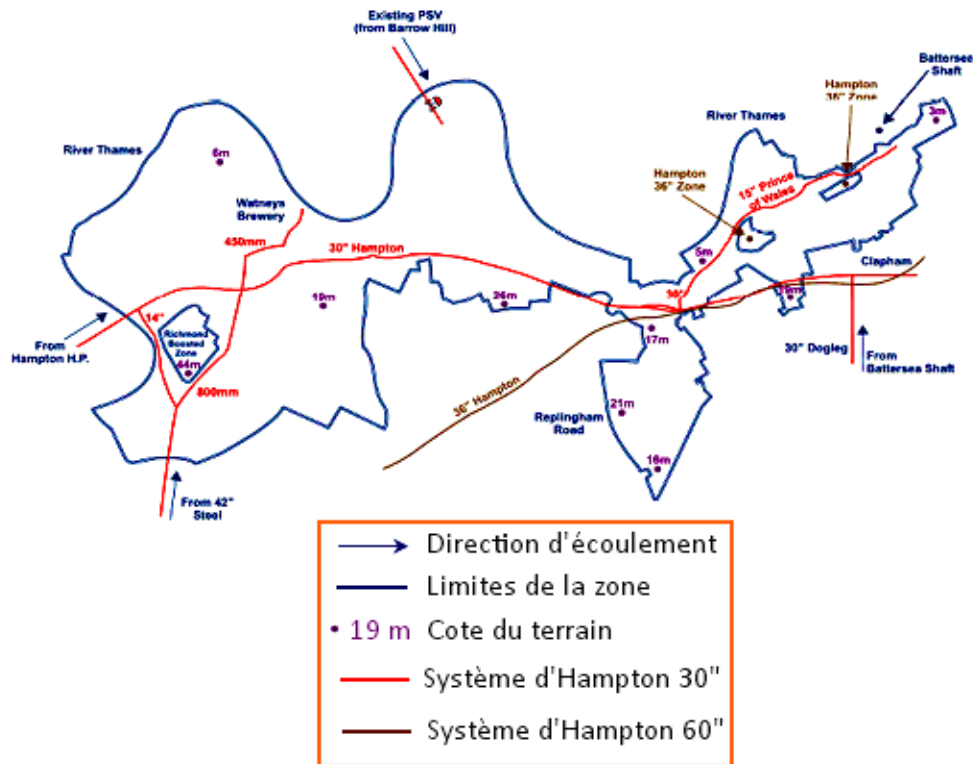
Ces zones peuvent comporter plusieurs entrées. Nous modulons la pression de consigne des vannes suivant un profil horaire. Les pressions de consigne des « vannes esclaves » sont plus basses que celles de la vanne maîtresse, pour éviter un « conflit » entre les vannes lorsque la perte de charge sur le réseau est faible.

Des systèmes de ce type ont été installés à Sao Paulo, à Casablanca et à Londres. Nous présentons ci-après celui d'Hampton 30", dans le sud de Londres, avec les caractéristiques suivantes.

- Population servie: 190.000 ; Longueur du réseau: 470 km ;
- Volume distribué avant régulation: 57.000 m<sup>3</sup>/j (dont 4.000 m<sup>3</sup>/j pour un industriel) ;
- Alimentation: 6 entrées, dont les trois principales, en 800 et 750 mm, équipées d'une vanne de régulation de diamètre 600 ou 700 mm ;
- Réduction de la pression moyenne sur le réseau: 30 % (de 46 m à 32 m) ;
- Economie réalisée: 5.000 m<sup>3</sup>/j (9, 5% du volume net distribué).

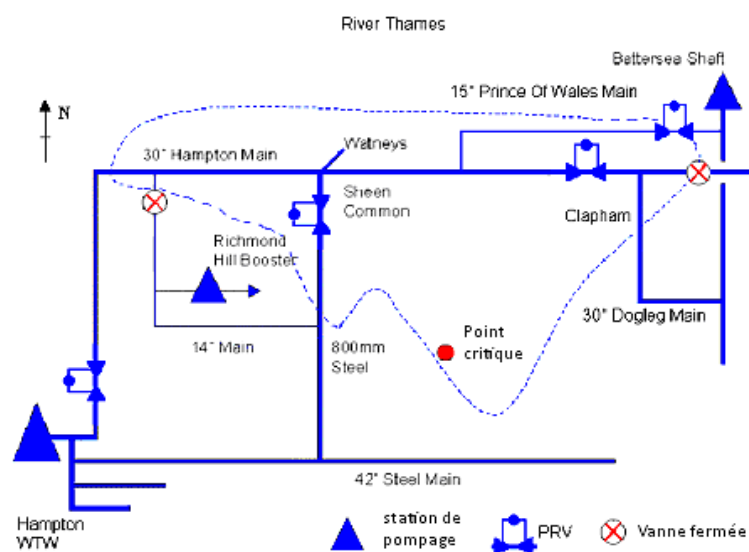


La zone est présentée sur les deux figures suivantes :



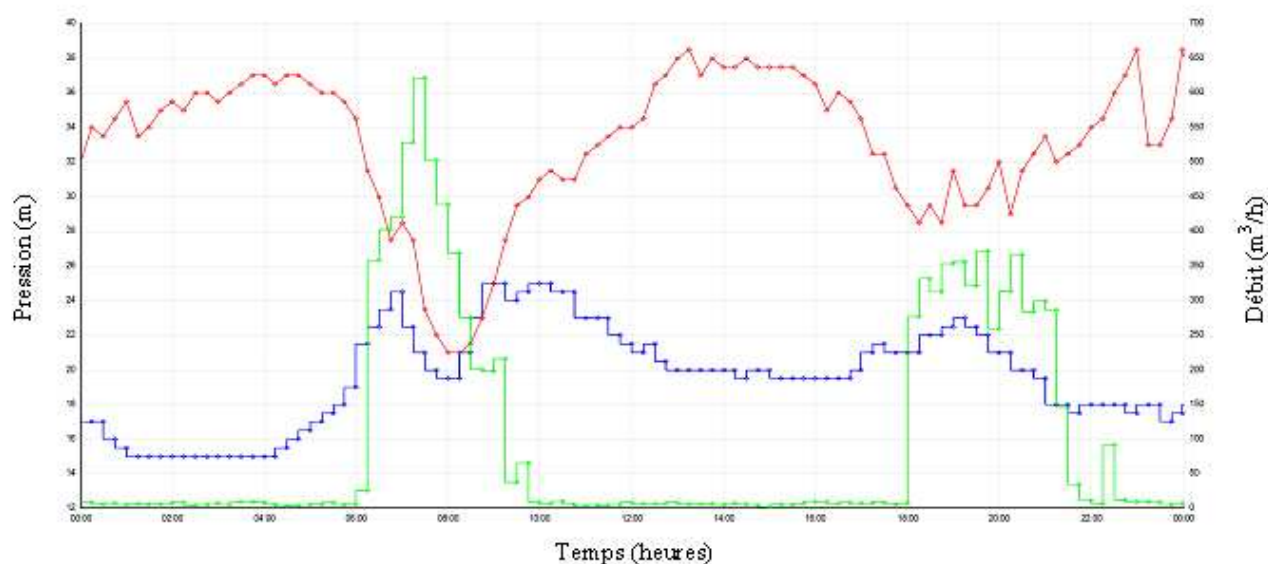
**Figure III.19 :** *Système du Sud de Londres.* [Document technique de SEAAL]

L'emplacement des vannes de régulation principales est représenté ci-dessous :



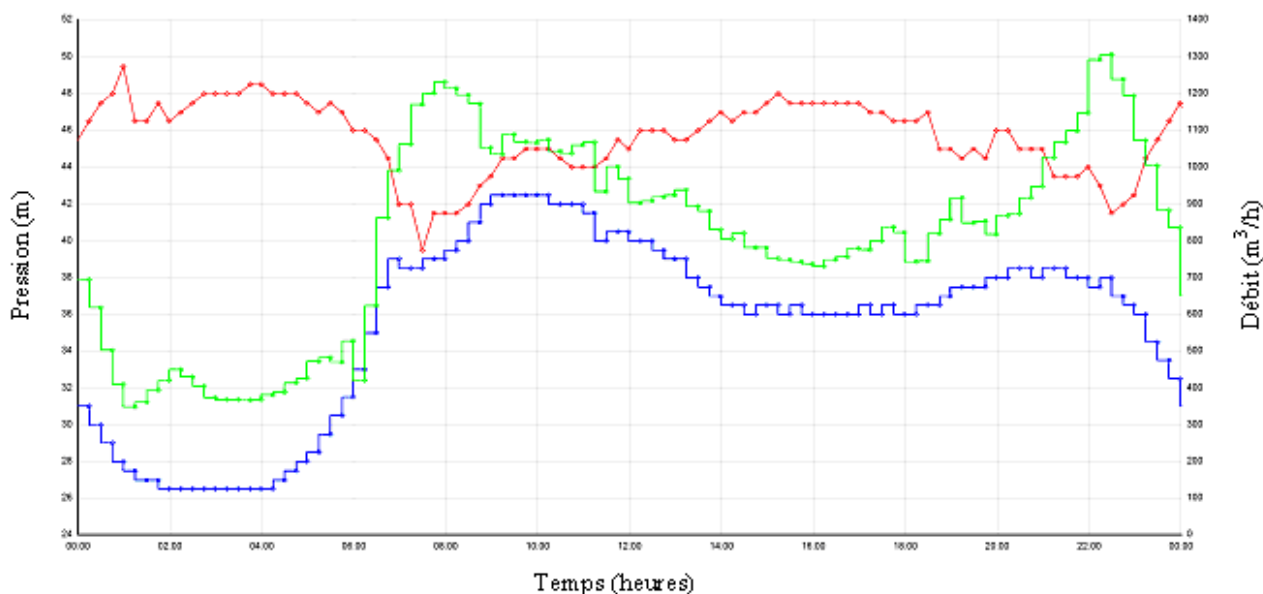
**Figure III.20 :** *Emplacement des vannes de régulation.* [Document technique de SEAAL]

Les graphiques (Figure III.21) suivants montrent les pressions amont (en rouge) et aval (en bleu), et le débit (en vert) aux vannes de contrôle. La vanne « esclave » de Clapham est fermée la plupart du temps, mais s'ouvre complètement à la pointe, comme l'indique la faible différence entre les pressions amont et aval à 08.00 h du matin.



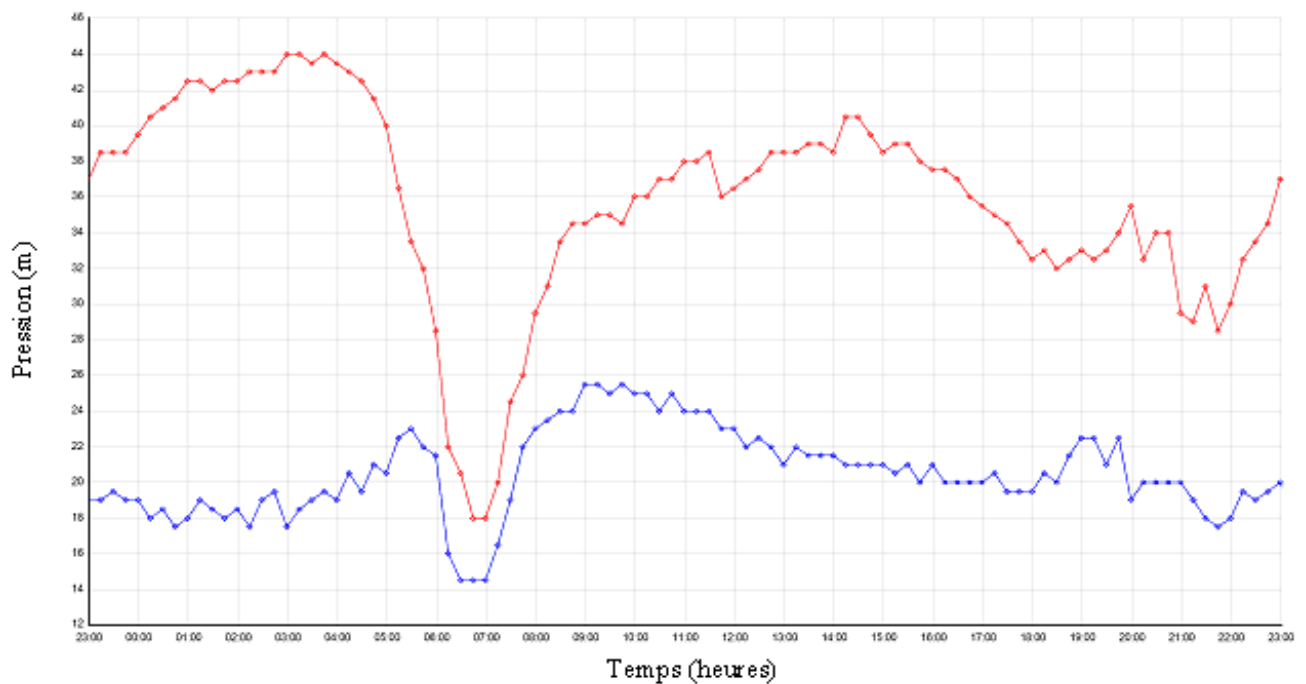
**Figure III.21 :** *Pression amont, aval et débit à la vanne esclave.* [Document technique de SEAAL]

La vanne « maîtresse » de Sheen Common s'ouvre elle aussi complètement à la pointe, puis régule le reste du temps.



**Figure III.22 :** *Pression amont, aval et débit à la vanne maitresse.* [Document technique de SEAAL]

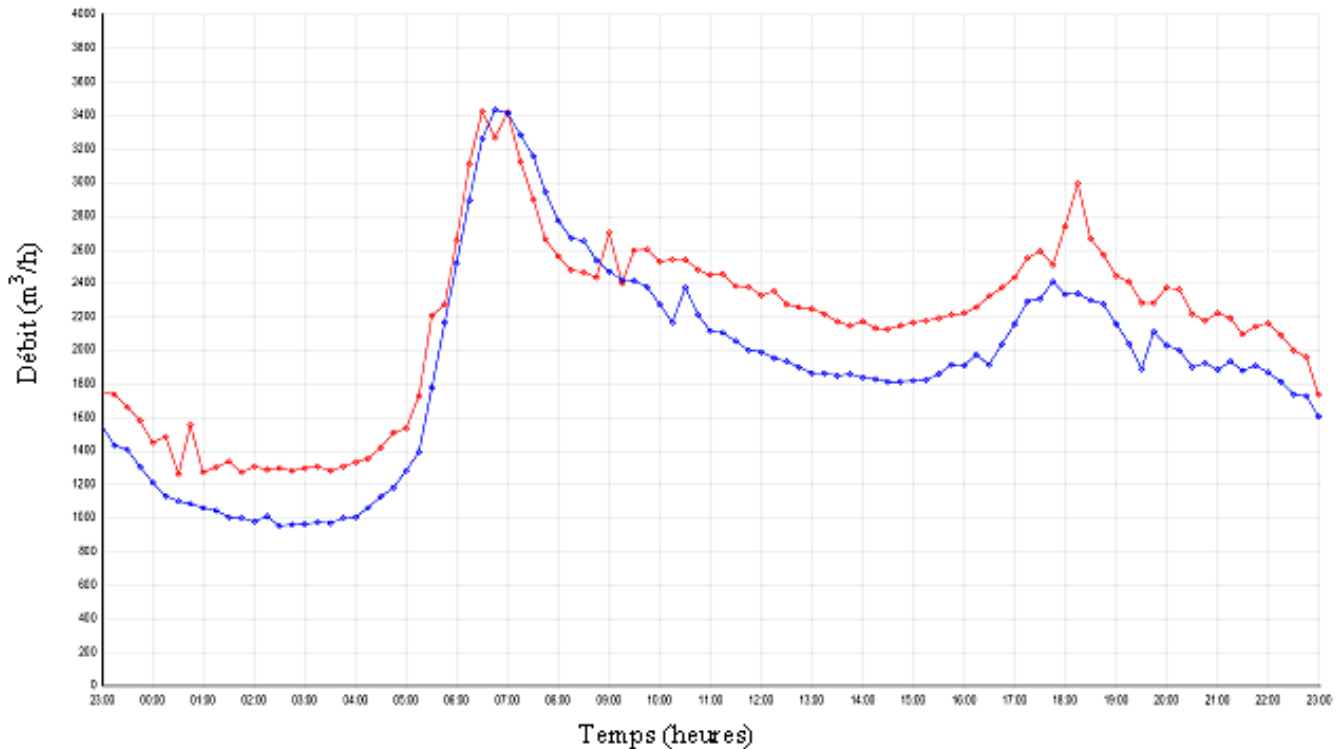
Le graphique suivant superpose les pressions au point critique avant (en rouge) et après (en bleu) la mise en service de la régulation.



**Figure III.23 :** *Pression au point critique.* [Document technique de SEAAAL]

A la pointe, la pression avant régulation était à peine supérieure au minimum contractuel de 15 m ; mais nous avons pu la réduire de 25 m la nuit, et de 15 m en moyenne sur 24 h, soit 30 % de la pression moyenne sur le réseau avant régulation.

Une superposition de la somme des débits d'alimentation avant (en rouge) et après (en bleu) la mise en service de la régulation est présentée au graphique suivant (Figure III.24) :



**Figure III.24 : Débit d'alimentation.** [Document technique de SEAAL]

L'économie est de 5.000 m<sup>3</sup>/j (9, 5% du volume net distribué). Nous économisons de l'eau en permanence, sauf en pointe, de 07 h à 08 h du matin, donc les fuites ont été réduites.

#### 4. procédure de modulation d'un étage de distribution

Afin de mener à bien un projet de modulation de la pression dans une région donnée, nous devons suivre les étapes suivantes :

##### Investigation

Cette étape consiste à se munir des plans du réseau et la vérification du bon fonctionnement hydraulique de celui-ci, cette vérification est faite par l'installation d'enregistreurs de pression (loggers) aux différents points du réseau. Nous devons aussi visiter, ensuite, tous les points défavorables (points hauts, immeubles > 10 étages, ...).

##### Délimitation de la zone

Elle repose sur le positionnement des vannes régulatrices, et qui se fait en fonction des côtes des différents points du réseau, c'est-à-dire à partir du point où le problème d'augmentation de la pression, pendant les heures creuses, commence à apparaitre.

Après positionnement de la vanne, le réseau est divisé en deux zones ; l'une réduite, située en aval de la vanne et l'autre non – réduite, en amont de la vanne.

La délimitation de la zone se fait de façon à pouvoir alimenter, d'une part, les points hauts et éloignés avec une pression suffisante, et d'autre part, à ne pas avoir de fortes pressions aux points bas. Sur le plan pratique, cette délimitation se fait par l'installation de vannes de frontières (fermées) qui permettent d'isoler la zone en question.

### **Identification des travaux**

Afin d'assurer l'étanchéité de la zone réduite, plusieurs travaux sont prévus, par exemple :

- Remplacement des vannes défectueuses ;
- Pose de nouvelles vannes ;
- Réalisation de maillage et/ou de plaquage.

### **L'information**

Il est nécessaire de transmettre l'information aux différents services et de l'eau et d'indiquer de ne pas toucher aux vannes de frontières lors de leurs interventions. En général, nous faisons en sorte que ces vannes soient signalées à l'aide d'une marque quelconque, par exemple de la peinture rouge.

### **Conclusion**

Un mode opératoire détaillé est prévu d'être réalisé afin de pouvoir maîtriser la mise en œuvre d'un tel projet. En effet, l'organisation des différents travaux à faire doit être bien gérée et guidée d'une façon optimale.

## **CHAPITRE IV**

# **Modélisation de l'étage *TELEMLY***

## **Introduction**

Le modèle hydraulique permet la simulation du comportement hydraulique d'un réseau d'eau potable quelque soit la saison ou l'heure à laquelle nous nous positionnons.

Après avoir récolté toutes les données décrivant l'architecture du réseau et effectué toutes les mesures de débit et de pression envisagées, il est nécessaire de confronter les premiers résultats du modèle aux valeurs mesurées : c'est la phase de calage du modèle. Ce calage du modèle ne permet pas seulement d'affiner les paramètres choisis pour décrire l'état intérieur des conduites mais également la répartition des consommations sur le réseau (paramètres de calage) mais aussi de détecter de fortes incohérences avec les éléments en notre possession.

### **1. Modélisation hydraulique du réseau d'AEP**

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

La représentation et la précision du modèle sont tributaires des objectifs du service de l'eau et des analyses escomptées ; le niveau de détail conditionne donc les résultats de la modélisation.

Différents types de modèles ont été distingués, nous les citons ci-après :

#### **a. Modèle pour le dimensionnement du réseau**

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

#### **b. Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic**

Dans ce cas, le modèle consiste à décrire le fonctionnement d'un réseau existant, par la détermination de l'état des conduites à travers la mesure de la rugosité des conduites et la demande des abonnés. Pour un réseau, des données liées à sa topologie, les types des conduites, la typologie des consommateurs ainsi que des mesures de pression et débits en des

points du réseau sont supposés connus. Un calage du modèle permet de déterminer certains paramètres inconnus : rugosité, consommation afin de s'approcher le plus possible du fonctionnement réel du réseau.

### **c. Modèle pour la gestion du réseau**

Dans ce cas, le modèle servira à décrire le comportement des sources d'approvisionnement, des zones de stockage et des stations de pompage. L'intérêt de ce type de modèle est d'optimiser l'exploitation des sources d'eau et de minimiser les coûts d'exploitation du réseau en régulant le pompage et le stockage de l'eau dans la journée. Ce modèle ne retient que les conduites de grand diamètre servant au transport et à la distribution de l'eau.

### **d. Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau**

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

### **Précision du modèle et représentation du réseau d'AEP**

La modélisation du fonctionnement du réseau doit décrire le comportement réel du réseau. En fonction de l'utilisation du modèle, un niveau de détail doit être défini. Le modèle ne considérera que certaines conduites du réseau et certains abonnés seront rassemblés sur des nœuds afin de simplifier la modélisation. Il n'existe pas de règles précises pour la simplification de réseau, mais les suivantes sont fréquemment utilisées :

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



## **2. Présentation du logiciel *EPANET***

### **Historique**

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

Depuis 1993, le logiciel est disponible gratuitement pour tous les bureaux d'études et les sociétés d'affermage qui souhaitent l'utiliser.

Afin d'augmenter la convivialité du logiciel pour les sociétés francophones, la compagnie Générale des Eaux a financé la version française sur laquelle nous avons travaillé tout au long de notre stage. Enfin, le logiciel a connu des améliorations depuis sa création. La dernière version date de l'année 2001.

### **Potentialités du logiciel**

Le logiciel *EPANET* est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans les réseaux d'eau potable. Un réseau d'eau potable sur un logiciel se définit par des tuyaux (tronçons sur le logiciel), des nœuds (intersection de deux tuyaux et extrémité d'une antenne) mais également d'autres organes (réservoirs, pompes, clapets, différents types de vannes,...).

Le logiciel permet de calculer le débit parcourant chaque tuyau, la pression à chacun des nœuds mais également le niveau de l'eau à n'importe quel moment de la journée et quelle que soit la période de l'année où nous nous situons. Le moteur de calcul hydraulique intégré permet de traiter des réseaux de taille illimitée. Il dispose de plusieurs formules de calcul de pertes de charge, il inclut les différentes pertes de charge singulières et modélise les pompes à vitesse fixe et variable. En résumé, le logiciel présente tous les outils pour remplir les objectifs suivants :

- Régulation des pressions dans le réseau ;
- Détection des zones de fonctionnement déficitaire ;
- Dimensionnement de réseaux ;
- Amélioration de la gestion des équipements d'eau.

Le logiciel présente également un module qualité qui permet de calculer les concentrations en substances chimiques ainsi que les temps de séjour de l'eau dans différentes parties du réseau. Il permet également de suivre l'origine de l'eau. L'utilisation de ce module qualité nécessite un calage hydraulique préalable. Nous n'avons pas utilisé les fonctionnalités de ce module au cours de notre stage.

### 3. Présentation de l'étage *TELEMLY*

Le site de *TELEMLY* abrite deux réservoirs, le plus ancien (CR 82.94 m, CTP 87.97 m) d'une capacité de  $2 \times 3.500 \text{ m}^3$ , le nouveau (CR 82.92 m, CTP 88.48 m) de  $2 \times 2.500 \text{ m}^3$ .

Le site reçoit environ  $60.000 \text{ m}^3/\text{j}$  de Boudouaou, via la conduite de 1200 mm *SPIK* et la station de refoulement de Tafourah, et  $10.000 \text{ m}^3/\text{j}$  de la galerie Monplaisir, via deux conduites de 600 mm jusqu'à la station de pompage du 1er Mai, puis une seule jusqu'au réservoir.

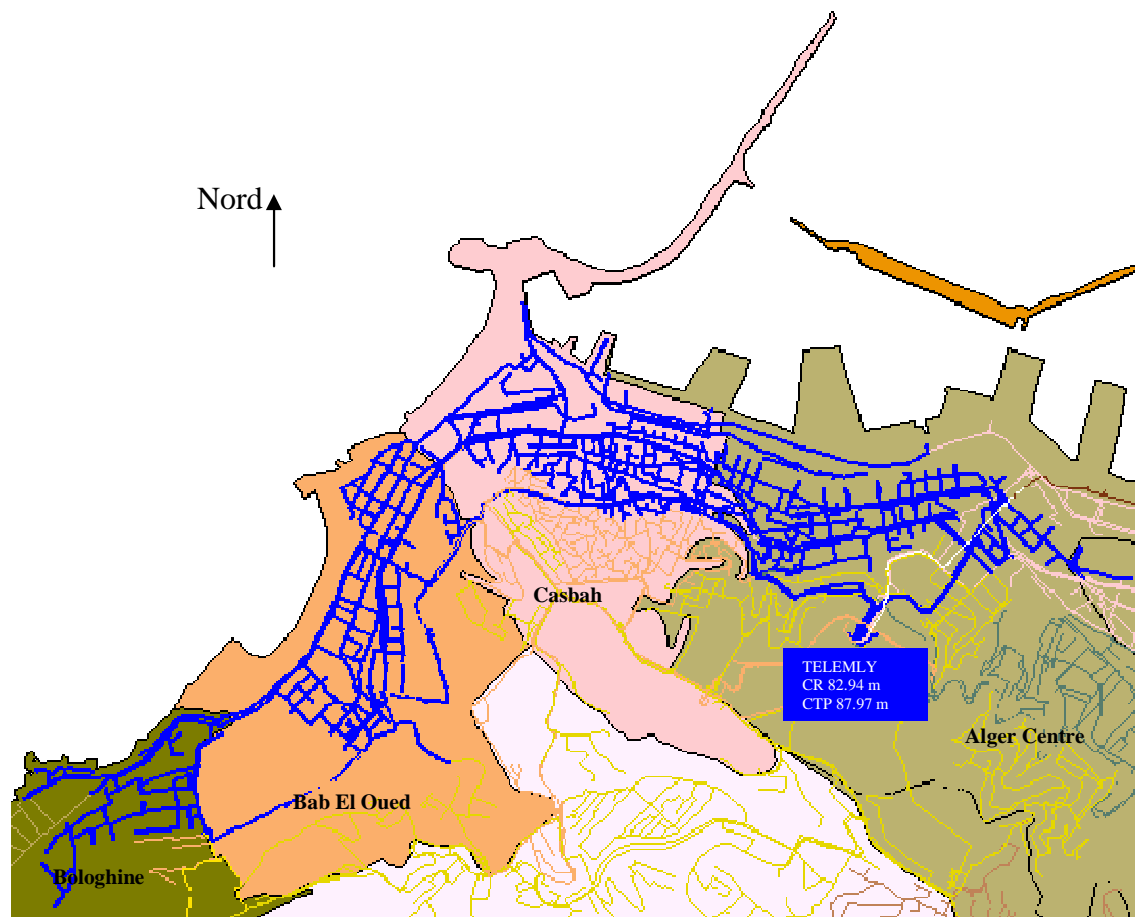
Du site de *TELEMLY*, deux réservoirs sont alimentés :

- Sahel (CR 133 m, CTP 138 m,  $10.000 \text{ m}^3$ ) reçoit environ  $17.000 \text{ m}^3/\text{j}$ , refoulés par quatre pompes ( $400 \text{ m}^3/\text{h}$ , HMT 55 m) dans une conduite de 600 mm ;
- Fort l'Empereur (CR 209 m, CTP 215 m,  $14.760 \text{ m}^3$ ) reçoit environ  $23.000 \text{ m}^3/\text{j}$ , refoulés par trois pompes ( $800 \text{ m}^3/\text{h}$ , HMT 140 m) dans une conduite de 700 mm.

La distribution gravitaire s'effectue par trois conduites:

- La conduite de 400 mm qui reliait autrefois le réservoir à celui de Kouba 117 en sort par la droite et alimente le réseau d'Alger Centre ;
- Deux conduites de diamètre 800 mm et 500 mm en sortent par la gauche et, réduites en 700 mm et 400 mm, alimentent le réseau d'Alger Nord.

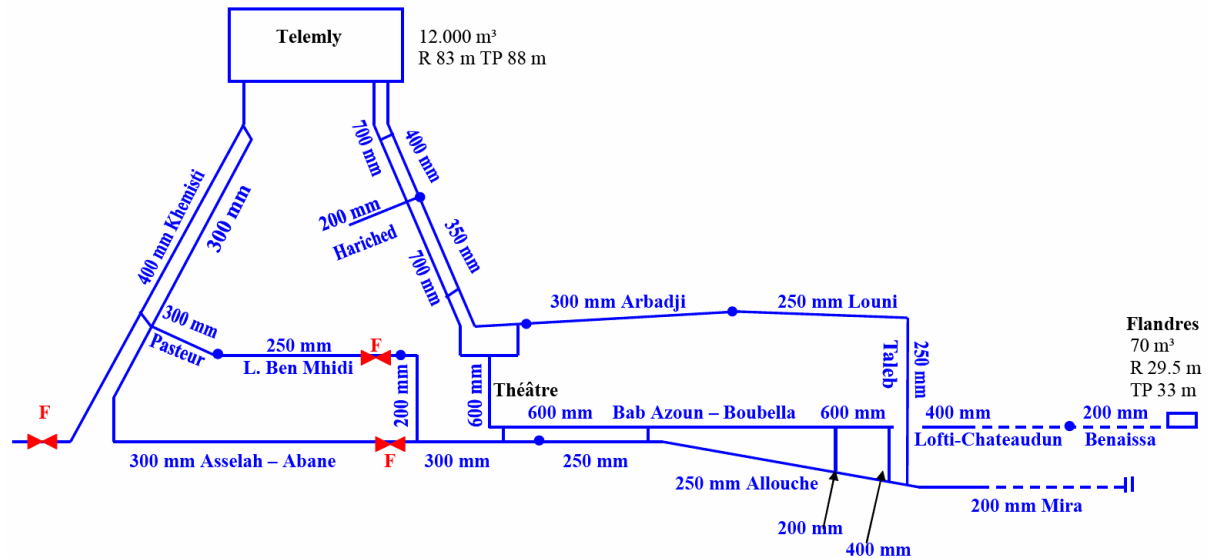
Les deux réseaux sont isolés l'un de l'autre par cinq vannes fermées connues, le long des Rues Portalis et Bouziri, deux cent cinquante mètres avant la Place du Théâtre, coté Alger Centre. Cette frontière n'est pas étanche : des raccordements portés sur le plan n'existent plus, ou d'autres vannes sont fermées, peut-être enterrées et oubliées.



**Figure IV.1 : Extrait du SIG de l'étage *TELEMLY*.**

Nous voyons bien, à partir de la figure II.1, extraite du *SIG* de la ville d'Alger, que le réservoir *TELEMLY* alimente une partie des communes suivantes ; Bologhine, Bab El Oued, Casbah ainsi que Alger Centre.

Le schéma ci-dessous (Figure IV.2) présente les conduites principales du réseau servi en gravitaire par le réservoir *TELEMLY* ; les distances n'y sont pas respectées.



**Figure IV.2 :** Schéma de principe du réseau alimenté par le réservoir *TELEMLY*. [Document technique de *SEAAL*]

#### 4. Modélisation de l'étage *TELEMLY*

La modélisation sur le logiciel *EPANET* fut délicate, car nous étions contraints d'introduire le réseau, avec tous ses détails, dans la base de données du logiciel. Cette étape aurait consisté à saisir toutes les données nécessaires à la modélisation (longueurs, diamètre et rugosités des conduites, les côtes, les consommations aux nœuds), ce qui pouvait nous prendre beaucoup de temps. *SEAAL* travaille avec le bureau d'étude *SOGREAH* qui utilise le logiciel *PICCOLO* comme moyen d'aide à la décision, dans lequel le modèle de tout le réseau d'Alger est disponible. Nous avons donc tenté de faire le transfert des données de *PICCOLO* vers *EPANET* car ce dernier possède la possibilité d'avoir un fichier d'entrées sous format \*.text avec séparateurs espaces ; ce format peut être obtenu par un enregistrement à partir d'un fichier Excel. Après des essais, nous sommes arrivés à le faire, en réalisant des modifications dans la structure des données du logiciel utilisé par le bureau d'étude.

Nous avons donc obtenu le réseau de l'étage *TELEMLY* représenté sur la figure VI.3, tel qu'il est en réalité. Ceci fut vérifié en suivant les plans sur lesquels travaillent les équipes d'ingénieurs de *SEAAL*.



**Figure IV.3 :** *Le modèle de l'étage TELEMLY.*

#### **4.1 Rugosité des conduites**

Nous avons, en premier lieu, donné une valeur arbitraire de la rugosité égale à 0,1 mm. Celle-ci permet de prendre en considération l'état intérieur de la canalisation. Cette valeur est au fait prise par défaut par le logiciel si toutefois, nous n'introduisons pas de donnée la concernant. Elle varie généralement selon l'âge, la nature de la conduite ainsi que des sollicitations subies par la tuyauterie. Elle fait partie des paramètres de calage auxquels nous ne pouvons attribuer une valeur définitive en début de projet.

## 4.2 Le réservoir

Dans notre travail, nous avons à réguler une pression et non pas à gérer ni à analyser le côté ressource et adduction. Nous avons donc opté pour une référence de pression au lieu d'un réservoir. Ainsi nous évitons la représentation du marnage du réservoir qui est très variable au cours d'une journée, causant des problèmes pendant la simulation. Cette référence de pression peut être obtenue sur *EPANET* par l'installation d'une bache infinie et de lui attribuer une charge totale égale à la cote du trop plein du réservoir (88,48 m).

## 4.3 Profils de consommation

Quatre types de consommation ont été définis par le bureau d'étude *SOGREAH* pour l'établissement du modèle de consommations :

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

Nous avons englobé les deux types, consommations administrative et commerciale, dans une seule catégorie de consommation appelée : consommation diffuse (*DIF*).

Le profil de consommation domestique a été établi à partir de celui de la ville de Marrakech qui ressemble beaucoup à Alger en termes d'habitudes. Le profil est un type à deux pointes. Les trois profils (*GC*, *DIF* et *DOM*) sont représentés dans les figures suivantes (Figures IV.4, IV.5) :

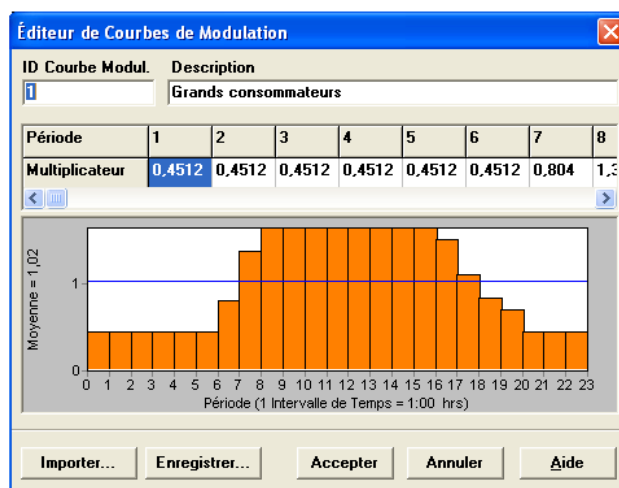


Figure IV.4 : Profil de consommation GC, DIF.

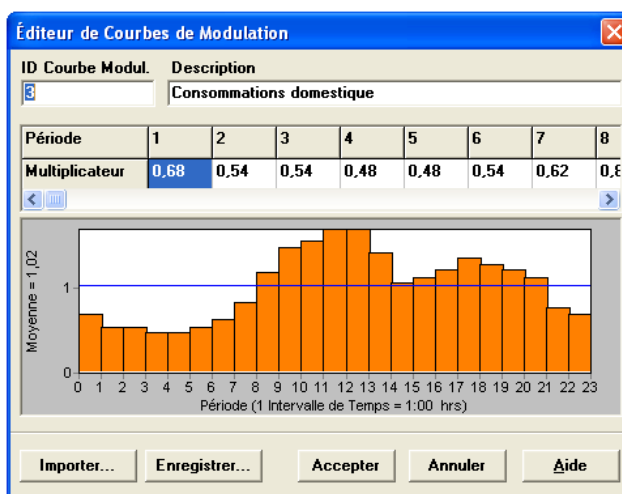


Figure IV.5 : Profil de consommation DOM.

#### 4.4 Rendement du réseau et prise en considération des fuites

Concernant les fuites, nous ne les avons pas prises en tant que débits sortant, comme nous pouvons le trouver dans certaines études, mais nous avons pris en considération le rendement du réseau. Celui-ci fut pris à 60%. Donc 40% sont prises pour des pertes quelconques, qui se présentent de différentes façons. Nous appelons cela le « Non Revenu Water ».

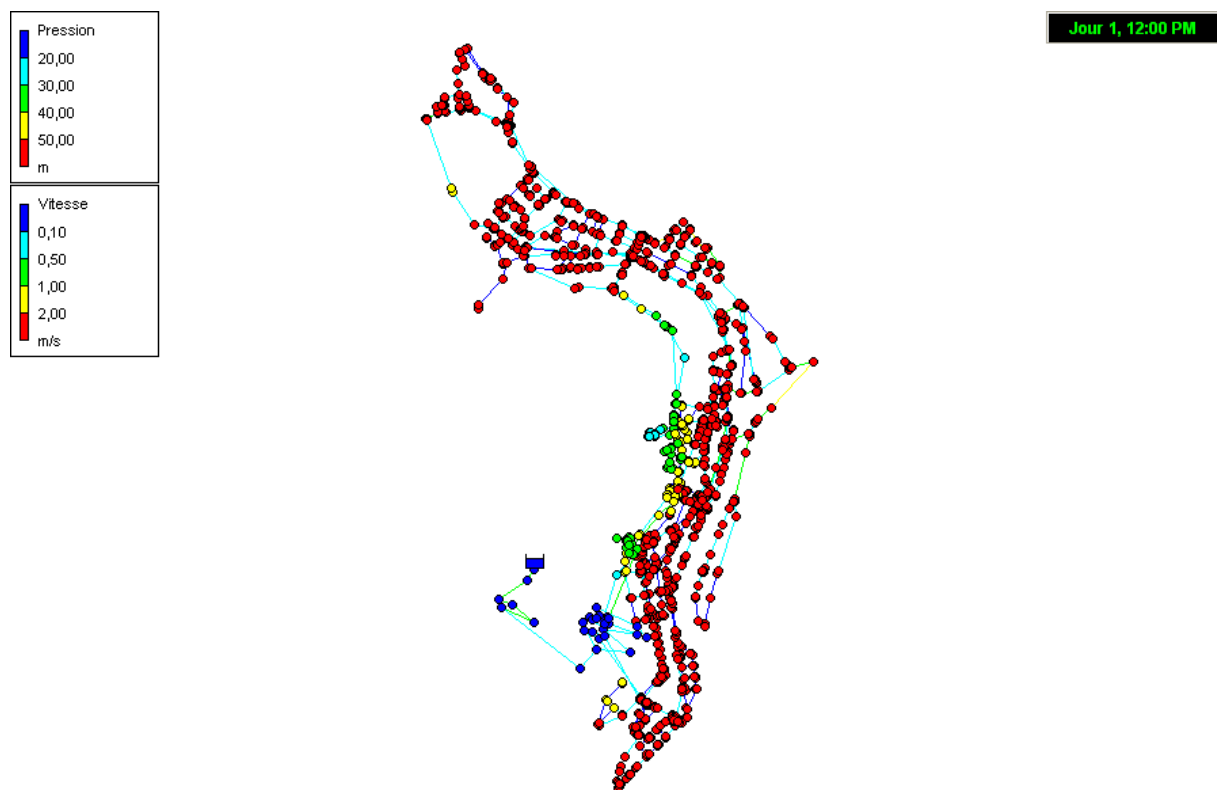
## 5 Projet de modulation

### 5.1 Situation avant modulation

Dans un premier temps, nous présentons une situation sommaire montrant une simulation réussie, qui veut dire que le réseau est complet et bien équilibré.

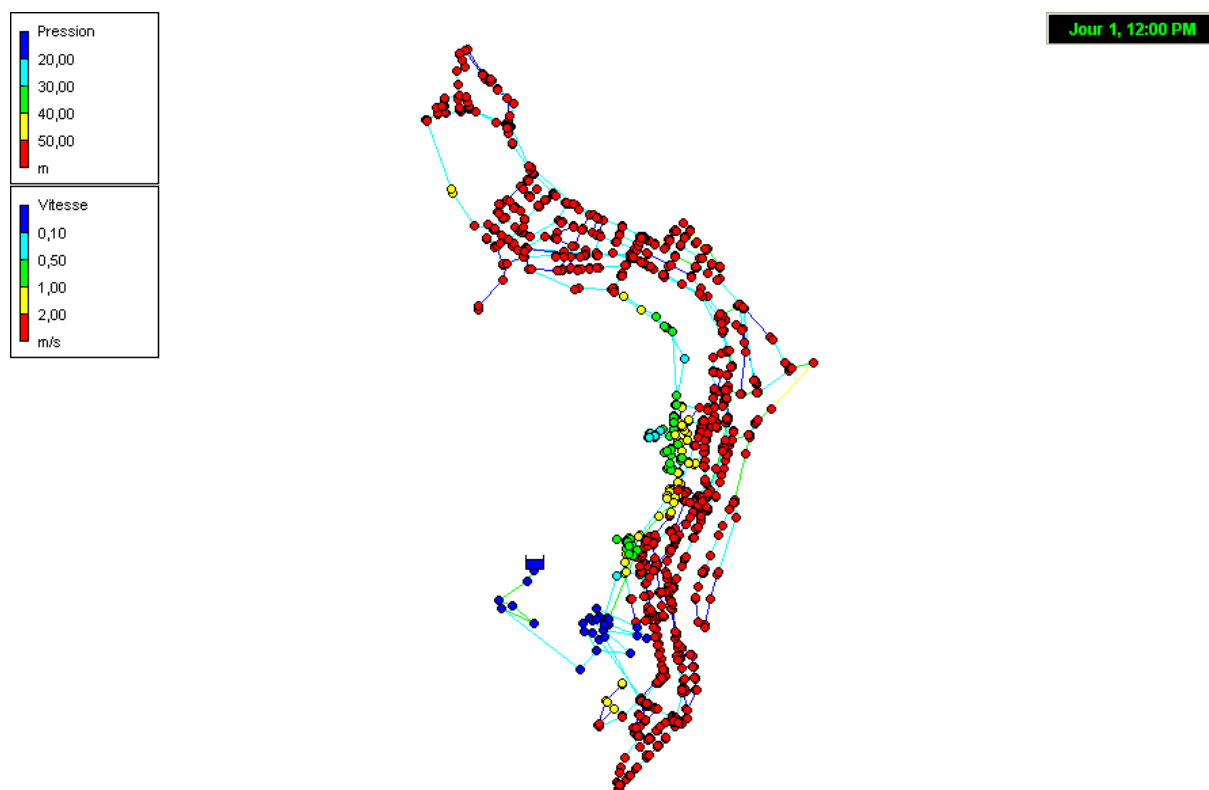
Lors de la simulation, nous visualisons dans les figures IV.6, IV.7 ci-dessous, que le plus grand nombre de nœuds sont à une pression supérieure à 60 mètres, soit 6 bars, valeur qui peut être nocive à un réseau assez vieux, comme celui que nous étudions. En jaune, sur les figures VI.6, V.7, apparaissent les pressions dont les valeurs se situent entre 40 et 50 mètres, passables.

Enfin en vert ainsi qu'en bleu clair, la pression se situe entre 20 et 40 mètres, nous dirons dans ce cas que ces nœuds peuvent être alimentés 24h/24 sans qu'il n'y ait de problèmes de pressions. D'où la décision de moduler la pression sur l'étage.

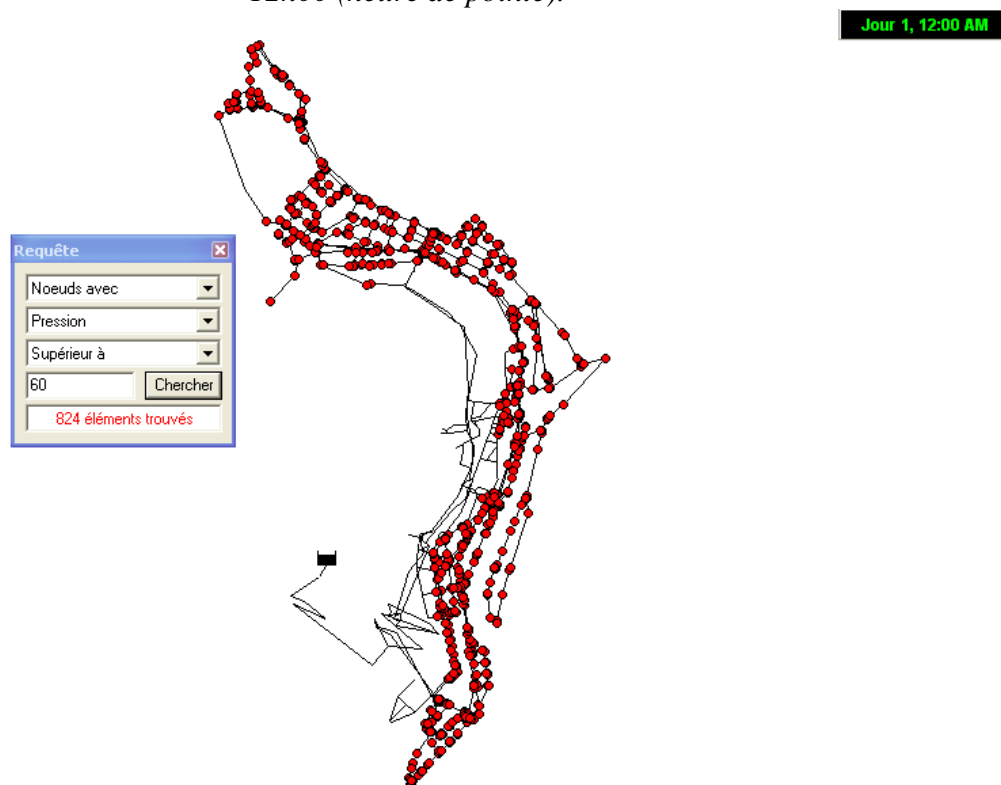


**Figure IV.6 :** Schéma d'une simulation avant la modulation de la pression sur EPANET à 2h00 (heure creuse).

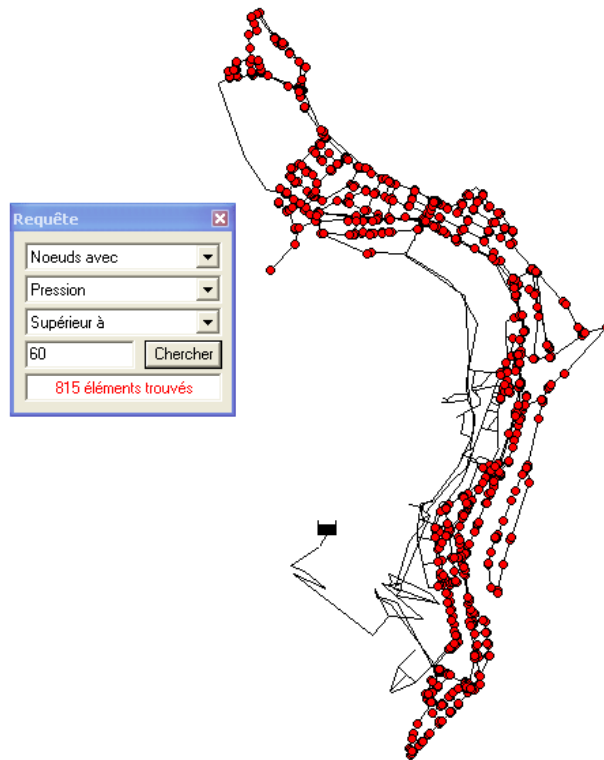




**Figure IV.7 :** Schéma d'une simulation avant la modulation de la pression sur EPANET à 12h00 (heure de pointe).

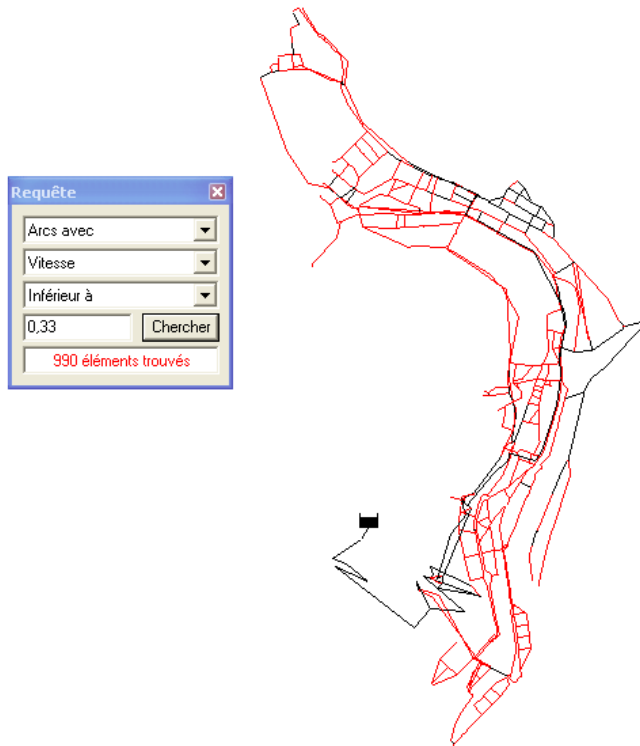


**Figure IV.8 :** Schéma d'une simulation montrant les fortes pressions à 0h00 (heure creuse).



**Figure IV.9 :** *Schéma d'une simulation montrant les fortes pressions à 12h00 (heure de pointe).*

Il est toutefois possible d'effectuer une recherche des points pour lesquels la pression est supérieure ou inférieure à une valeur donnée. Nous avons effectué la requête pour ceux dont la pression est supérieure à 60 m, nous voyons sur les figure IV.8 et IV.9, que le problème se pose de jour comme de nuit.

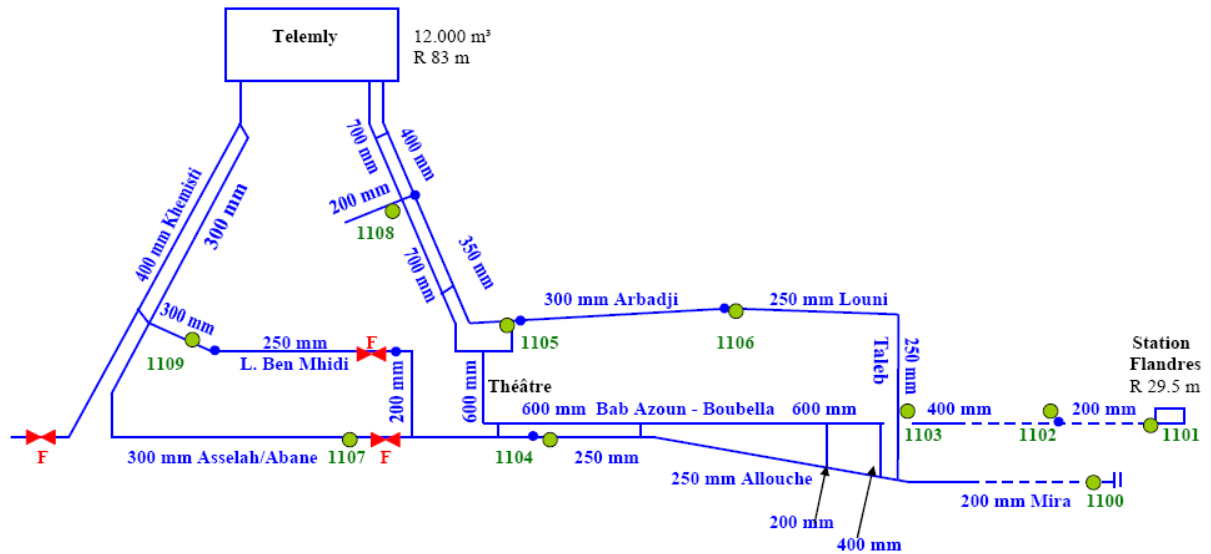


**Figure IV.10** : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles.

Nous remarquons aussi que les vitesses sont faibles dans les conduites. En effet, les valeurs acceptables se situent entre 0,3 et 3 m/s. Une faible vitesse peut être la cause d'une pression importante. Dans ce cas, nous devons remplacer les conduites par d'autres en changeant les diamètres. Cela voudra dire que nous rénoverons le réseau, chose impossible à réaliser, surtout en plein milieu de la capitale, et surtout que ce n'est pas une solution technico-économique.

### 5.1.1 Compagne de mesures

Des mesures de pression sont prévues à des points indiqués sur la figure IV.11, les distances n'y sont pas respectées.



**Figure IV.11 :** *Emplacement des enregistreurs de pression sur le réseau alimenté par le réservoir TELEMLY.*

Avant la mise en route du projet de modulation, nous devons vérifier le bon fonctionnement du réseau, c'est-à-dire que nous sommes obligés de faire des essais sur les pressions en mettant à pleine charge le réseau. Ce qui va, bien sûr, occasionner des casses ainsi que des fuites dans le réseau, mais ça nous permettra de contrôler la bonne communication ainsi que la continuité des maillages du réseau.

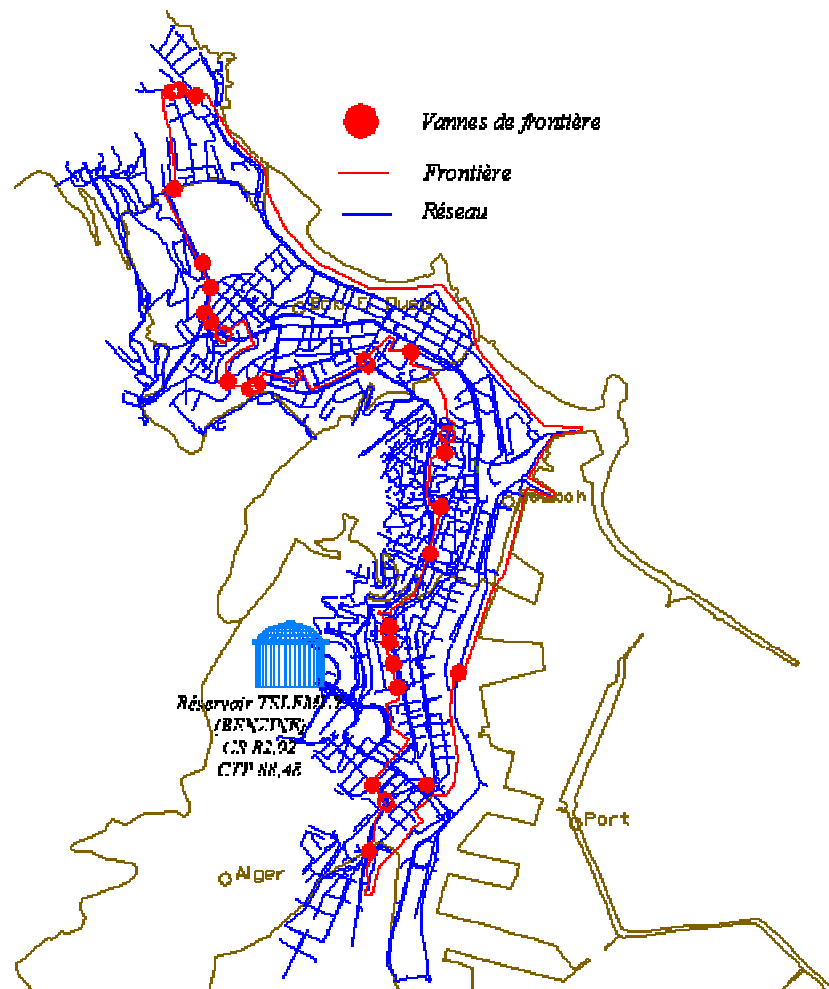
Des enregistreurs de pression (loggers) seront cependant installés à des points bien définis et donc les mesures seront représentatives.

En ce qui nous concerne, les mesures citées ci-dessus, nous permettront d'effectuer le calage de notre modèle, peu représentatif pour des données d'avant la modulation de la pression. En effet, avec un réseau dont le linéaire est très important, beaucoup de choses pourraient influencer sur les résultats obtenus sur *EPANET*. Aussi, après avoir fermé les vannes de frontière, donc la zone dite réduite étant isolée, nous n'auront plus affaire au même réseau que celui d'avant la modulation. Un calage avec des mesures prises après la mise en marche des vannes est à prévoir. Au cours de notre projet, nous ne ferons pas de calage, car les mesures que nous devons avoir ne sont pas encore disponibles.

### 5.1.2 Fermeture de la frontière

En suivant les plans de la zone, nous recensons les différentes vannes de frontière à placer dans le réseau, afin d'assurer l'étanchéité de la zone réduite.

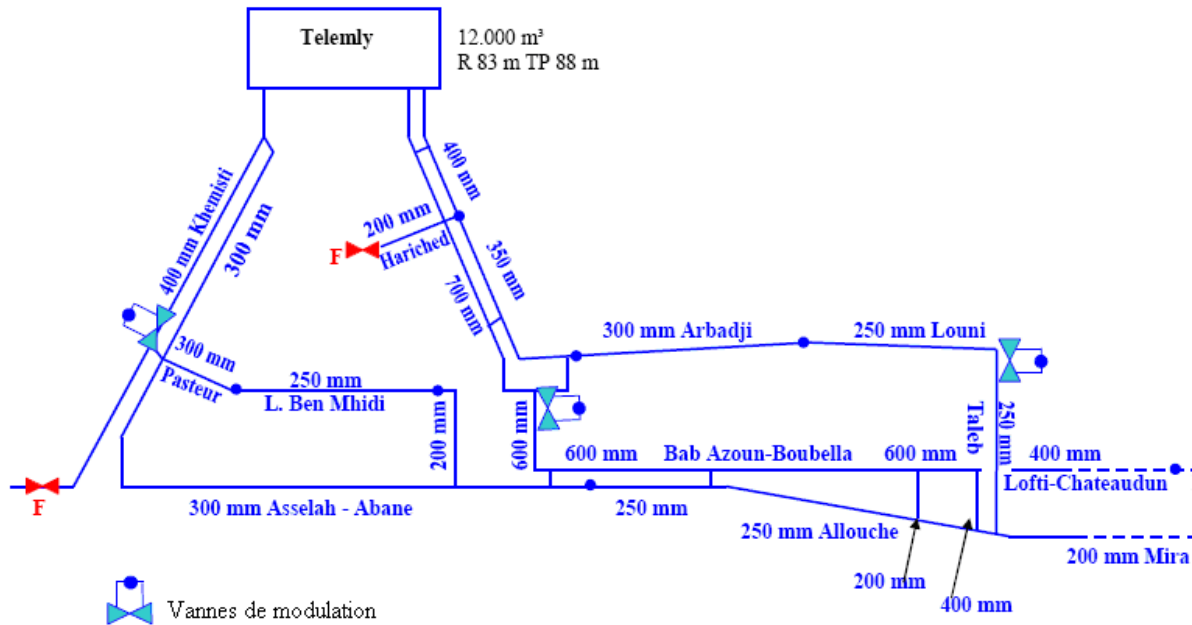
Nous montrons sur le plan suivant (Figure IV.12), le nombre ainsi que la position des vannes de frontière.



**Figure IV.12 :** Création de la frontière sur plan extrait du SIG du réseau d'Alger.

## 5.2 Passage à la modulation de la pression

Sur l'étage *TELEMLY*, il est prévu d'installer trois vannes de régulation, représentées sur la figure IV.13 ci-dessous :



**Figure IV.13 :** Schéma montrant le nombre de vannes de régulation à mettre en service sur l'étage *TELEMLY*. [Document technique de *SEAAL*]

Notre travail consistera à valider le fait que l'on ait choisi d'utiliser trois vannes afin de moduler l'étage *TELEMLY*. En effet, en jouant sur le nombre de vannes, nous verrons que ça aurait été impossible d'en placer qu'une seule, vue la structure de l'alimentation de la zone qui est à deux sorties qui divergent.

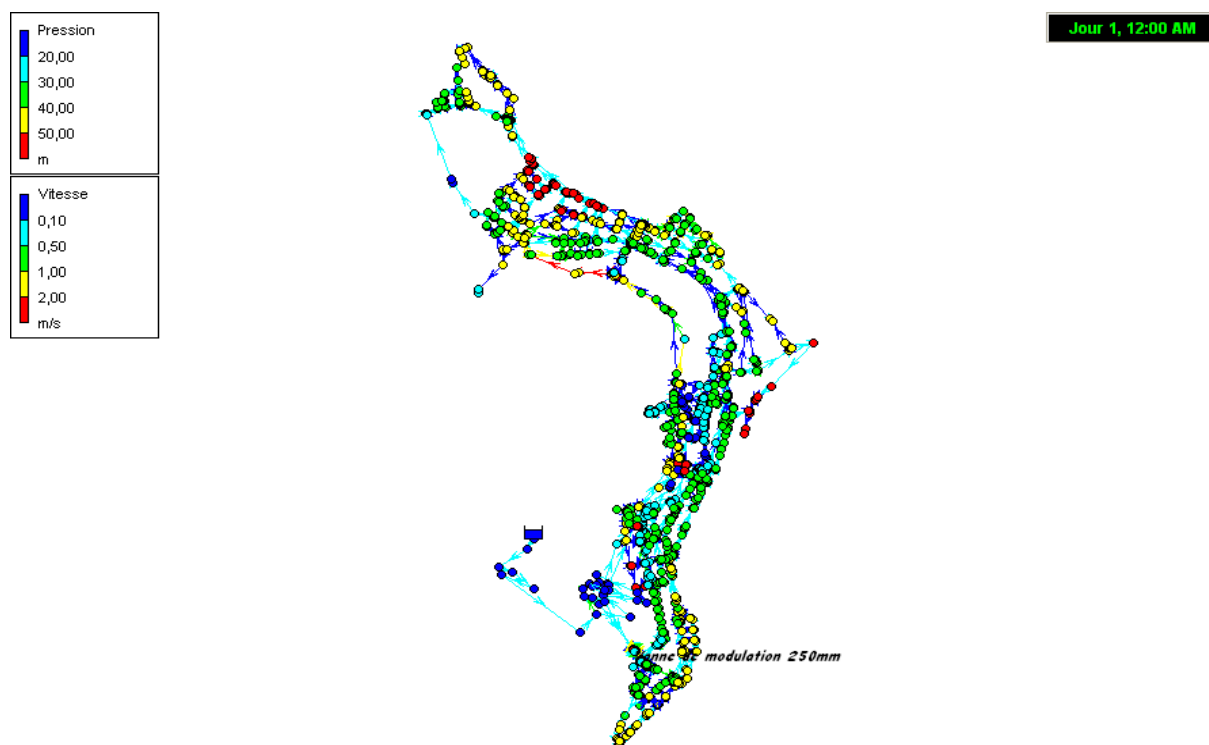
### 5.2.1 Utilisation d'une seule vanne de régulation

#### a. Vanne de régulation (250 mm) sur la conduite 400 mm

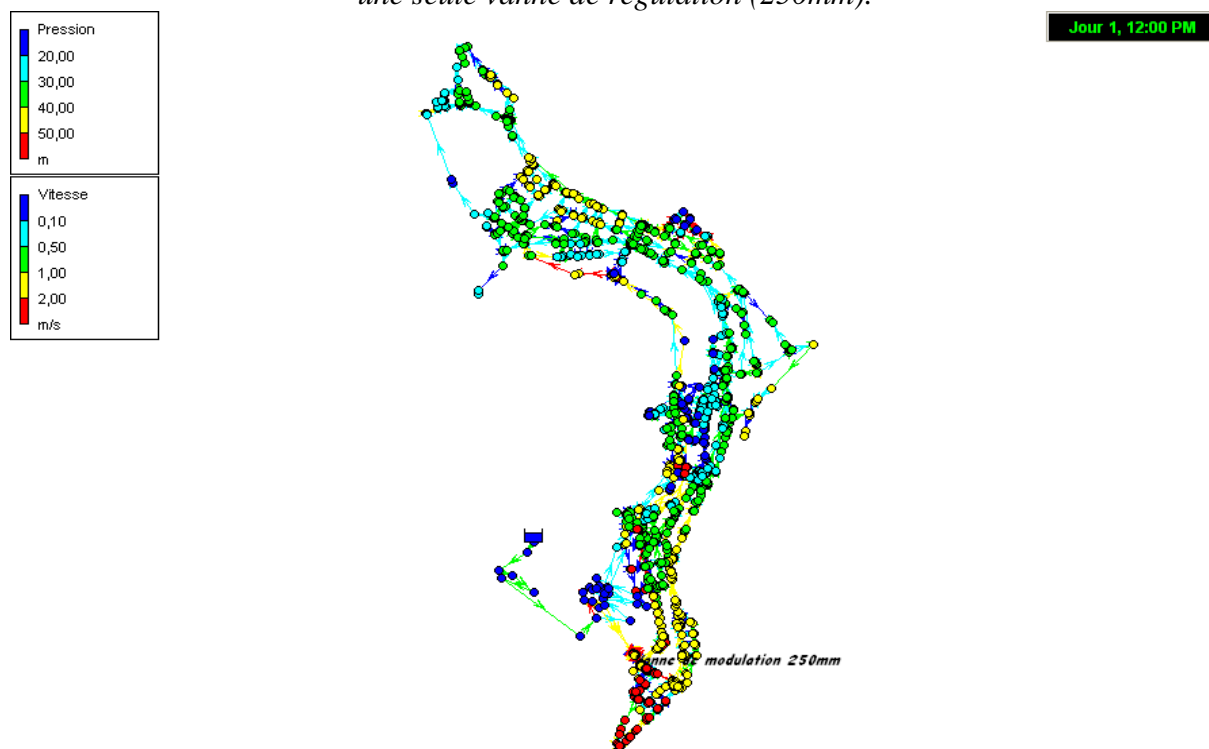
Nous avons procédé à l'installation de la vanne de régulation à l'endroit localisé par les ingénieurs de *SEAAL*, nous avons cependant ajouté une vanne de frontière pour que nous puissions bien étanchéiser la zone.

Une simulation sur *EPANET* nous montre que, pendant la nuit, nous obtenons un bon résultat, par contre pendant la pointe, nous avons des messages disant qu'il y a des pressions négatives. En effet, au niveau du nœud à la cote 17,075 m, nous avons des pressions négatives entre 9h00 et 12h00. Nous avons essayé de changer les consignes, le nœud en question est trop éloigné de la vanne, donc cette dernière ne peut satisfaire la demande en ce point.

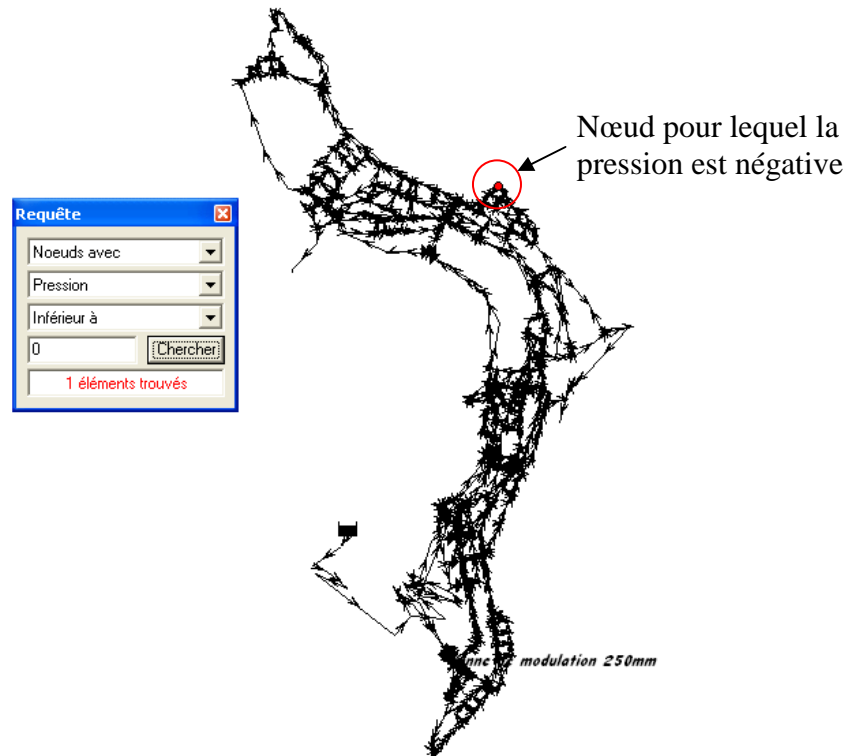
Nous montrons sur les schémas ci-après (Figure IV.14 et IV.15) une situation de l'utilisation de cette vanne de régulation.



**Figure IV.14 :** *Situation en la modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une seule vanne de régulation (250mm).*



**Figure IV.15 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une seule vanne de régulation (250mm).*



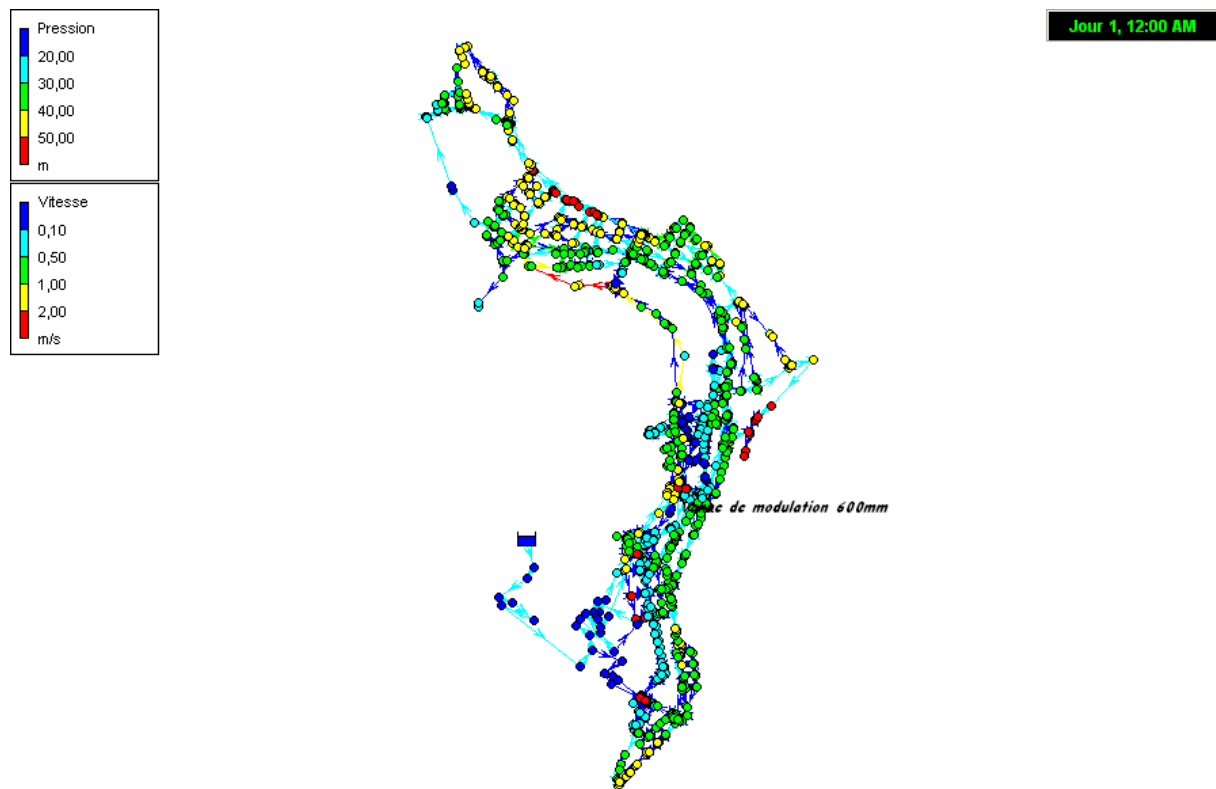
**Figure IV.16 :** Requête des points dont la pression est négative à 12h00.

Aussi, nous avons essayé d'attribuer à la vanne plusieurs profils de régulation, et nous n'avons pas pu réduire les pressions quelque soit la consigne donnée.

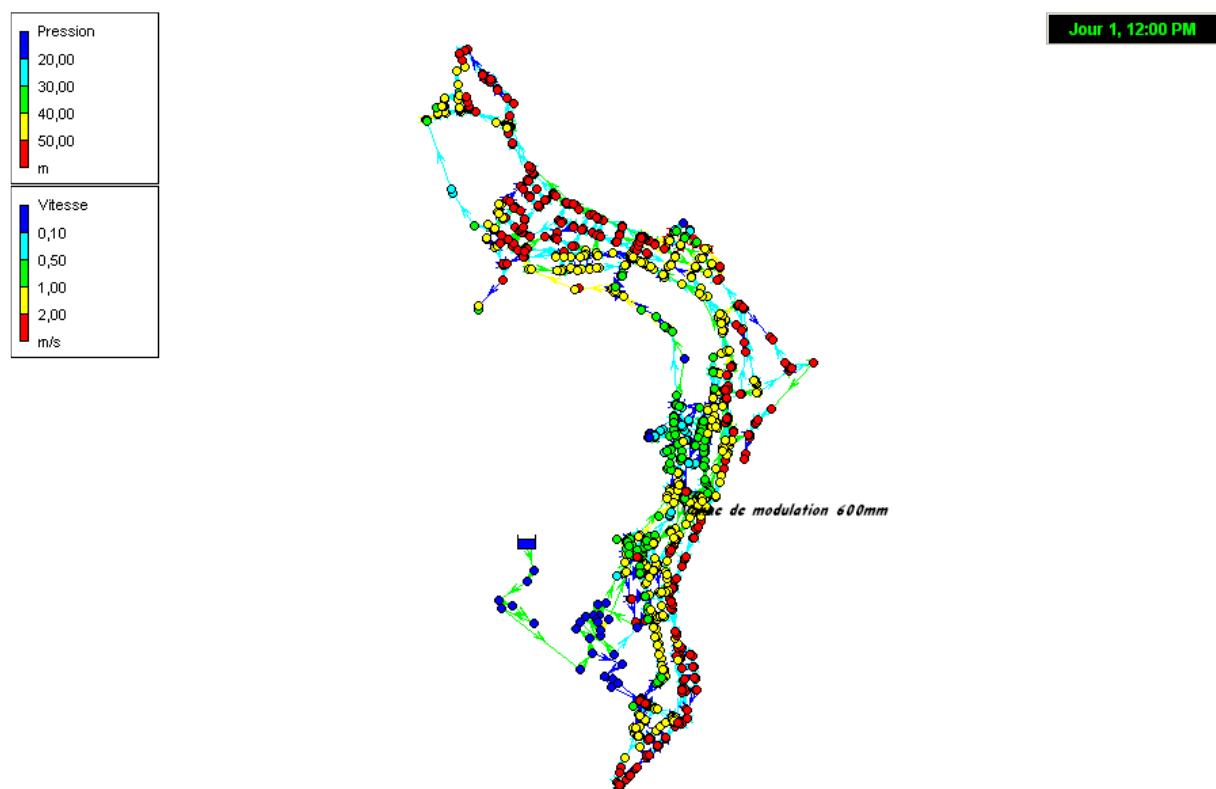
#### **b. Vanne de régulation (600 mm) sur la conduite 600 mm**

De même, nous avons placé la vanne sur la conduite 600 mm vers Alger Nord, mais dans ce cas, nous n'avons aucun problème de pression et la vanne peut assurer le bon fonctionnement du réseau. (Voir les figures IV.16 et IV.17)





**Figure IV.17 :** Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une seule vanne de régulation (600mm).



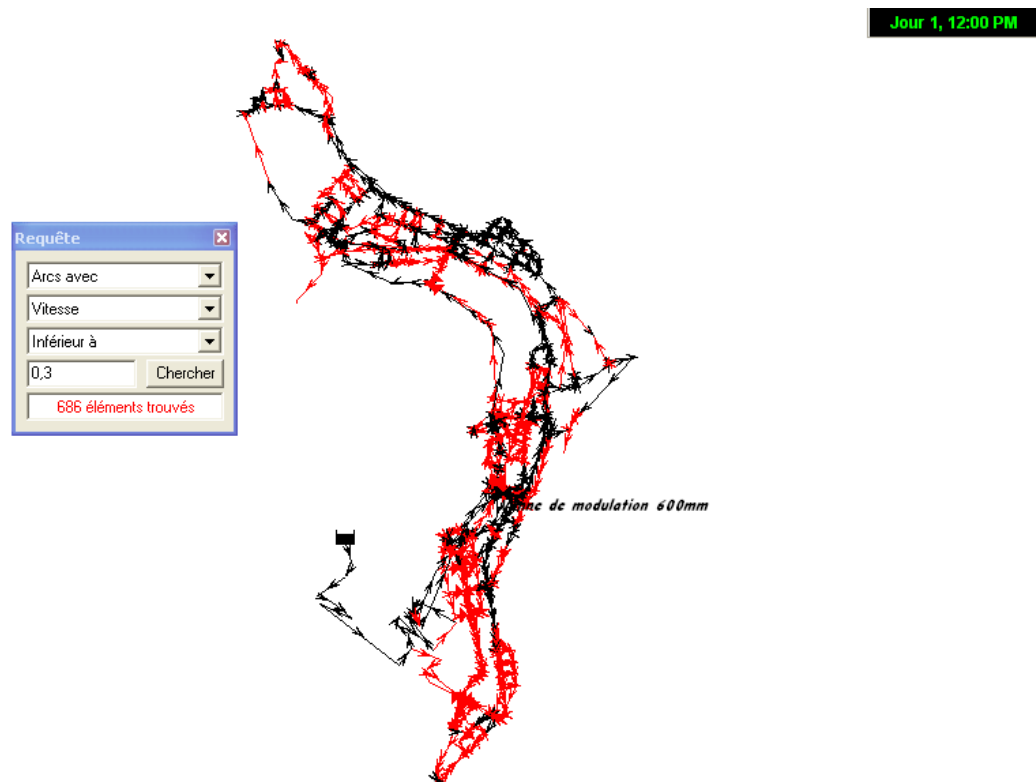
**Figure IV.18 :** Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une seule vanne de régulation (600mm).

Les résultats sont très satisfaisants dans ce cas, nous aurions pu n'installer qu'une seule vanne de 600 mm. Après plusieurs essais, nous nous sommes proposé les consignes présentées sur le tableau suivant.

Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	30	6h00	31	12h00	44	18h00	34
1h00	28	7h00	35	13h00	41	19h00	34
2h00	28	8h00	38	14h00	36	20h00	33
3h00	28	9h00	39	15h00	35	21h00	33
4h00	28	10h00	44	16h00	35	22h00	33
5h00	30	11h00	44	17h00	35	23h00	30

**Tableau IV.1 :** Consignes horaires données à la vanne 600mm.

Le problème des vitesses persiste, nous montrons sur la figure IV.19 les résultats d'une requête faite sur le logiciel des arcs pour lesquels les vitesses ne sont pas admissibles.

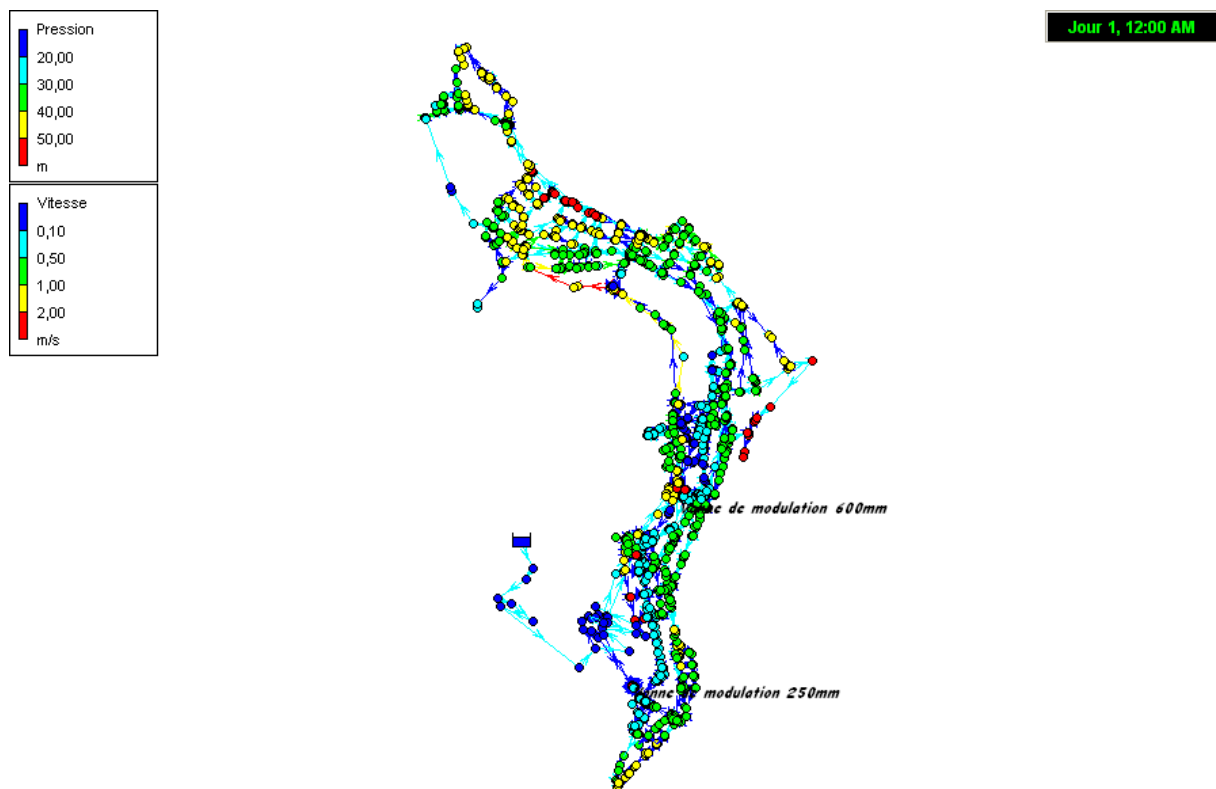


**Figure IV.19 :** Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles (cas d'une seule vanne 600mm).

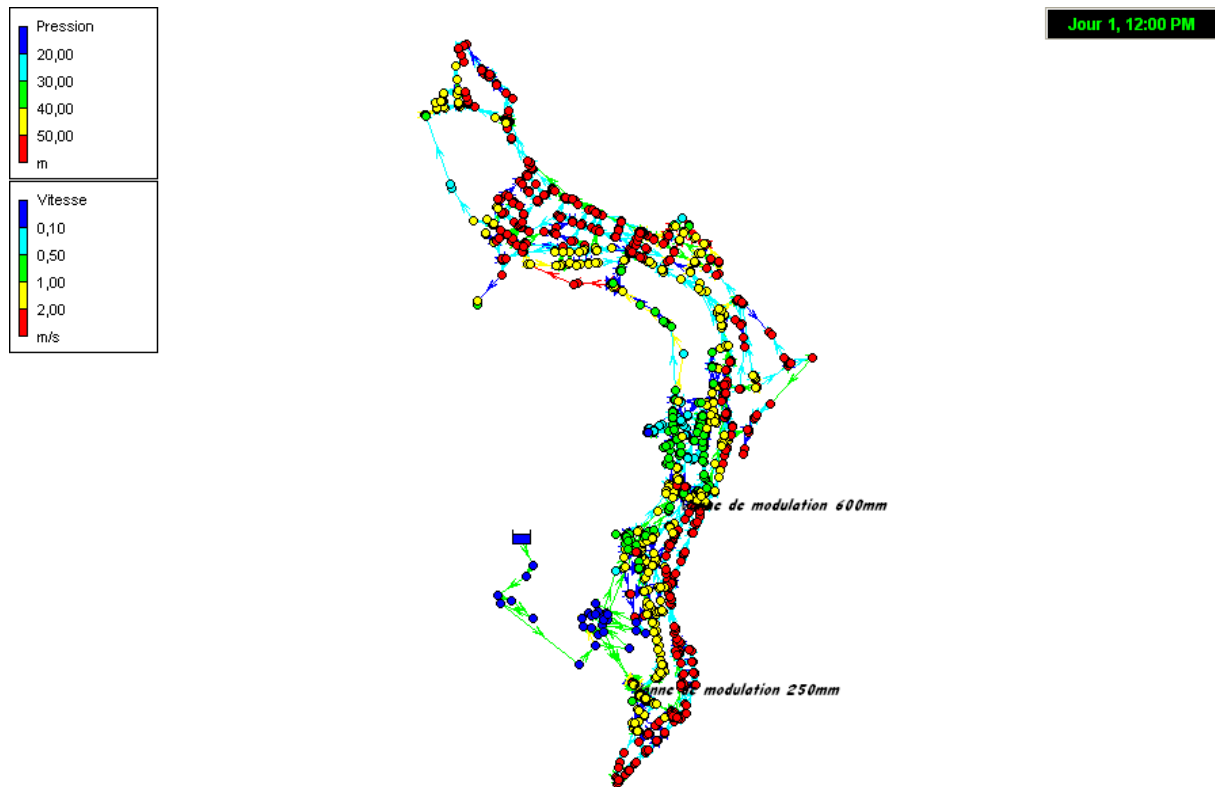
### 5.2.2 Utilisation de deux vannes de régulation

Suivant ce que les ingénieurs de *SEAAL* ont préconisé, nous avons installé deux vannes de régulation, une sur la conduite 400 mm vers Alger Centre, et l'autre sur la 600 mm vers Alger Nord. Avec des différents profils de régulation, nous sommes tombés sur un profil qui correspond aux résultats voulus.

Sur les figures qui suivent (Figures IV.18, IV.19), nous présentons une situation de régulation de pression en utilisant deux vannes de régulation.

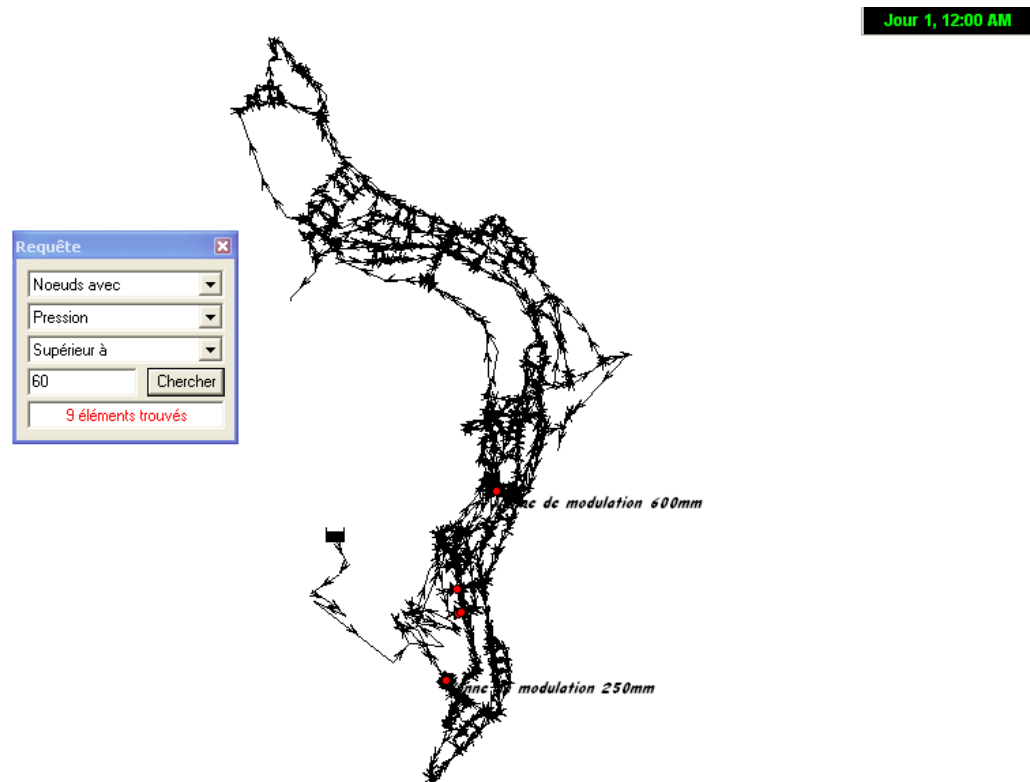


**Figure IV.20 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant deux vannes de régulation.*

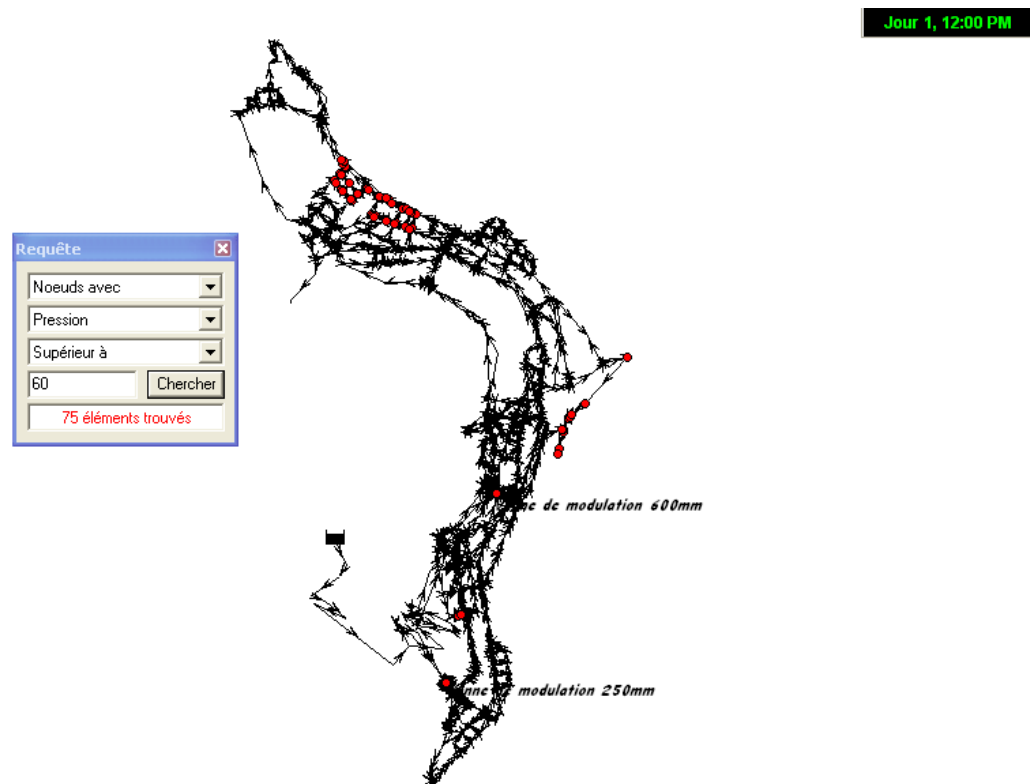


**Figure IV.21 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant deux vannes de régulation.*

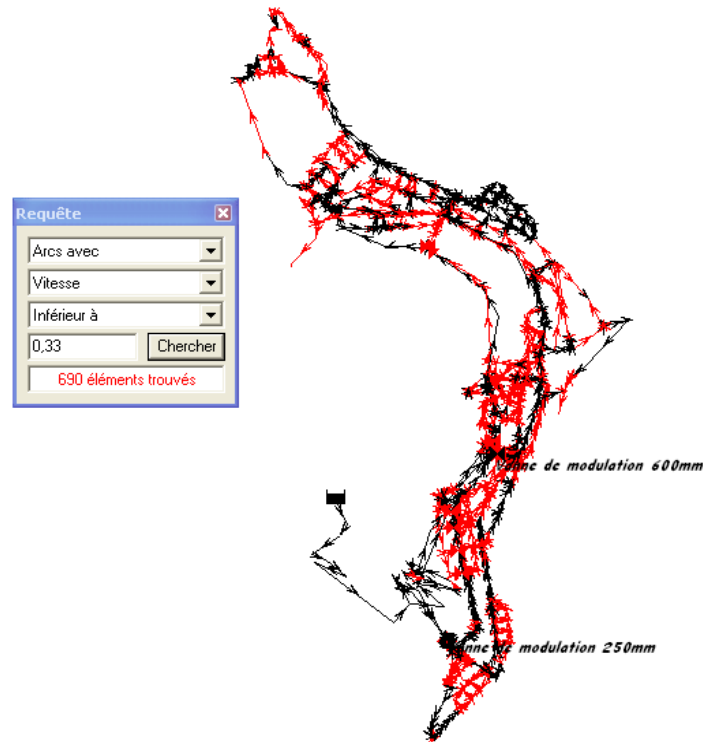
Nous voyons bien que les problèmes de fortes pressions ne se posent plus sur l'étage, nous effectuons une recherche des nœuds sur lesquels la pression est trop forte sur les figures qui suivent (Figures IV.20 et IV.21).



**Figure IV.22 :** Schéma d'une simulation montrant les pressions à 0h00 (heure creuse).



**Figure IV.23 :** Schéma d'une simulation montrant les pressions à 12h00 (heure de pointe).



**Figure IV.24 :** Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles.

Nous remarquons aussi que les vitesses restent faibles en majorité. Ce phénomène peut être dû au fait que nous prenons les diamètres théoriques des conduites alors qu'en réalité, les diamètres sont réduits avec le temps, surtout sur un réseau aussi ancien que celui de la capitale.

Les consignes que nous nous sommes proposé à donner aux deux vannes de régulation sont présentées sur les tableaux suivants (Tableau IV.2 et IV.3).

Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	30	6h00	31	12h00	44	18h00	34
1h00	28	7h00	35	13h00	41	19h00	34
2h00	28	8h00	38	14h00	36	20h00	33
3h00	28	9h00	39	15h00	35	21h00	33
4h00	28	10h00	44	16h00	35	22h00	33
5h00	30	11h00	44	17h00	35	23h00	30

**Tableau IV.2 :** Consignes horaires données à la vanne 600mm.

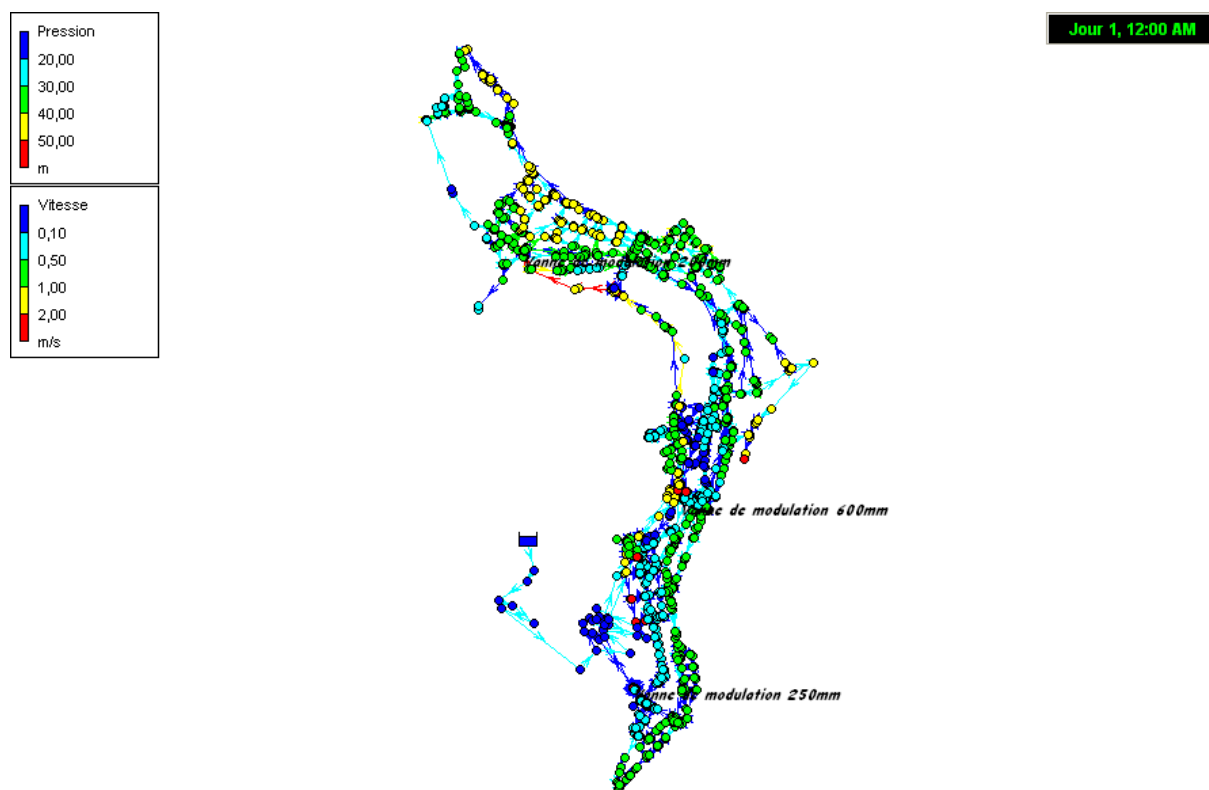
Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	27	6h00	30	12h00	43	18h00	33
1h00	25	7h00	35	13h00	40	19h00	31
2h00	25	8h00	37	14h00	35	20h00	31
3h00	25	9h00	38	15h00	34	21h00	31
4h00	25	10h00	42	16h00	34	22h00	28
5h00	27	11h00	43	17h00	34	23h00	27

**Tableau IV.3 :** *Consignes horaires données à la vanne 250mm.*

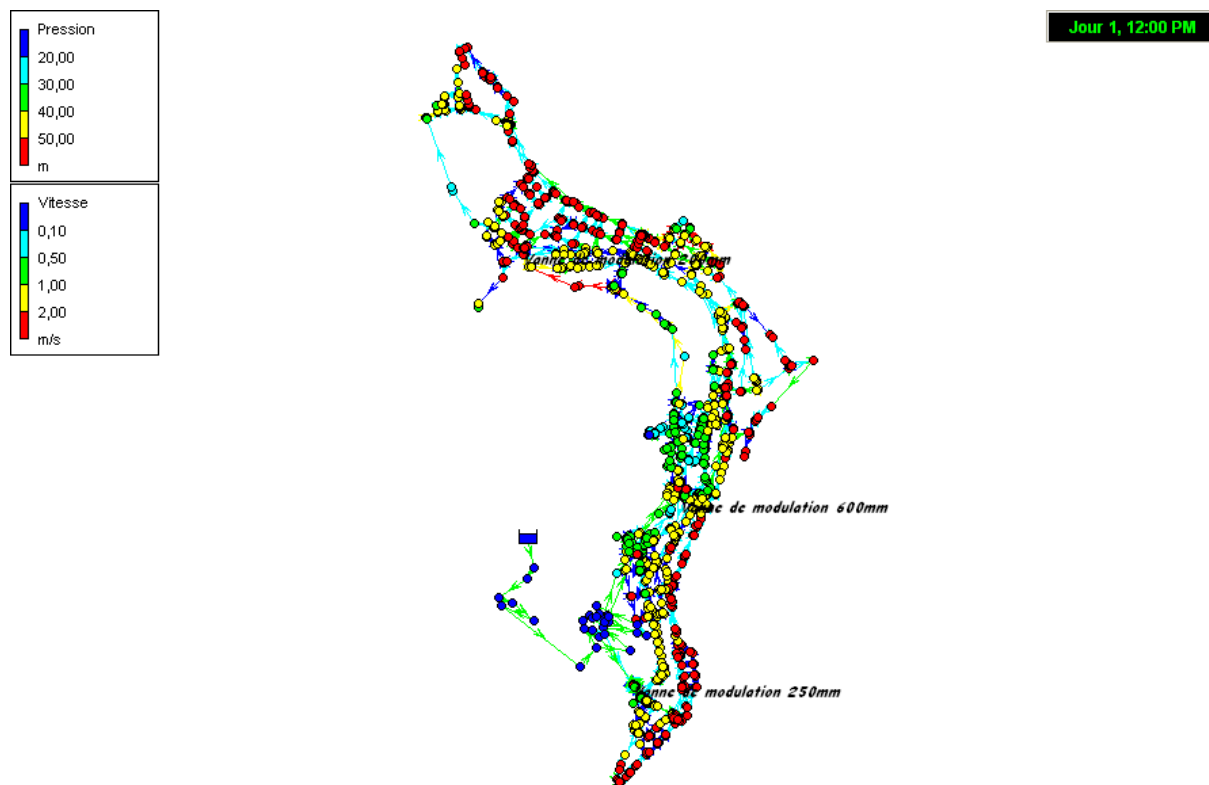
### 5.2.3 Utilisation de trois vannes de régulation

Comme nous l'avons dit précédemment, les ingénieurs de *SEAAL* ont prévu l'installation de trois vannes de régulation, la troisième sera mise en place sur une conduite 250 mm non loin de celle installée sur la 600 mm toujours côté Alger Nord.

En comparant les résultats fournis par *EPANET*, nous ne voyons aucun intérêt supplémentaire à installer cette troisième vanne. Dans les schémas qui suivent (Figures IV.25 et IV.26), nous représentons la simulation de cette situation sur le logiciel.



**Figure IV.25 :** Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant trois vannes de régulation.



**Figure IV.26 :** Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant trois vannes de régulation.



Pour ne pas dire que cette troisième vanne n'offre aucun intérêt à la modulation de la pression de l'étage, nous pouvons dire que c'est un étage un peu compliqué car il est en contact avec le réseau qui est alimenté par le réservoir Sahel, et qu'il y a même une quatrième vanne que *SEAAAL* a prévu d'installer sur la conduite 500 mm Sahel comme vanne de secours.

Disons aussi que le projet de création ainsi que de modulation des différents étages a une certaine continuité, que nous ne pouvons prendre en considération.

Les consignes que nous nous proposons de donner aux deux vannes, 600mm et 400mm sont présentées dans les tableaux suivants (Tableaux IV.3 et IV.4).

Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	27	6h00	30	12h00	43	18h00	33
1h00	25	7h00	35	13h00	40	19h00	31
2h00	25	8h00	37	14h00	35	20h00	31
3h00	25	9h00	38	15h00	34	21h00	31
4h00	25	10h00	42	16h00	34	22h00	28
5h00	27	11h00	43	17h00	34	23h00	25

**Tableau IV.4 :** *Consignes horaires données à la vanne 600 mm.*

Heures	Consigne (m)	Heures	Consigne (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	20	6h00	28	12h00	41	18h00	31
1h00	18	7h00	33	13h00	38	19h00	29
2h00	18	8h00	35	14h00	33	20h00	29
3h00	18	9h00	36	15h00	32	21h00	29
4h00	18	10h00	40	16h00	32	22h00	25
5h00	20	11h00	41	17h00	32	23h00	23

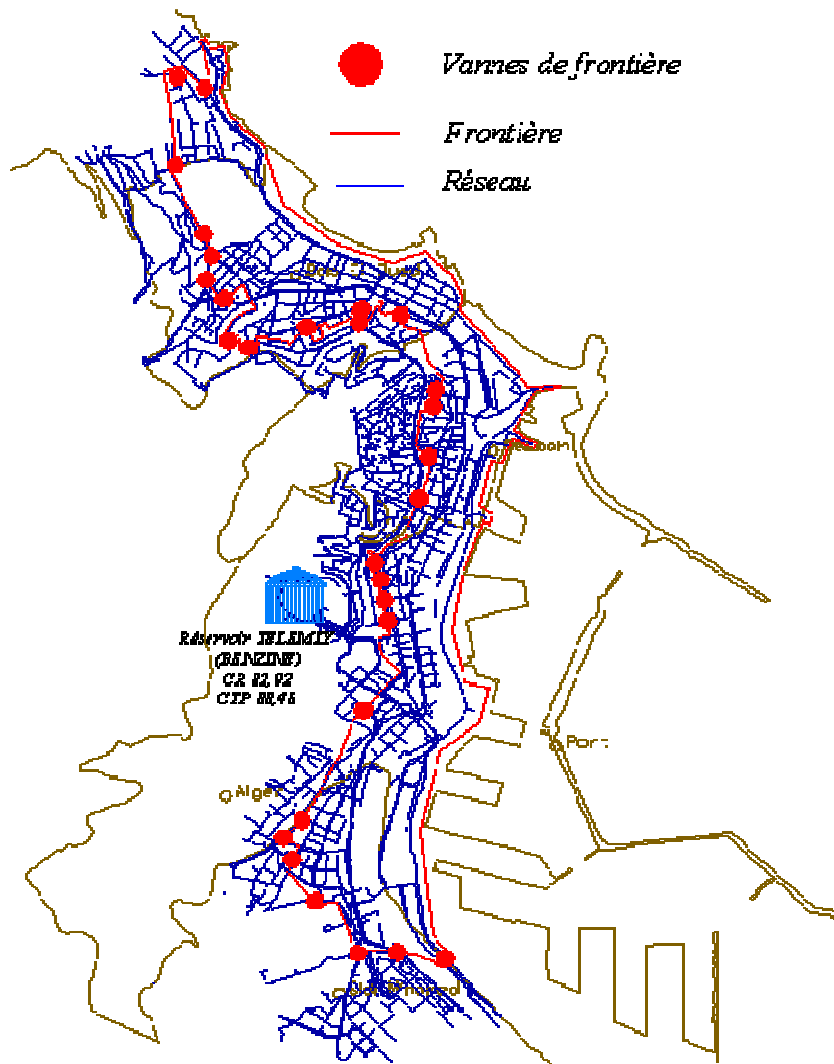
**Tableau IV.5 :** *Consignes horaires données à la vanne 250 mm.*

La troisième vanne restera fermée jusqu'à ce qu'il y ait un problème à l'une des deux autres, nous lui donnerons une consigne identique à celle de 250 mm.

### 5.3 Extension de la frontière de l'étage *TELEMLY*

Cette extension consiste à étendre la frontière de la zone réduite, présentée précédemment, et de la basculer vers une zone qui appartient à l'étage *Kouba 117*, mais qui constitue une zone trop basse pour ce dernier.

Nous illustrons dans la figure suivante (Figure IV.27), l'étage *TELEMLY* avec la nouvelle frontière.



**Figure IV.27 :** Création de la nouvelle frontière sur plan extrait du SIG du réseau d'Alger.

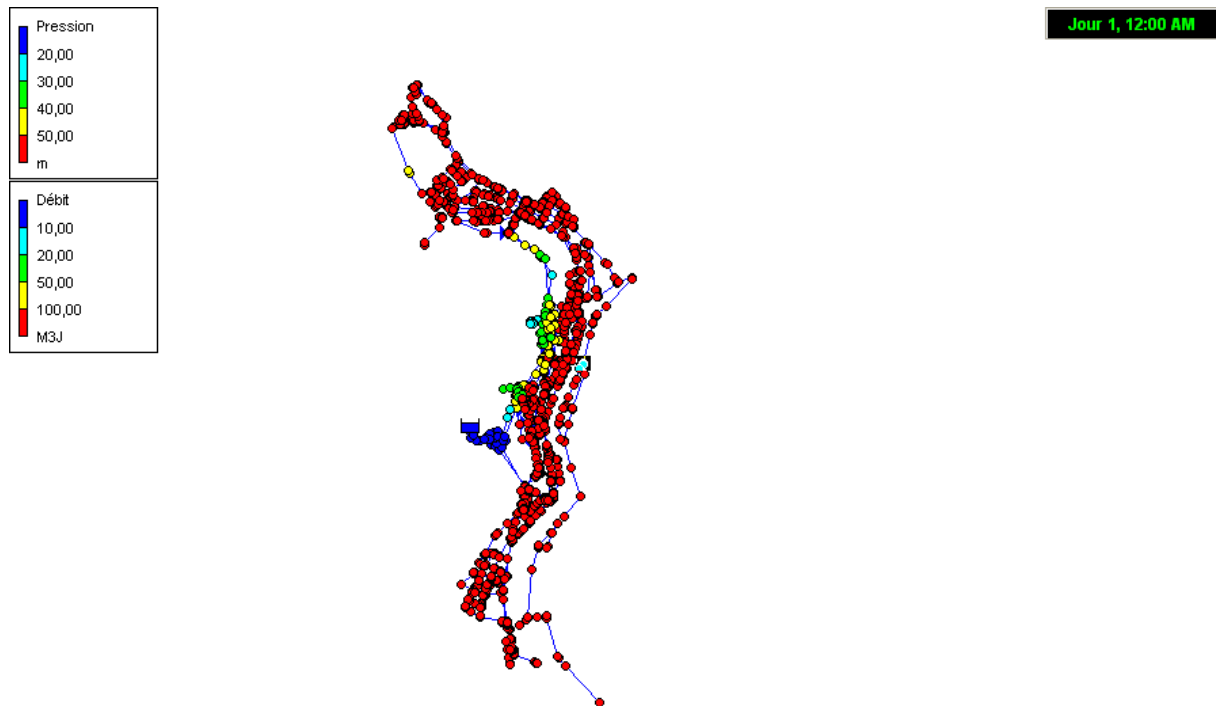
Afin de pouvoir effectuer l'élaboration de la nouvelle frontière de l'étage, nous avons dû introduire les réseaux des deux étages, à savoir celui de *TELEMLY* et de *Kouba 117*, en utilisant la même démarche expliquée en début du chapitre (§4 Modélisation de l'étage *TELEMLY*). Nous avons donc suivi les plans avec lesquels les ingénieurs de *SEAAL*

travaillent afin de pouvoir localiser les vannes de frontière. Nous montrons le réseau obtenu sur *EPANET*, sur la figure qui suit (Figure IV.28).



**Figure IV.28 :** *Le modèle de l'étage TELEMLY étendu sur EPANET.*

Après une première simulation, nous obtenons un réseau bien équilibré, que nous montrons dans la figure ci-après (Figure IV.29).



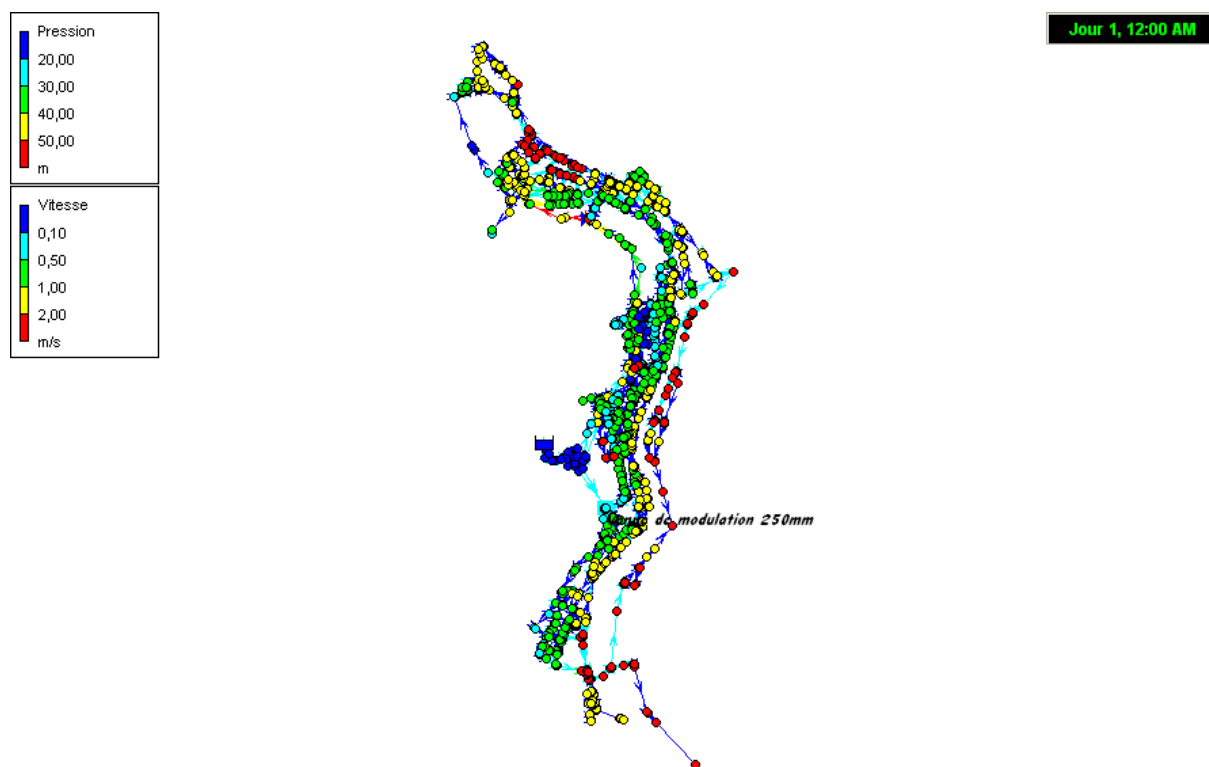
**Figure IV.29 :** Schéma d'une simulation de l'étage *TELEMLY* étendu sur *EPANET* à 0h00 (heure creuse).

Nous remarquons ainsi que les pressions sont aussi importantes que dans le cas de l'étage *TELEMLY* présenté initialement. Nous passerons donc à la modulation de la pression.

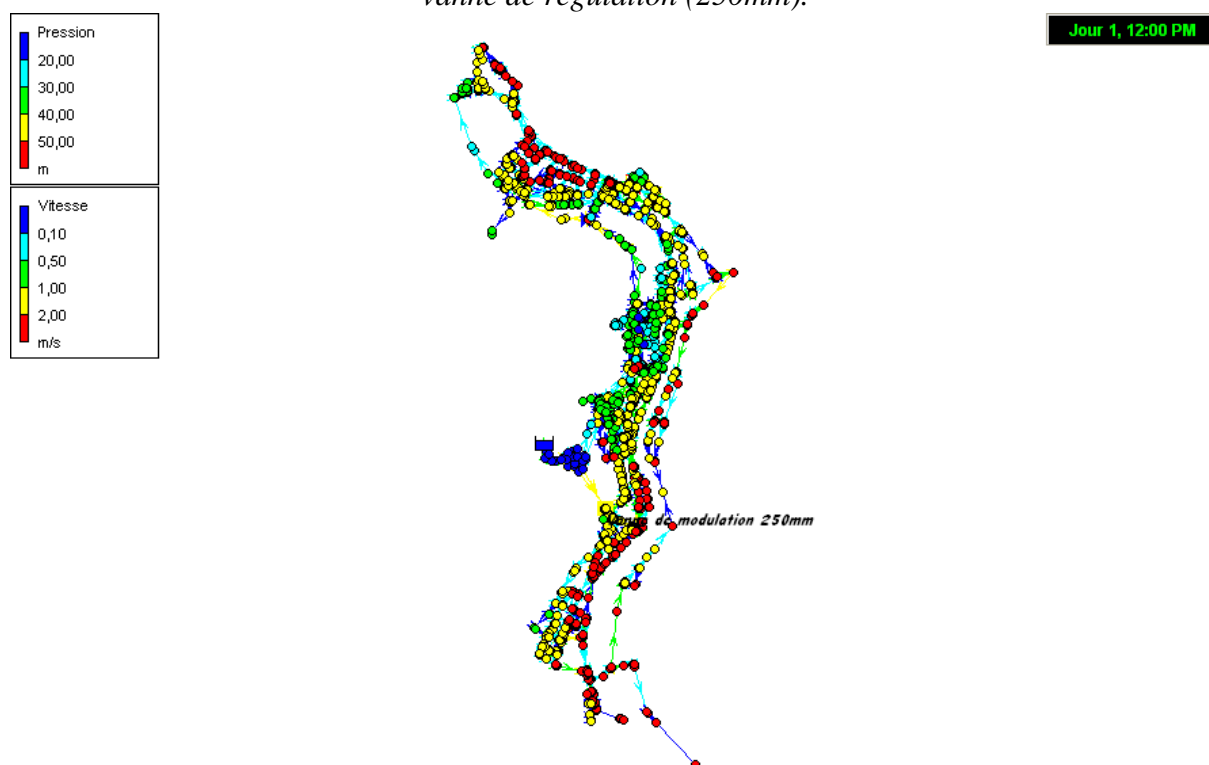
### 5.3.1 Utilisation d'une vanne de régulation

#### a. Installation de la vanne 250 mm

Nous procédons à l'installation de la vanne 400 mm vers Alger Centre, afin d'obtenir des pressions satisfaisantes sur le réseau. Nous montrons sur les figures IV.30 et IV.31, les résultats d'une simulation sur *EPANET*.



**Figure IV.30 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, en utilisant une vanne de régulation (250mm).*



**Figure IV.31 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une vanne de régulation (250mm).*

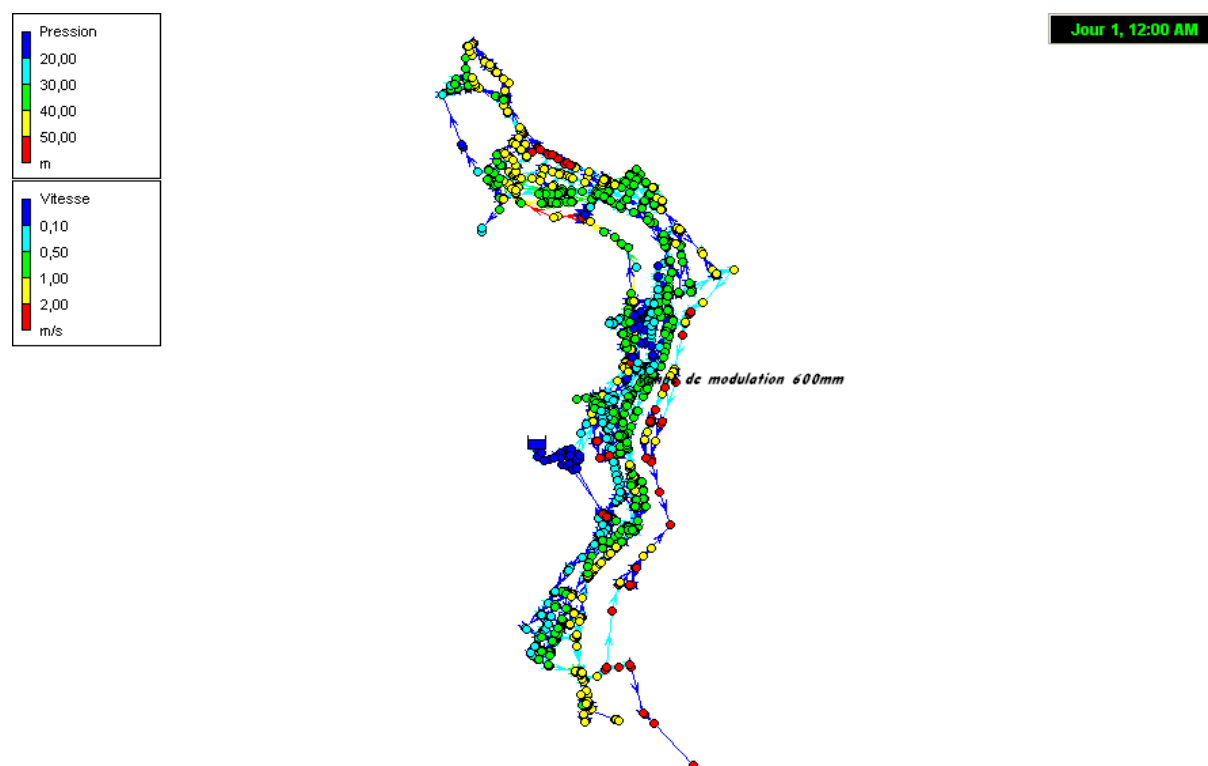
Nous nous sommes proposé les consignes à la vanne comme suit (Tableau IV.6).

Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	30	6h00	31	12h00	44	18h00	34
1h00	28	7h00	35	13h00	41	19h00	34
2h00	28	8h00	38	14h00	36	20h00	33
3h00	28	9h00	39	15h00	35	21h00	33
4h00	28	10h00	44	16h00	35	22h00	33
5h00	30	11h00	44	17h00	35	23h00	30

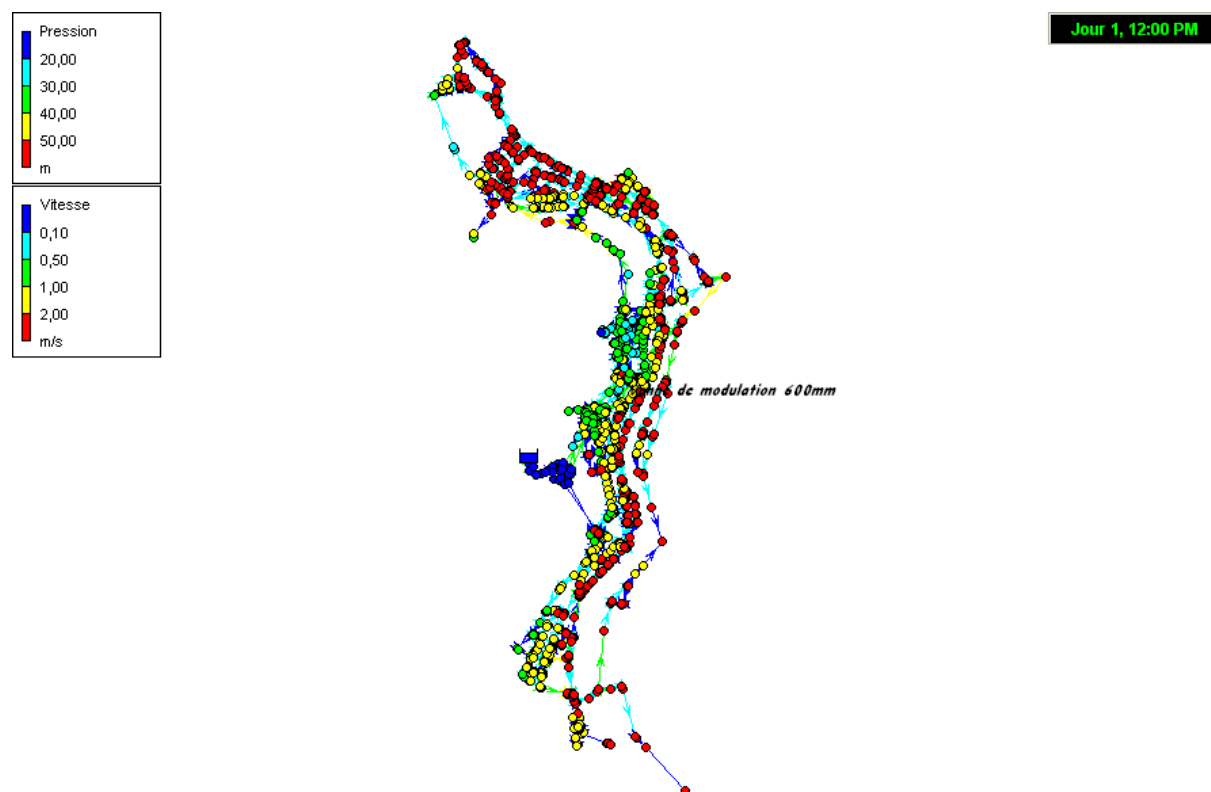
**Tableau IV.6 :** Consignes données à la vanne 250mm.

### b. Installation de la vanne 600mm

Nous procédons à l'installation de la vanne 600 mm côté Alger Nord, afin d'obtenir des pressions satisfaisantes sur le réseau. Nous montrons sur les figures IV.32 et IV.33, les résultats d'une simulation sur *EPANET*.



**Figure IV.32 :** Situation en modulation de la pression sur *EPANET* à 0h00, en utilisant une vanne de régulation (600mm).



**Figure IV.33 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, en utilisant une vanne de régulation (600mm).*

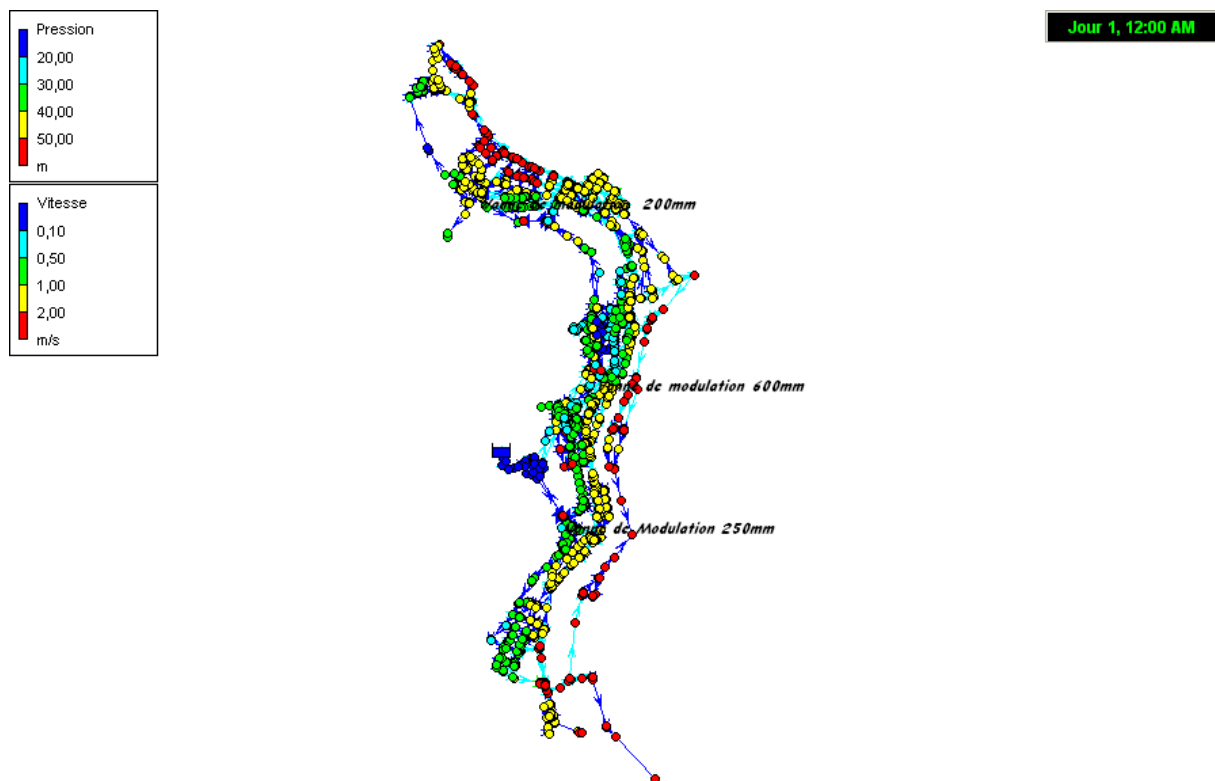
Les consignes que nous nous sommes proposé de donner à la vanne sont présentées sur le tableau suivant (tableau IV.7).

Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	20	6h00	28	12h00	41	18h00	31
1h00	18	7h00	33	13h00	38	19h00	29
2h00	18	8h00	35	14h00	33	20h00	29
3h00	18	9h00	36	15h00	32	21h00	29
4h00	18	10h00	40	16h00	32	22h00	25
5h00	20	11h00	41	17h00	32	23h00	23

**Tableau IV.7 :** *Consignes données à la vanne 600mm.*

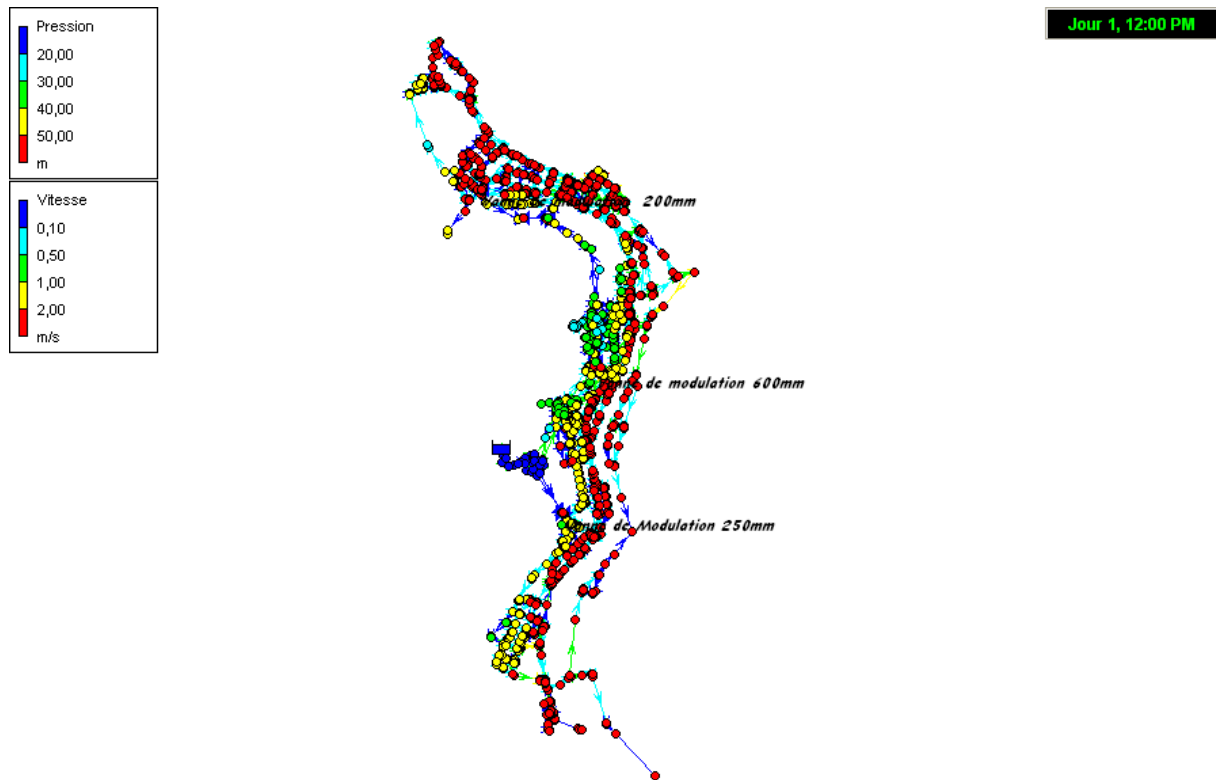
**c. Installation des trois vannes de régulation**

En procédant comme les ingénieurs de *SEAAL*, nous installons les trois vannes en même temps, une simulation montre les résultats suivant (Figure IV.34).



**Figure IV.34 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 0h00, de l'étage TELEMLY étendu (trois vannes).*





**Figure IV.35 :** *Situation en modulation de la pression sur EPANET à 12h00, de l'étage TELEMLY étendu (trois vannes).*

Les résultats des simulations obtenus dans ce cas sont aussi satisfaisants que ceux trouvés pour le cas d'utilisation de deux vannes ainsi que pour le cas d'une seule vanne. Le fait est que la troisième vanne de régulation (200 mm) puisse nous servir d'une vanne de secours en cas de problème au niveau des deux autres vannes.

Les consignes que nous nous sommes proposé de donner aux deux vannes de régulation (250 mm et 600 mm) sont présentées sur les tableaux suivants (Tableaux IV.8 et IV.9).

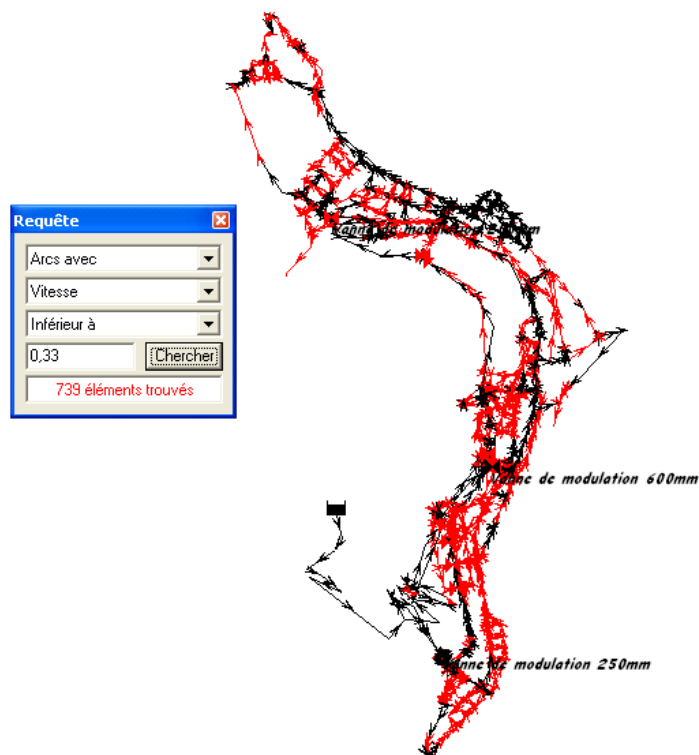
Heures	Consignes (m)	heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	27	6h00	30	12h00	43	18h00	33
1h00	25	7h00	35	13h00	40	19h00	31
2h00	25	8h00	37	14h00	35	20h00	31
3h00	25	9h00	38	15h00	34	21h00	31
4h00	25	10h00	42	16h00	34	22h00	28
5h00	27	11h00	43	17h00	34	23h00	27

**Tableau IV.8 :** *Consignes données à la vanne 250mm.*

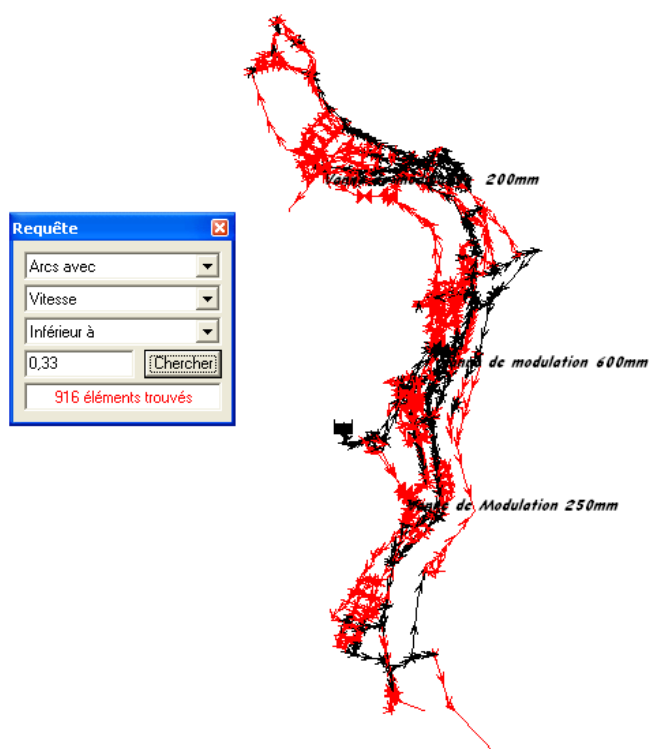
Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)	Heures	Consignes (m)
0h00	29	6h00	30	12h00	41	18h00	32
1h00	27	7h00	34	13h00	38	19h00	31
2h00	27	8h00	35	14h00	33	20h00	31
3h00	27	9h00	36	15h00	33	21h00	31
4h00	27	10h00	41	16h00	33	22h00	30
5h00	29	11h00	41	17h00	33	23h00	29

**Tableau IV.9 :** *Consignes données à la vanne 600mm.***d. Problèmes des vitesses**

Après l'extension de la zone, nous nous attendions à de meilleures vitesses, mais ceci n'a pas été atteint comme nous l'avions souhaité. Nous montrons sur les figures qui suivent (Figures IV.30 et IV.31) une comparaison faite à travers des requêtes que nous avons effectuées sur *EPANET*.



**Figure IV.36** : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles (avant extension de la zone).



**Figure IV.36** : Schéma montrant en rouge les conduites dans lesquelles les vitesses sont trop faibles (après extension de la zone).

Nous avons divisé le nombre de tronçons pour lesquels les vitesses sont faibles sur le nombre total des conduites.

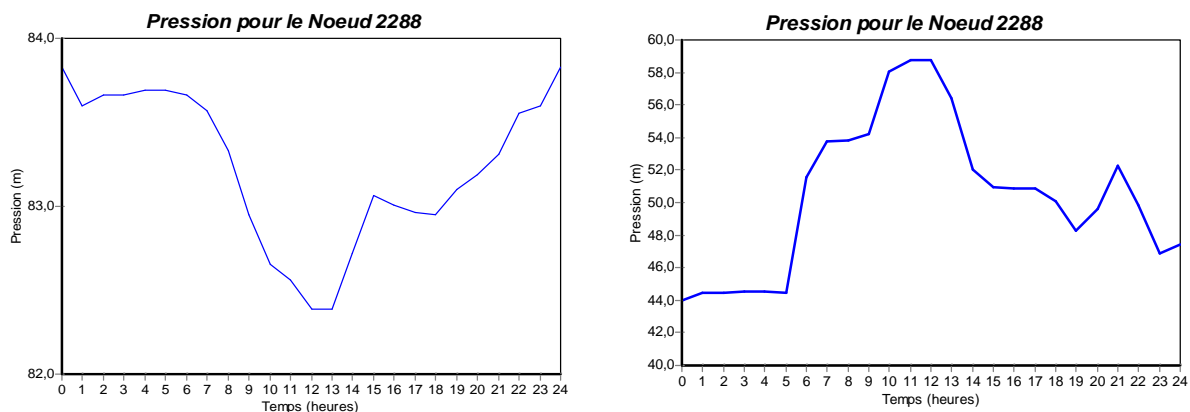
- 60,8% pour l'étage *TELEMLY* initial ;
- 63,6% pour l'étage *TELEMLY* étendu.

Nous remarquons donc que les vitesses ne changent pas d'une manière représentative. Nous ne devons pas négliger ce phénomène car il intervient dans la qualité de l'eau dans le réseau.

#### 5.4 Etablissement des consignes des vannes de régulation

Nous nous sommes basés sur les résultats obtenus lors des simulations sur *EPANET*. Nous nous sommes intéressés aux points les plus défavorables, à savoir ceux situés dans la zone basse du réseau. D'autres points peuvent être pris en considération, par exemple les points hauts, ainsi que ceux où nous sommes confrontés à alimenter les immeubles de plus de 10 étages.

En réalité, nous devons avoir des mesures de pression sur la zone prises à la journée dite « la journée de référence », pendant laquelle nous effectuerons la fermeture des vannes de frontière, et nous mettrons le réseau en charge totale, puis nous enregistrerons les pressions obtenues aux points choisis.



**Figure IV.37 :** Evolution de la pression au nœud 2288 sur *EPANET* avant et après la modulation de la pression.

Nous remarquons que sur l'étage *TELEMLY* étendu, en utilisant les consignes représentées précédemment, nous nous situons dans de bonnes conditions de pressions. La figure précédente (figure IV.32), montre bien qu'avant la modulation, nous avons des pressions importantes au nœud 2288, situé à 4,641 m d'altitude, soit de 8,38 bars environ pendant les heures creuses, et de 8,24 bars à la pointe.

Cette extension est donc une bonne opération, du moment qu'elle ne nous oblige guère à utiliser un nombre de vannes supplémentaire à celui qui a été prévu.

## **6. Fiabilité du modèle**

Comme nous l'avons dit en introduction, il y a une phase très importante que nous devons effectuer, celle du calage du modèle. Cette dernière permet de refléter la réalité et de prendre des décisions précises en termes d'intervention sur le terrain.

Ce que nous avons fait, est qu'à partir d'une modélisation de l'étage *Kouba 97* qui alimente la commune de l'*Hussein Dey*, et qui a été bien calée, nous avons effectué des modifications en termes de consommation aux nœuds ainsi que de rugosité des conduites.

Les constatations qui ont été faites pendant ladite modélisation de l'étage *Kouba 97*, montrent que les profils de consommation introduits dans le modèle ne reflètent pas la réalité. Donc des modifications ont été apportées à ces derniers, mais en gardant la même allure. Ces modifications restent à vérifier concernant l'étage *TELEMLY*, car chaque région possède ses propres caractéristiques et particularités.

Aussi, il a été montré qu'au lieu de diviser les consommations importées de la base de données du logiciel *PICCOLO* par 0,6, nous devons le faire par 0,78. Ceci a été montré en faisant un rapport du volume mesuré et de celui simulé sur l'étage *Kouba 97*.

## Conclusion

Dans notre travail, nous n'avons pas procédé au calage du modèle, du fait que les données que nous devons avoir pour le faire ne sont pas disponibles pour l'instant. L'interconnexion entre les réseaux des différents étages cités plus haut nous oblige à attendre que l'étage soit étanche à 100%, chose aisée à réaliser sur le modèle mais très difficile sur le terrain.

Nous proposerons donc une suite à ce que nous avons pu apporter comme alternatives au projet concernant l'étage *TELEMLY*. Des mesures de débit et de pression après fermeture de la frontière et réalisation des modifications que les ingénieurs de *SEAAL* ont prévues seront d'un apport important afin de pouvoir utiliser le modèle pour prendre des décisions et suivre le comportement en temps réel du réseau.

# **Conclusion générale**

Pendant notre stage effectué au sein de la Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger, nous avons eu l'occasion de nous entretenir avec différents experts, algériens et étrangers.

En premier lieu, nous devions comprendre le principe de la modulation de la pression, nous avons donc eu recours aux professionnels qui sont, depuis la création de *SEAAAL*, sur le terrain afin de bien maîtriser et cerner les particularités du réseau de la ville d'Alger.

Le travail que nous avons réalisé est d'une forte importance en terme de prise de décision. En effet, en réalisant un modèle du réseau, nous avons la capacité de pouvoir suivre de près les différents points où les problèmes risquent d'apparaître.

Nous avons pris du temps à pouvoir maîtriser d'une manière satisfaisante le principe du projet qui est la modulation de la pression. Car celui-ci part d'une investigation très poussée sur terrain, à une prise de décision faite généralement sur les plans, concernant la création de la frontière ainsi que le choix de l'emplacement des vannes de régulation et de leurs nombre.

La méthodologie adoptée pour réaliser le projet de fin d'étude, doit être poursuivie mais d'une façon mieux organisée. En effet, l'idéal fut d'effectuer un stage de durée plus importante. Permettant de préconiser des solutions plus fines qui puissent être prises en considération par la société.

Néanmoins pour compléter notre travail, nous proposons qu'une campagne de mesure plus poussée soit réalisée. Elle permettra de mieux refléter la zone étudiée. Nous devons enquêter sur les consommations des différentes catégories d'abonnés. L'idéal est d'être en collaboration avec les services clientèle d'une région donnée. Ils détecteront les quartiers dans lesquels il y a une forte et moindre consommation, et ce pour toutes les catégories de consommation. Afin d'être plus précis, nous aurons à installer des enregistreurs de débit ainsi que de pression en amont des compteurs de quelques abonnés jugés d'une consommation exceptionnelle et représentative du quartier. Cela nous permettra d'avoir une idée plus précise sur le comportement des clients ainsi que de définir des profils de consommations plus représentatifs que ceux introduits dans le modèle que nous avons réalisé. Ces profils pourront aussi représenter les différentes saisons de l'année précisant ainsi finement le caractère saisonnier des profils de consommation.



Nous pouvons aussi citer quelques difficultés que nous avons pu rencontrer pendant la récolte des données dont nous avons besoin pour l'établissement de notre projet. Le fait que le staff de la société ne puisse se mobiliser juste pour venir en aide à des stagiaires, nous a rendu dans l'obligation d'anticiper et d'aller sur les lieux de travail de chaque individu pouvant nous venir en aide. La coopération a été cependant très remarquable, et nous avons pu ressentir l'aspect transfert de savoir-faire chez les responsables de la société ainsi que son personnel en général.

Le modèle que nous avons établi peut être utilisé comme moyen d'aide à la décision, malgré le fait qu'il ne soit pas calé. En effet, le bureau d'étude *SOGREAH* avec lequel la *SEAAAL* travail, effectue des simulations en utilisant le logiciel *PICCOLO* sans que le modèle ne le soit. La procédure de ce calage est importante, mais délicate à réaliser quand nous avons affaire à un réseau d'un linéaire de plus de 4000 km. Le modèle peut cependant constituer une approche sommaire de tout le réseau, mais lorsque nous nous réduisons à l'étude d'une zone plus restreinte, ce calibrage sera primordial pour pouvoir sortir avec des conclusions qui tiennent la route, et des décisions clés à prendre afin d'assurer le bon fonctionnement du réseau et de mener à bien tout projet que la société veuille implanter dans celui-ci.

Les potentialités du logiciel *EPANET* ont pu être vérifiées tout au long du stage même si cependant, certaines limites de calcul ont également été relevées. L'efficacité du logiciel est permise par une connaissance quasi-parfaite des spécificités du terrain. Toutes les manipulations sur le logiciel doivent se justifier sur le terrain. Plus cette cohérence sera respectée, plus le modèle utilisé sera précis. Il constitue un bon moyen pour faire face à des situations pouvant causer des problèmes dans le réseau. Il est facile à manipuler et possède plusieurs options très utiles à quiconque voulant modéliser un réseau.

L'utilisation de plusieurs vannes de régulation dans un seul réseau se justifie par le fait que des problèmes pourraient survenir au niveau de celles-ci, nous devons donc prévoir des plans d'urgence. Aussi une vanne esclave (ou même deux) permettent de soulager la vanne maîtresse pendant les heures de pointe.

Le problème des vitesses trop faibles reste à corriger. Une simulation sur la qualité doit être faite après calage du modèle.

Ce qui reste à la société *SEAAL*, est de faire en sorte que le modèle soit le plus représentatif possible, et cela en prenant toutes les dispositions nécessaires afin de mettre en la possession des modélisateurs toutes les données qui leur seront utiles pour bien caler leur modèle ainsi que pour pouvoir prendre des décisions avec une assurance remarquable.

# **Bibliographie**

*Amir NAFI* « la programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable », thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, [2006].

*Igor BLINDU* « outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de CHRISINAU par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques », thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne France, [2004].

*Manuel d'utilisateur EPANET*, [2003].

*DOCUMENTS TECHNIQUES DE SEAAL.*

*DOCUMENTS TECHNIQUES CLA-VAL.*

*DOCUMENTS TECHNIQUES PAM.*