



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département d'Hydraulique
Laboratoire LRS/EAU

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Hydraulique
Thème

**Analyse du Dysfonctionnement du Système de
Distribution d'eau potable de L'étage de
Birtouta**

Modélisation du Réseau Via Epanet

Par : Mr.DOUAIBIA Rochdi

Sujet proposé par :

Mr. M.BELACHE. D.P.SEAAL

Dirigé par :

Dr. Saâdia BENMAMAR M.C. ENP

Promotion : juin 2009

ENP 10, Avenue Hassen Badi, BP.186 EL HARRACH, ALGER

Dédicaces

Je dédie ce Travail :

A mes très chers parents que Dieu les protège

A mon Frère Ramdane

A mes trois Sœurs qui seront toujours présentes dans ma pensée

A mon nièce Baia, et mon neveu Mohamed

A toute ma famille

A mes chers amis de Souk Ahras

A mes chers amis de polytech,

à mes collègues Mr KOUIDER Khaled,

Mr GUESMIA Ayoub, Mr RICHA Boualem

A mes professeurs de l'Ecole Nationale polytechnique

A tous ceux qui m'aiment et qui me portent dans leurs cœurs.

Merci à vous tous

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu le tout puissant de
m'avoir donnée la chance et le courage
pour réaliser ce travail.

Je tiens à remercier Mr Mohamed.BELACHE
Mr Mohamed BOUKHALFA, Mr Olivier NARBAY, Mlle ELGAIZI Nadia
pour leurs orientations,
aides et conseils.

IL m'est particulièrement agréable de remercier ma promotrice,
Mlle BENMAMAR Saâdia Docteur de l'Ecole
National Polytechnique pour ses précieux conseils, son soutien
et son aide tout au long de ce travail , par la même occasion je remercie tous mes
enseignants du département Hydraulique.

Ma profonde gratitude va à ma mère et mon frère
et mes sœurs qui ont tout fait pour que je réalise
mon rêve
de devenir ingénieur

MERCI

ملخص :

عرف نظام التزويد بالمياه الصالحة للشرب للجزائر العاصمة تدهور كبير منذ سنوات, والأمر يعود أساسا إلى قدم شبكة التوزيع من جهة وإلى سوء تسيير الموارد المائية من جهة أخرى.

عملنا يتمحور أساسا في دراسة تحليلية للعطوبات التي تطرأ على شبكة التوزيع , وقد قمنا بإستعمال نموذج رقمي على طابق من طوابق التوزيع للجزائر العاصمة (بئر التوتة) .

مفاتيح : توزيع , نموذج , خلل وظيفي , فحص. آبار.

Résumé :

Le système d'alimentation en eau potable de la capitale d'Alger a connu une grand défaillance pendant des années, et le problème se réfère principalement du part à la vétusté du réseau de distribution et d'autre part à la mauvaise gestion des ressources en eau.

Notre travail basé essentiellement sur une étude analytique de dysfonctionnement qui semble sur le réseau de distribution. Est pour cela, nous avons utilisé un modèle numérique sur l'étage de distribution de la capitale d'Alger (Birtouta).

Clés :

Distribution, modèle, dysfonctionnement, diagnostic, forages.

Summary

The feeding system out of drinking water of the capital of Algiers knew large a failure during years, and the problem refers mainly of the share to the outdatedness of the distribution network and in addition to the bad stock management out of water.

Our work based primarily on an analytical study of dysfunction which seems on the distribution network, Is for that, we used a digital model on the stage of distribution of the capital of Algiers (Birtouta).

Keys:

Distribution, model, dysfunction, diagnosis, drillings.

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques des conduites selon le matériau les constituant.....	5
Tableau II.1 : Evolution de nombre d’habitants pour différents horizons.....	17
Tableau II.2 : Evolution de la demande en eau entre 2009 et 2025.	18
Tableau II.3 : Etage de distribution du réseau sud-situation actuelle.....	19
Tableau II.4 : Les linéaires de canalisations par diamètre.....	34
Tableau II.5 : Les linéaires de canalisations renouvelées sur le réseau	35
Tableau III.1 : Production annuelle des forages 2008/2009	27
Tableau IV.1 : Distances entre les enregistreurs.....	39
Tableau V.1 : Dotations domestiques fonction de la Typo morphologie de l’habitat.	66
Tableau V.2 : Statistiques de calage pour le débit avant le calage.....	60
Tableau V.3 : Statistiques de calage pour le débit calé.....	63

Liste Des Figures

Figure I-1 : Le processus de production et distribution de l'eau.....	2
Figure I-2 : Exemple de courbe caractéristique d'une pompe.....	5
Figure I-3 : Courbe de consommation Courbe de modulation au jour de pointe.	7
Figure I-4 : Exemple de courbe de volume d'un réservoir.	8
Figure I-5 : Représentation schématique d'un réseau d'alimentation en eau potable.....	9
Figure II-1 : Plan de situation géographique de la ville de Birtouta.....	15
Figure II-2 : L'accroissement des populations pour différents horizons.....	17
Figure II-3 : Extrait du SIG de l'étage de Birtouta.	18
Figure II-4 : Le réservoir de Birtouta ville (1000 m3)	19
Figure II-5 : Réservoir Merious 200 m3.....	20
Figure II-6 : Château d'eau centre Ali Bouhadja 500 m3.....	20
Figure II-7 : Château d'eau Baba Ali Douar 500 m3.....	21
Figure II-8: Citerne Baba Ali Zouine 20 m3.....	21
Figure. II.9 : Château d'eau Sidi M'Hamed 500 m3.....	22
Figure III-1 : Captage des eaux souterraines	28
Figure III-2 : Les éléments d'un forage.....	29
Figure IV-1 : Les étapes essentielles de diagnostic.....	35
Figure IV-2 : L'emplacement d'un enregistreur de bruits.....	38
Figure IV-3: Appareils enregistreurs de bruits.....	40
Figure IV-4: Les appareils à amplification mécanique.....	40
Figure IV-5: Les appareils à amplification électronique.....	41
Figure IV-6 : Principe de fonctionnement des appareils de corrélation	42
Figure IV-7 : Principe de fonctionn.....	44
Figure IV-8 : L'imagerie thermique.....	44
Photographie IV.9 : Corrosion interne.....	45
Photographie IV.10 : Corrosion externe.....	46
Figure IV-11 : Ruptures où fuites apparentes.....	47
Figure V-1 : Schéma illustratif de la loi des mailles dans un réseau d'eau potable.....	50
Figure V-2 : Schéma du modèle numérique de l'étage de Birtouta	54

Figure V-3 : Schéma du modèle numérique de l'étage de Birtouta ville.....	55
Figure V-4 : Profil de grands consommateurs, consommateur diffuse.	56
Figure V-5 : Profil de consommation domestique.....	57
Figure V-6 : Variabilité trimestrielle de la consommation journalière.	57
Figure V-7: Positionnement des points de mesure de pression.....	59
Figure V-8 : Débit mesuré à la sortie du réservoir de Birtouta.	59
Figure V-9 : Comparaison des débits mis en réseau calculés et mesurés.	60
Figure V-10 : Diagramme de corrélation du débit avant le calage.....	61
Figure V-11: Profil de la consommation globale.....	61
Figure V-12 : Profil de la perte moyenne journalière.....	62
Figure V-13 : Comparaison des débits, avec les nouvelles consommations aux nœuds.....	62
Figure V-14 : Diagramme de corrélation du débit calé.....	63
Figure V-15 : Pression pour le nœud 232.	64
Figure V-16 : Pression pour le nœud 233.....	64
Figure V-17 : Pression pour le nœud 234.	64
Figure V-18 : Pression pour le nœud 231.	65
Figure V-19 : Pression pour le nœud 236.....	65
Figure V-20 : Pression pour le nœud 230.....	66
Figure V-21 : Diagramme de corrélation de pression.	66
Figure V-22 : Simulation après le calage du modèle (Heure de pointe : 11 :00 h).	67
Figure V-23: Pressions inférieures à 20 m (Heure de pointe : 11 :00 h).	68
Figure V-24 : Simulation après le calage du modèle (Heure creuse : 02 :00 h).	68
Figure V-25 : Pressions inférieures à 20 m (Heure creuse : 11 :00 h).	69
Figure V-11: Profil de la consommation globale.....	61
Figure V-12 : Profil de la perte moyenne journalière.....	62

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I

Fonctionnement d'un réseau d'Alimentation En eau Potable

1. INTRODUCTION.....	2
2. FONCTION D'UN SYSTEME D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE.....	2
2.1. L'Adduction.....	3
a. Adduction gravitaire.....	3
b. Adduction par refoulement.....	3
2.2. Le réseau de distribution.....	3
2.2.1. Les conduites.....	4
2.2.2. Les pompes.....	5
2.2.3. Les vannes.....	6
2.2.4. Les nœuds.....	6
2.2.5. Topologie du réseau d'AEP.....	9
3. GESTION DES INSTALLATIONS DE DISTRIBUTION D'EAU.....	9
3.1. Connaissance de l'existant.....	10
3.2. Information relative au fonctionnement du réseau.....	10
3.3. Entretien du réseau.....	11
3.4. Données relatives au réseau.....	12
3.5. Les données concernant les défaillances et interventions.....	13
4. CONCLUSION.....	14

Chapitre II

Description du réseau de la ville de Birtouta

1.	PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE.....	15
1.1.	Situation géographique.....	15
1.2.	Situation Topographique.....	15
1.3.	Situation géologique et sismique.....	15
1.4.	Situation climatologique.....	16
1.4.1.	Le climat.....	16
1.4.2.	La température.....	16
1.4.3.	Hygrométrie.....	16
1.4.4.	Pluviométrie.....	16
1.4.5.	Les vents.....	16
1.4.6.	Le sol.....	16
1.5.	Etude d'évolution de la population.....	17
1.6.	Demande en eau.....	18
2.	DESCRIPTION DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES ET DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DE L'ETAGE DE BIRTOUTA	18
2.1.	Les ouvrages de stockage de l'étage de Birtouta.....	18
2.2.	Les Canalisations.....	23
3.	PROBLEME RENCONTRER DANS LE RESEAU.....	24
4.	CONCLUSION.....	26

Chapitre III

Les Ressources Disponibles

1.	INTRODUCTION.....	27
2.	EVALUATION DES RESSOURCES EXISTANTES.	27
3.	CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES.....	28
4.	ETAT DE FONCTIONNEMENT DES FORAGES EXISTANTS.....	29
4.1.	Forage F4 Saboun.....	29
4.1.1.	Observations.....	29
4.1.2.	Diagnostic.....	30
4.1.3.	Recommandations.....	30
4.2.	Forage F1 Meriouss.....	30
4.2.1.	Observation.....	30
4.2.2.	Diagnostic.....	31
4.2.3.	Recommandations.....	31
4.3.	Forage El Roussi.....	31
5.	PROTEGER LES CHAMPS CAPTANT.....	31
5.1.	Objectif.....	31
5.2.	Règles simples de protection	32
6.	ENTRETIEN DES FORAGES.....	32
6.1.	Suivi et modélisation de l'aquifère.....	32
6.2.	Evaluation des risques de vieillissement d'un forage.....	32
6.3.	Suivi systématique des forages.....	33
6.4.	Diagnostic du vieillissement des forages.....	33
6.5.	Diagnostic et interventions suite à une baisse de productivité du forage.....	33
6.6.	Diagnostic détaillé et interventions suite à une défaillance de la pompe.....	33
6.7.	Maintenance systématique des forages.....	33
7.	CONCLUSION.....	34

Chapitre IV

Diagnostic Du Réseau De Distribution

1.	INTRODUCTION.....	35
2.	LES ETAPES POUR UNE ETUDE DE DIAGNOSTIC.....	35
3.	SECTORISATION DU RESEAU.....	36
3.1.	Principe.....	36
3.2.	Mise en place d'un secteur.....	36
3.3.	Mesures.....	37
3.4.	Sectorisation permanente ou provisoire.....	37
3.4.1.	Sectorisation permanente.....	37
3.4.2.	Sectorisation provisoire.....	38
4.	DETECTION DES FUITES.....	38
4.1.	Enregistreurs de bruit.....	38
4.1.1.	Configuration opérationnelle.....	38
4.1.2.	Les étapes de la pré-localisation.....	39
a.	Réalisation d'un plan de pose.....	39
b.	Programmation du parc d'enregistreurs.....	39
4.1.3.	Mise en place sur le terrain.....	39
4.2.	La détection acoustique.....	40
4.2.1.	Les appareils à amplification mécanique.....	40
4.2.2.	Les appareils à amplification électronique.....	41
4.3.	Les appareils de corrélation.....	41
4.3.1.	Configuration opérationnelle.....	42
4.3.2.	Utilisation.....	42
4.4.	Le gaz traceur.....	43
4.5.	L'Imagerie Thermique.....	43
5.	DEFAILLANCES POSSIBLES ET CONSEQUENCES ASSOCIEES AU RESEAU D'AEP.....	44
5.1.	La dégradation du réseau.....	44
5.2.	Dégradation de la qualité de l'eau.....	44
5.2.1.	phénomène de corrosion.....	44

a.	Corrosion interne.....	44
b.	Corrosion externe.....	45
5.2.2.	Phénomène d'entartrage.....	46
5.3.	Défaillances du régime hydraulique.....	47
5.3.1.	Diminution de la capacité de transport.....	47
5.3.2.	Fuites	47
6.	Conclusion.....	48

Chapitre V

La modélisation du réseau via le logiciel Epanet

1.	PRESENTATION DU LOGICIEL EPANET.....	49
1.1.	Historique.....	49
1.2.	Potentialités du logiciel.....	49
1.3.	Principes hydrauliques régissant les calculs du logiciel.....	50
1.3.1.	Les lois de base du calcul.....	50
1.3.2.	Le calcul des pertes de charges.....	50
1.3.3.	Spécificités du logiciel.....	51
1.4.	Capacités pour la Modélisation Hydraulique.....	52
1.5.	Capacités pour la Modélisation de la Qualité de l'Eau.....	52
2.	CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE DE L'ETAGE DE BIRTOUTA.....	53
2.1.	Fonctionnement du réseau de Birtouta.....	53
2.2.	Saisie du réseau.....	53
3.	VARIATION JOURNALIERE DE LA CONSOMMATION.....	55
3.1.	Les catégories de consommation.....	55
3.2.	Courbes de modulation.....	56
4.	CALAGE DU MODELE.....	58
4.1.	Principe du calage.....	58
4.2.	Paramètres de calage.....	58
4.3.	Calage sur les débits.....	61
4.3.1.	Modification de la courbe de consommation.....	61

4.3.2. Prendre en considération les pertes.....	62
4.4. Calage sur les pressions.....	63
5. VALIDATION.....	66
6. ANALYSE DE DYSFONCTIONNEMENT DU RESEAU.....	66
7. CONCLUSION.....	70
Conclusion Générale.....	71

Introduction Générale

Issue de l'initiative des pouvoirs publics, relayée par les apports constitutifs et exclusifs de l'ADE (Algérienne Des Eaux) et de l'ONA (Office National d'Assainissement), la création de la filiale SEAAL, qui a eu lieu le premier mars 2006.

L'un des objectifs principale de la SEAAL est de satisfaire l'alimentation en eau potable de la ville d'Alger en continue (service H24). Pour le cas d'Alger, la complexité du réseau de distribution, qui se pose en plusieurs points : démographie galopante, consommation non contrôlée, réseau ancien et fuyard..., présente un défi pour atteindre cet objectif.

Le cas de la ville de Birtouta constitue l'un de ces problèmes : une ancienne ville en plein développement urbain. Nous verrons à travers ce qui suit que le problème de cette ville n'est pas un problème de manque de la ressource, mais c'est plutôt un problème qui se situe au niveau de la structure hydraulique du réseau de distribution : des manques d'eau locale en différents point du réseau.

Notre travail consiste dans un premier de diagnostiquer les ressources disponibles, leurs évaluations ainsi, la comparaison avec la demande à l'état actuel et à l'horizon future, et par la suite nous étudierons le réseau de distribution par la localisation des problèmes et de leurs identifications. Pour cela, nous avons opté pour la modélisation du réseau sous EPANET. Et ce parce que le modèle numérique permet de comparer le fonctionnement actuel du réseau par rapport au cas idéal.

Dans un premier temps, chapitre I, nous allons présenter des généralités sur le fonctionnement des réseaux d'alimentation en eau potable, de leurs structure, leurs gestion et entretient.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons la zone d'étude en décrivant les différentes caractéristiques des installations hydrauliques existantes ainsi que les problèmes qui se posent.

Le chapitre III, traitera de l'évaluation des ressources disponibles et présentera un diagnostic de quelques forages existant sur l'étage de Birtouta.

Nous aborderons dans le chapitre IV des généralités sur le diagnostic des réseaux d'AEP, leurs défaillances, les différents appareils de mesure, de recherche des fuites et la sectorisation des réseaux.

Dans le dernier chapitre, chapitre V, nous aborderons la modélisation, le calage du modèle et donc le diagnostic du réseau concerné.

A la fin nous terminerons par une conclusion.

Chapitre I

Fonctionnement d'un réseau d'Alimentation En eau Potable

Chapitre I

Fonctionnement d'un réseau d'Alimentation En eau Potable

1. INTRODUCTION

Il s'agit à travers ce chapitre de décrire le fonctionnement hydraulique d'u réseau en eau potable.

L'acheminement de l'eau vers les usagers doit se faire en qualité et quantité satisfaisante. L'alimentation en eau dépend de la nature de l'usage : domestique, commercial, industriel, administratif.

La consommation est variable selon les jours de la semaine et les heures de la journée. Il existe des périodes de pointe dans la journée qui correspondent à une demande maximale en eau. On distingue aussi le jour de pointe dans l'année qui correspond à une consommation maximale.

2. FONCTION D'UN SYSTEME D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

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

- a. Production d'une eau de qualité, à partir d'une eau brute qui nécessite généralement un traitement.
- b. La distribution de l'eau produite, à travers un ensemble d'installations et de réseaux afin de répondre à la demande des consommateurs de manière satisfaisante (taux de service).

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

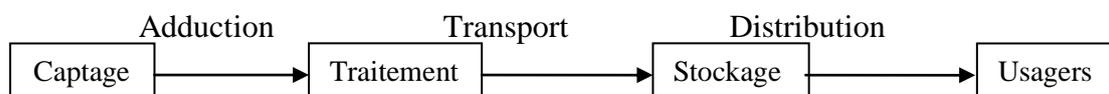


Figure I-1 : Le processus de production et distribution de l'eau.

2.1.L'Adduction

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

a. Adduction gravitaire

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

L'adduction gravitaire se présente également lorsqu'un bassin d'accumulation intermédiaire reçoit, dans un premier temps, l'eau refoulée par une usine et que, dans un deuxième temps, l'eau se trouve évacuée par gravité jusqu'au réservoir de la ville, situé à un niveau plus bas. Cette disposition, commandée par la configuration des lieux ou par la conception même de l'installation, constitue une adduction mixte refoulement-gravitaire.

b. Adduction par refoulement

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

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

2.2.Le réseau de distribution

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2.1. Les conduites

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

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

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

On distingue entre les conduites en fonction :

a. De leur rôle dans le réseau

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

b. la nature du matériau constituant la conduite

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

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

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

Tableau I.1 : Caractéristiques des conduites selon le matériau les constituant [Nafi, 2006]

Matériau	Résistance mécanique	Résistance à la corrosion
Béton	Importante	Importante
Fibres ciment	Interdit comporte de l'amiante	
Matières Plastiques PVC	Faible	Importante
Acier	Importante	Faible
Fonte grise	Faible	Importante
Fonte ductile	Importante	Importante

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

2.2.2. Les pompes

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

$$H=f(Q)$$

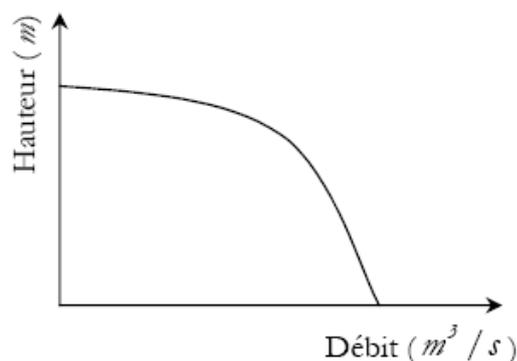


Figure I-2 : Exemple de courbe caractéristique d'une pompe

Une pompe est définie par :

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

2.2.3. Les vannes

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

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

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

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

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

2.2.4. Les nœuds

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

2.2.4.1. Les nœuds à débit fixe

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

a. La courbe de consommation ou de modulation

La courbe de consommation décrit pour un type d'abonné (domestique, industriel, commerce, administration) l'évolution de la demande en eau tout au long de la journée. La consommation journalière est tributaire des heures de la journée. Pour une consommation maximale, on identifie le jour de pointe dans l'année et une heure de pointe dans la journée. Pour une journée donnée, on calcule la consommation moyenne, pour chaque période t . Le multiplicateur de la demande μ_t à partir de la consommation Q_t est calculé tel que :

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

Où,

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

Tableau I.2 : La courbe de consommation ou courbe de modulation [Nafi, 2006]

Période	1	2	3	4	5	6	7	...	22	23	24
Multiplicateur	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	...	μ_{22}	μ_{23}	μ_{24}

La Figure I-3. Représente la courbe de consommation au jour de pointe, K_2 représente le coefficient de pointe horaire qui correspond au multiplicateur de la demande à l'heure de pointe.

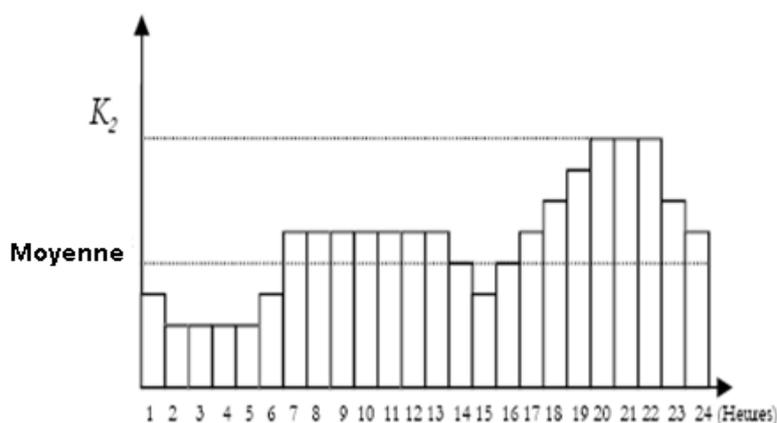


Figure I-3 : Courbe de consommation Courbe de modulation au jour de pointe.

b. Le coefficient de pointe journalier

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

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

c. Le coefficient de pointe horaire

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

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

d. Le rendement d'un réseau

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

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

2.2.4.2. Les nœuds à charge fixe

Ceux sont des nœuds où la charge est fixée ou dont la cote piézométrique de l'eau est connue. Il peut s'agir d'un réservoir dont le niveau d'eau varie en fonction du temps au sol ou sur tour, d'un poteau à incendie ou d'une bêche de pompage dont le niveau reste inchangé. Pour ces nœuds le débit doit être calculé.

a. Les réservoirs

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

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

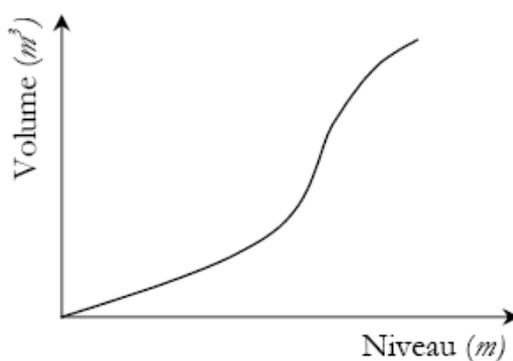


Figure I-4 : Exemple de courbe de volume d'un réservoir

b. Les bèches

Ces nœuds sont des points de stockage à capacité infinie, ils représentent des sources externes d'approvisionnement en eau (pompage, lac, fleuve). Les bèches sont caractérisées par un niveau d'eau fixe.

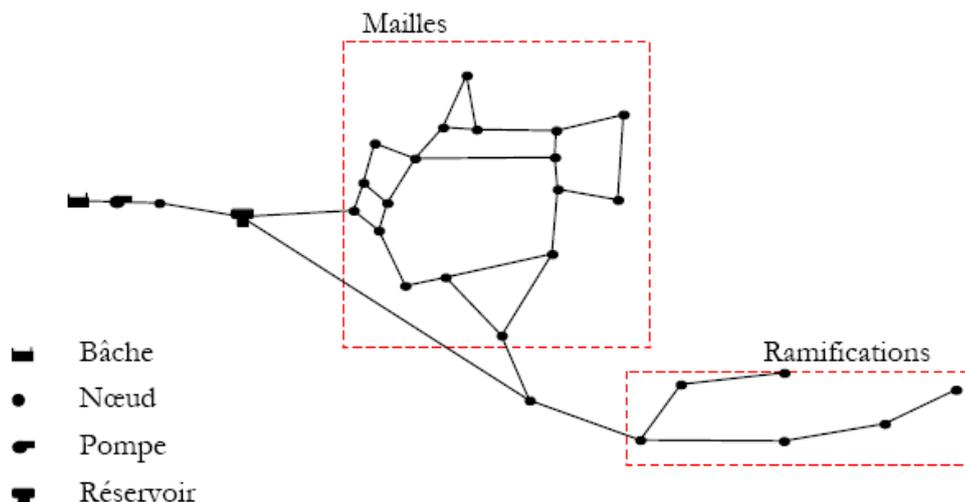


Figure I-5. Représentation schématique d'un réseau d'alimentation en eau potable

2.2.5. Topologie du réseau d'AEP

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

a. Les réseaux ramifiés

Ce type de réseau se présente selon une structure arborescente à partir du nœud à charge fixée assurant la mise sous pression. Cette configuration est justifiée par la dispersion des abonnés. Cependant, ce type de topologie réduit la fiabilité du réseau dans le cas d'une rupture d'une conduite, privant en eau les utilisateurs en aval du point de rupture. Elle caractérise généralement les réseaux de distribution d'eau en milieu rural.

b. Les réseaux maillés

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

3. GESTION DES INSTALLATIONS DE DISTRIBUTION D'EAU

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.

3.1. Connaissance de l'existant

Il est indispensable de bien connaître la position et le linéaire des différentes conduites du réseau, leur matériau, leur diamètre et leur âge, 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 :

- a) 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 de « Systèmes d'Information Géographiques » (SIG), lorsqu'ils sont adaptés aux besoins des utilisateurs, faciliteraient cette tâche. [*Blindu*, 2004]

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.
- b) Des plans précis à grande échelle (au 1/200, 1/500), définis par rue, sur les quels 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.

3.2. Information relative au fonctionnement du réseau

Il s'agit là d'un aspect de la connaissance moins habituel que la connaissance de l'existant mais certainement tout aussi important et en outre très complémentaire.

Dès qu'il atteint une certaine importance soit 100 000 m³ 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 (R) et indices habituels, comme les rendements primaires (Rp) et nets (Rn) et les indices linéaires de pertes (ILP) en distribution ou en réparation [*Blindu*, 2004].

$$R_p = \frac{V_c}{V_d} \dots\dots\dots(1)$$

$$R_n = \frac{V_c + V_{ancp}}{V_d} \dots\dots\dots(2)$$

$$ILP = \frac{V_d - V_c}{\text{longueur totale du réseau}} \dots\dots\dots(3)$$

Où ; V_c : volume comptabilisé ; V_d : volume mis en distribution ; V_{ancp} : volume autorisé non compté.

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.

3.3. Entretien du réseau

Quels qu'aient pu 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 l'on déclenche l'opération classique d'entretien curatif. Celle-ci nécessite d'abord une localisation de la fuite. On fouille dans la zone où l'eau vient en surface, puis on effectue 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, le choix est plus limité et l'on procède 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 [*Blindu*, 2004].

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 ;
- son « 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.

3.4. 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 du réseau (vannes, des 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.
- Remplacement 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 (valeur théorique) - la charge de service.
- 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.

Anomalies diverses : Ceci concerne les informations de diverses origines correspondant à une anomalie de fonctionnement des installations :

- Insuffisance ou excès de pression ;
- Qualité de l'eau ;
- Débit insuffisant soit trop d'eau ;
- 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.

3.5. Les données concernant les défaillances et interventions

Les défaillances considérées ici sont les fuites ou casses ayant engendrées une réparation au niveau du tuyau, ce qui exclut les fuites diffuses [*Eisenbeis*, 1994].

La réparation des défaillances s'effectue à l'aide de la connaissance de certaines paramètres de détérioration (profondeur de pose de conduites , nature de sol, humidité du sol) ainsi que l'état de corrosion de la conduite.

Apparemment, il 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.

4. CONCLUSION

Tous ce que nous avons voir au cours de ce chapitre en terme de gestion et d'entretien de réseau d'alimentation en eau potable, doit obligatoirement figurer à la politique des entreprises et notamment la SEAAL dans la quelles nous effectuons notre stage.

Dans la pratique, et concernant la topologie de réseau de notre étude que nous venons le voir dans la deuxième chapitre est de type mixte.

Chapitre II

Description du réseau de la ville de Birtouta

Chapitre II

Description du réseau de la ville de Birtouta

1. RESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

1.1. Situation géographique

La ville de Birtouta est située au Sud de la wilaya d'Alger, et constitue la limite Nord de la Mitidja. Avec une superficie de 2758 ha.

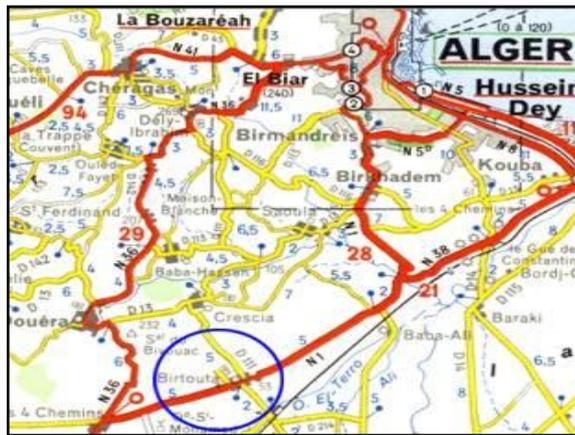


Figure II-1 : Plan de situation géographique de la ville de Birtouta

La ville de Birtouta est limitée :

- au Nord par Douéra et Shaoula et Draria ;
- au Sud par Ouled Chebel ;
- à l'est par Sidi Moussa et Braki ;
- à l'Ouest par Tassala El Merdja.

1.2. Situation Topographique

En se référant à la carte topographique, nous remarquons que les points les plus hauts sont situés au Nord de la ville. Le terrain descend graduellement du Nord au Sud. L'altitude varie entre 30 m sur la plaine et 95 m sur le sahel au Nord du chef lieu pour une distance perpendiculaire d'environ 5 km.

1.3. Situation géologique et sismique

Le site de la ville est constitué d'une alternance des épaisseurs de différentes couches qui sont constituées essentiellement d'alluvions récents, à savoir le limon, l'argile et le sable, mélangées avec d'autres poches d'alluvions anciennes à savoir, le limon et les cailloux de terrasse qui sont situées presque sur la totalité de la partie centrale de la Mitidja, ainsi qu'au Sud-Est et Sud-Ouest.

La partie la plus basse de la plaine est constituée de limon, les alluvions des vallées jusqu'à 5 mètres, tandis que les alluvions anciennes sont des pléistocènes.

La sismicité de cette zone est moyenne, l'application des mesures parasismiques est prise en compte dans les futures constructions.

1.4. Situation climatologique

1.4.1. Le climat

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

En effet, Birtouta de par sa situation géographique du Nord de l'Algérie, elle possède un climat méditerranéen, c'est-à-dire chaud en été et tiède et peu froid en hiver,

1.4.2. La température

Sur la plaine, le climat est légèrement continental et bénéficie moins des effets de la mer. Les températures estivales sont plus élevées environ de 40° C au maximum et un minimum d'environ de 10°c en hivers, et une moyenne annuelle de 18°, l'air est légèrement sec.

1.4.3. Hygrométrie

La variation annuelle de l'humidité relative est moyennement faible, de Mai en Septembre la moyenne n'atteint pas 40%.

1.4.4. Pluviométrie

Pour une période d'observation de 20ans, la valeur de la pluviométrie moyenne annuelle de jours de pluie est de 50mm. Pendant la saison de mai en août, la terre reçoit environ 4% des pluies annuelles, alors qu'au cours des mois de novembre, décembre et janvier elle en reçoit que 50% environ.

1.4.5. Les vents

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

1.4.6. Le sol

La zone d'étude est située dans la plaine de la Mitidja. C'est la raison pour laquelle, nous allons décrire brièvement la particularité de cette région.

La Mitidja est une vaste plaine d'Algérie du Nord, qui couvre une superficie de 1300 Km², soit 100 Km de longueur et une largeur variant entre 8 et 18 Km, avec une altitude de 100 m en moyenne. Elle représente une vaste gouttière où reposent d'épaisses formations des roches sédimentaires.

1.5. Etude d'évolution de la population

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

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

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

P_n : population à l'horizon future ; P_0 : population de l'année de référence ; n : nombre d'années séparant l'année de référence et l'année de l'horizon et α : taux d'accroissement

Tableau II.1 : Evolution de nombre d'habitants pour différents horizons

Année	2009	2010	2011	2015	2020	2025
Taux d'accroissement %/ an	3,88	48,17	27,20	1,50	1,50	1,50
Population Hab	33 058	48 981	62 306	66 129	71 240	76 746

La population de l'étage de Birtouta s'élève à 33 058 habitant en 2009 et devrait atteindre 62 306 en 2011 en raison de la livraison d'un important programme de logement puis croître jusqu'à environ 76 746 en 2025 comme le montre la Figure II-3. Ci-dessous.

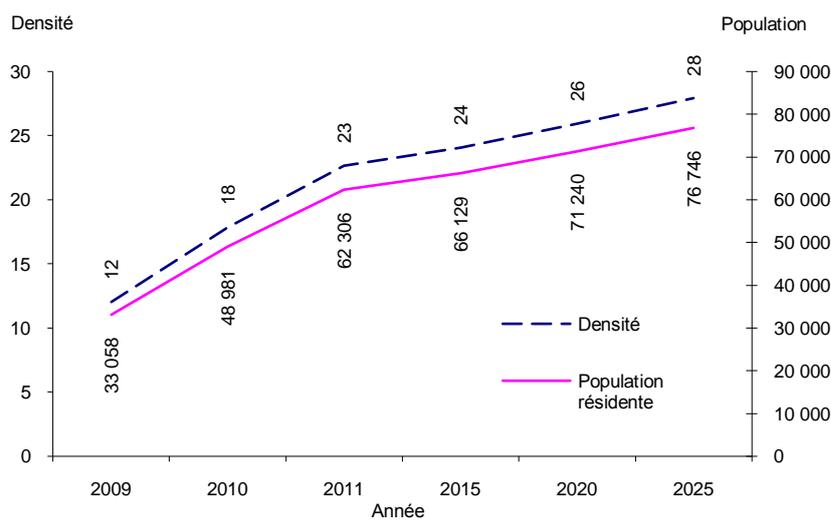


Figure II-2 : L'accroissement des populations pour différents horizons

1.6. Demande en eau

L'évolution des besoins en eau entre 2009 et 2025 est récapitulée dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.2 : Evolution de la demande en eau entre 2009 et 2025

Année	2009	2010	2011	2015	2020	2025
Demande en eau domestique m ³ /j	2 876	4 305	5 575	5 917	6 374	6 867
Demande en eau diffuse m ³ /j	863	1 291	1 672	1 775	1 912	2 060
Demande en eau des grand consommateurs m ³ /j	646	646	646	646	646	646
Demande en eau totale m ³ /j	4 385	6 242	7 893	8 338	8 932	9 572

2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES ET DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DE L'ETAGE DE BIRTOUTA

La figure (II-3) ci-dessous montre les différentes communes de la wilaya d'Alger, dont l'étage de Birtouta appartient à la zone de distribution d'Alger Sud.

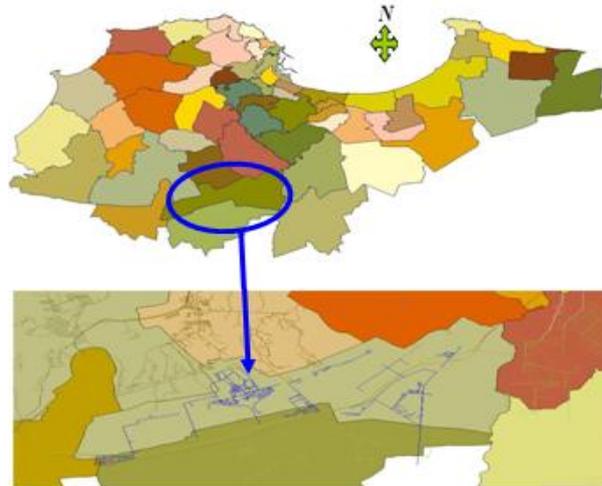


Figure II-3 : Extrait du SIG de l'étage de Birtouta.

2.1. Les ouvrages de stockage de l'étage de Birtouta

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

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

L'alimentation en eau au niveau de la commune de Birtouta est autonome, ainsi le système de distribution en eau se répartit principalement sur 6 étages de distribution alimentés par les ouvrages suivants indiqués sur le Tableau II.3. Ci-dessous :

Tableau II.3 : Etage de distribution du réseau sud-situation actuelle

Etage	Réservoir de tête	capacité de stockage m ³	de CR NGA m	CTR NGA m
Birtouta ville	Réservoir circulaire au sol	1000	95	99
Baba Ali Douar	Château d'eau	500	38	41
Baba Ali Zouine	Citerne	20	38	41
Meriouss	Réservoir au sol	200	55	59
Sidi M'hamed	Château d'eau	500	56	60
Ali Bouhadja	Château d'eau	500	62	72
Forage F8	/	/	/	/

L'étage de Birtouta ville est mis en pression par un réservoir de 1000 m³ se trouve à une cote du radier de 95 mNGA et à une cote du trop plein de 99 m NGA alimenté par le forage F5, situé au sud de la ville, d'une capacité moyenne de 1 158 m³/j. Le réservoir alimente par une conduite principale de diamètre nominal 300 mm en fonte (DN300F) la ville de Birtouta.

**Figure II-4 :** Le réservoir de Birtouta ville (1000 m³)

Un autre réservoir de 1000 m³ se trouve à une cote du radier de 95 mNGA et à une cote du trop plein de 99 mNGA, situé à coté du précédent, vient d'être réalisé. Il n'est pas encore mis en service.

L'étage de Haouch Meriouss est mis en pression par un réservoir d'un volume de 200 m³ et qui se trouve à une cote du radier de 55 mNGA et à une cote du trop plein de 59 mNGA alimenté par le forage Meriouss d'une capacité moyenne de 2 070 m³/j. Il dessert la localité de Haouch Meriouss située à l'Ouest de la ville de Birtouta, par une conduite de diamètre nominal 150 mm (DN150).



Figure II-5 : Réservoir Merious 200 m³

L'étage Haouch El Roussi fonctionnant en refoulement-distribution depuis le forage F8 d'une capacité moyenne de 416 m³/j situé à proximité de la localité de Haouch El Roussi (Nord-Est de la ville de Birtouta) dessert cette localité par deux conduites en diamètre nominal 80 mm en PVC (DN80 PVC) et 50 mm en acier galvanisé (DN50AG).

Ali Bouhadja est une petite localité de Birtouta située dans la zone Sud-Est. Le Château d'eau d'Ali Bouhadja d'un volume de 500 m³ se trouve à une cote du radier de 62 mNGA et à une cote du trop plein de 66 mNGA. Il est alimenté par le forage d'Ali Bouhadja d'une capacité moyenne de 432 m³/j. Le réseau d'Ali Bouhadja se compose d'une grande maille en DN200AMC alimentée par une conduite DN200 en amiante ciment (AMC) issu de château d'eau.



Figure II-6 : Château d'eau centre Ali Bouhadja 500 m³

Baba Ali Douar fait partie de la commune de Birtouta, il se situe à l'est de la ville. Le château d'eau de Baba Ali Douar d'un volume de 500 m³ se trouve à une cote du radier de 37 mNGA et à une cote du trop plein de 41mNGA. Il est alimenté par une conduite de diamètre nominal 100 mm en fonte (DN100F) issue de la conduite de diamètre nominal de 42'' (DN 42'' Mazafran). Il dessert la localité à l'aide d'une conduite de diamètre nominal 150 mm en amiante ciment(DN150AMC).



Figure II-7 : Château d'eau Baba Ali Douar 500 m³

Le petit secteur de Baba Ali Zouine est alimenté par une citerne de 20 m³. Cette dernière se trouve à une cote du radier de 39 mNGA et à une cote du trop plein de 41 mNGA, elle-même est alimentée par le forage Baba Ali Zouine d'une capacité moyenne de 730 m³/j. Elle dessert un réseau ramifié en quatre branches principales de diamètre nominal 150 mm en fonte (DN150F), DN80F, DN60F. Ce réseau est isolé de celui de Saoula ouest par une vanne fermée.



Figure II-8: Citerne Baba Ali Zouine 20 m³

Un réservoir au sol d'un volume de 300 m³ se trouve à une cote du radier de 72 mNGA et à une cote du trop plein de 76 mNGA est actuellement hors service. Il est situé au centre de Birtouta.

Sidi M'Hamed est petite localité de Birtouta située dans la zone Sud-ouest. Le château d'eau de Sidi M'Hamed d'un volume de 500 m³ se trouve à une cote du radier de 56 mNGA et à une cote du trop plein de 60 mNGA .



Figure. II.9 : Château d'eau Sidi M'Hamed 500 m³

Entretien des réservoirs

Les réservoirs sont des ouvrages nécessitant des interventions régulières (opération courantes de surveillance et entretien, nettoyage). Les ouvrages doivent être conçus pour prévoir ces interventions avec le maximum de facilité (avec une trappe d'accès, des échelles) et de sécurité.

• Nettoyage

La fréquence des opérations de nettoyage est généralement prévue par la réglementation locale.

Les opérations de nettoyages comportent les phases suivantes :

- le nettoyage à proprement parlé, soit un brossage raclage manuel pour les petits réservoirs soit par voie chimique en utilisant des produits ayant un pouvoir dissolvant vis-à-vis des dépôts afin de faciliter le nettoyage du réservoir. Ces produits sont pulvérisés à basse pression sur les parties du réservoir en contact avec l'eau. Lorsque que l'on nettoie par voie chimique on utilise généralement un produit qui combine le nettoyage avec la désinfection des parois.
- décapage des dépôts et rinçage des parois, des poteaux (plus aisé lorsque ceux-ci sont carrés) et du radier au jet sous pression, en prenant soin de ne pas détériorer les revêtements éventuels. Si aucun produit désinfectant n'a été utilisé avant cette phase, la désinfection se fera à l'occasion du dernier rinçage.
- remise en eau de la cuve et contrôle de la qualité de l'eau. Lorsque la taille de l'ouvrages à nettoyer est importante, il est conseillé de créer une équipe dédiée au nettoyage et de la doter d'un matériel spécialisé. Comme par exemple un camion de nettoyage avec des réserves d'eau, un groupe électrogène et une pompe à haute pression.

• Entretien

Tous les matériaux utilisés dans les opérations d'entretien doivent être certifiés « alimentaire » ou équivalent selon la réglementation locale.

a. Dégradation des bétons

La mise à nu des armatures métalliques est essentiellement due à une insuffisance de l'enrobage du béton ce qui favorise une oxydation et un gonflement des armatures puis un éclatement et un décollement superficiel du béton.

On recommande aujourd'hui d'enrober les armatures avec au minimum 40 à 50mm, ce qui limite beaucoup ce type de problème.

Pour traiter ce type de dégradation, on repique le béton adjacent puis, après un brossage des parties endommagées, on applique un revêtement anticorrosion à base de résine.

b. Défaut d'étanchéité

Le traitement des défauts d'étanchéité est un problème délicat, car dans 25% des cas l'opération ne sont pas jugée satisfaisante. Il existe plusieurs procédés de réparation, on veillera à choisir la technique la plus adaptée en analysant les causes du défaut d'étanchéité (fissure localisée ou microfissures multiples). Dans 75% des cas, on utilise les mortiers souples et les résines époxyques [*Wikti*].

c. Entretien des menuiseries métalliques

Un bon choix des matériaux utilisés pour la fabrication des menuiseries métalliques réduira les interventions d'entretien sur celles-ci et améliorera par ailleurs, la sécurité des interventions.

Suivant les cas, on utilisera l'acier inoxydable (intérieur des cuves), l'aluminium ou l'acier galvanisé.

2.2. Les Canalisations

Notre réseau d'étude est structuré par un ensemble de conduites de diamètres 300 mm, 250mm, 200mm, qui permettent l'apport en eau dans divers endroits du réseau.

Le réseau de distribution existant est de type mixte. il est très ancien (1922) et sous dimensionner. Il y a eu rénovation de quelques tronçons entre 2006 et 2009.

L'ensemble des diamètres représentent 92,26 km de canalisations (distribution, adduction, refoulement eau souterraine, refoulement, conduites abandonnées), plus de 2,22 km de diamètre 200 mm.

Tableau II.4 : Les linéaires de canalisations par diamètre

Diamètres mm	Linéaire en km
<100	41,44
100 à 160	27,26
200 à 250	3,72
300	8,22
400	0,925
800	6
930	4,69

Plus de 6070 mètre linéaire de canalisations sont renouvelées entre 2007/2008. Le problème c'est que le réseau est vétuste et sous dimensionné, ainsi que le réseau peut subir une contamination.

La répartition du renouvellement se fait comme suit :

Tableau II.5 : Les linéaires de canalisations renouvelées sur le réseau

Diamètres mm	Linéaire en m
32 et 50	2700
100	2695
300	1200

3. PROBLEME RENCONTRE DANS LE RESEAU

Le service d'exploitation est l'entité qui connaît le mieux le réseau d'étude. Elle nous permet d'appréhender le fonctionnement du réseau et ses difficultés.

Plusieurs zones à problèmes nous ont été signalées par les agents d'exploitation du centre de Birtouta :

 *Zone 1* : le secteur de Birtouta ville

Le problème qui apparaît ici est le défaut d'alimentation en eau du réservoir de Birtouta de 1000 m³ lorsque les consommations de l'étage augmentent et la chute de pression dans les zones situées à la cote la plus basse de la ville.

✚ Zone 2 : le secteur de Merriouss

Le débit transite dans ce secteur est parfois insuffisant pour alimenter le réservoir de Meriouss

✚ Zone 3 : le secteur d'Ali Bouhadja

Une vraie pénurie d'eau pendant des années.

✚ Zone 4 : le secteur Baba Ai Douar

Ce secteur présente des problèmes de pressions et de débits.

✚ Zone 5 : le secteur de Baba Ali Zouine

Le problème de manque d'eau, ainsi que l'insuffisance de stockage.

4. CONCLUSION

Tous les ouvrages de stockage identifiés dans cette partie de notre travail ont été réalisés depuis plusieurs années. Dans la période située entre l'année 2007 et 2009 une évolution considérable des habitants en même temps de nombreux logements sont en cours de réalisation et vont achevés en 2011, ce qui rendra le réseau incapable de satisfaire les besoins en eau. Dans ce cas, il faudra planifier un nouveau le réseau de distribution et de projeter d'autres ouvrages de stockages en fonction de la consommation pour un horizon donner.

Chapitre III

Les ressources disponibles

Chapitre III

Les Ressources Disponibles

1. INTRODUCTION

Une ressource en eau en qualité et en quantité suffisante pendant toute l'année est nécessaire pour garantir l'alimentation en eau potable d'une population.

Le secteur sud d'Alger est généralement alimenté par la réserve en eau souterraine exploitée à partir de la nappe de la Mitidja. Les sept étages de distribution de la commune de Birtouta qui font partie de ce secteur sont approvisionnés actuellement par sept forages et par trois piquages sur la conduite de DN42'' (Mazafran).

Dans ce chapitre, nous évaluons les ressources existantes alimentant la ville et nous présentons une étude de diagnostic sur les forages de F4 Saboun et F1 Merious.

2. EVALUATION DES RESSOURCES EXISTANTES.

La desserte en eau en H24 de tous les étages de distributions de la Wilaya d'Alger est opérationnelle pour la SEAAL depuis sa création en 2006, cette démarche exige un grand travail pour améliorer le rendement de réseau de distribution ainsi le gain de production pour garantir la satisfaction en eau potable.

Entre 2006 et 2009, la production connaît une évolution considérable du fait de l'augmentation de nombreux logements et notamment l'étage de Birtouta (annexe 2).

Nous avons pris dans notre étude, l'état actuelle des ressources correspondant à la période Mai 2008 jusqu'à Mai 2009, toutes les mesures de débits de production sont réparties comme suit :

Tableau III.1 : Production annuelle des forages 2008/2009

Forage	Production m ³ /j	Observations
F Roussi	2280	-
F3 Garça	540	-
F Sidi M'hamed	1132	-
F5 Birtouta	1219	-
F Ali Bouhadja	0	Abandonné
F1 Merious	2150	-
F Baba Ali Zouine	825	-
F4 Haouch Saboun	1163	-
F2 Baba Ali Douar	0	abandonné

Les deux forages Ali Bouhadja et Baba Ali Douar sont abandonnés ; dès lors, la SEAAL est entraînée de réaliser un autre forage à côté de celui de Ali Bouhadja.

Les trois étages de distributions de Ali Bouhadja, Baba Ali Douar, Sidi M'hamed sont alimentés grâce au raccordement sur la conduite de diamètre nominal de 42" (DN 42'') :

- Surpresseur de Ali Bouhadja refoule un débit de 936 m³/j
- Surpresseur de Baba Ali Douar refoule un débit de 1 362 m³/j
- Surpresseur de Sidi M'hamed refoule un débit de 1200 m³/j

Nous avons donc une production possible de 9 308 m³/j qui peut s'élever jusqu'à 12 806 m³/j en tenant compte de l'apport de la conduite de DN42'' (Mazafran).

3. CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES

En l'absence d'eau de surface en quantité suffisante et de qualité acceptable, on doit tenter d'utiliser les eaux souterraines (figure III-1). Ces eaux sont acceptées :

- Soit à leur source ;
- Soit au cœur même de la nappe ;
- Soit dans le gisement pour les eaux circulant en terrains fissurés.

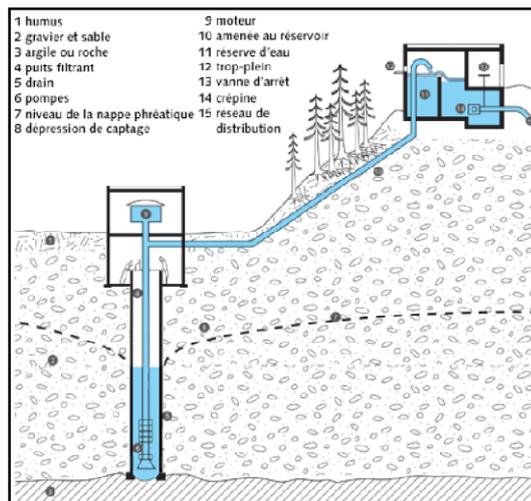


Figure III-1 : Captage des eaux souterraines

Parfois, on sera amené, à capter les eaux circulant à grande profondeur. Les procédés de captage varient selon la configuration du site. Toutefois, nous observons toujours le principe d'aller rechercher l'eau assez loin dans son gîte géologique et de conduire les travaux de captage de façon que l'eau au cours de sa remontée au jour, soit maintenue à l'abri de contaminations notamment à l'approche de la surface du sol. On évalue les quantités d'eau présente à l'aide de forages permettant d'attribuer les débits équivalents à ceux requis par le projet d'alimentation en eau potable.

Un forage d'exploitation comprend toujours quatre éléments majeurs :

- les tubages pleins destinés à maintenir le sol et à protéger le forage des intrusions d'eau par les couches superficielles.
- la crépine, comprenant des ouvertures permettant le passage de l'eau de l'aquifère vers l'intérieur du forage.
- l'espace annulaire, qui se trouve entre le trou nu et le tubage. Celui-ci est :
 - cimenté au niveau des tubages pleins,
 - et vide ou bien rempli d'un massif filtrant (graviers ou sables siliceux) soigneusement calibré au niveau des crépines.

Dans certains cas, le forage est équipé de drains horizontaux crépinés. Dans le cas d'un puits peu profond en nappe alluviale, cela permet d'augmenter significativement le débit prélevable.

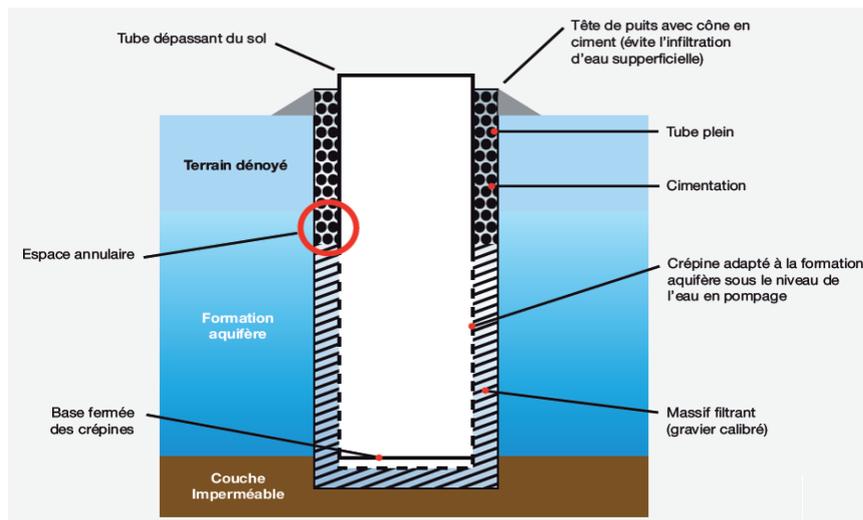


Figure III-2 : Les éléments d'un forage

4. ETAT DE FONCTIONNEMENT DES FORAGES EXISTANTS

La diminution du débit d'exploitation et la dégradation de la qualité de l'eau des forages alimentant l'étage de Birtouta fait appel à une étude intensive du diagnostic et de réhabilitation. Cependant, la SEAAL a lancé un appel d'offre aux entreprises pour entamer les travaux de diagnostic des trois forages : F4 Saboun et F1 Meriouss et El Roussi.

4.1. Forage F4 Saboun

4.1.1. Observations

- Dès les premières mètres et ce jusqu'au fond du forage (voir figure 1-1 et 1-2 annexe 1) : Sévère corrosion avec présence d'une couche de fer en voie de décollement.
- De la cote 36,00 mètre à la cote 40,20 mètre linéaires (figure 1-5 annexe 1) : Présence de crépines dénudées (soit 4,20 mètre linéaires) et plus quand le forage est en production.

- Dès le début des crépines et ce jusqu'au fond du tubage (voir figure 1-5, 1-6 et 1-7 annexe 1) : Important colmatage des crépines.
- A la cote 65,00 mètre (voir figure 1-3 et 1-4 annexe 1) : Déformation d'ordre centimétrique vers l'intérieur du tubage (au niveau de la connexion) sur toute la circonférence.
- A la cote 141,10 mètre :
Fond constitué de dépôts d'une couche de fer et de produits du colmatage.

4.1.2. Diagnostic

- La présence des crépines dénoyées au dessus du niveau statique est causée probablement par la chute du niveau statique ou par défaut de la programmation d'équipement du tubage.
- La déformation identifiée à la cote 65,00 mètre présente un sérieux problème (voir recommandations).
- Le sévère colmatage de la totalité des ouvertures des crépines réduit considérablement le débit.
- Le dépôt hétéroclite de desquamations de fer et de produits du colmatage ne permet pas de déterminer le top de forage.

4.1.3. Recommandations

Lors des manœuvres de remontée et de descente de la pompe ; risque d'accrochage des brides sur la déformation détectée à la cote 65,00 mètre (risque de déchirure tubage ou de coincement).

Il est impératif de programmer les travaux suivants :

- Une opération d'acidification en une plusieurs phases de la partie crépinée permettra le démantèlement des produits colmatant les crépines.
- Un brossage métallique des parois internes du tubage permet d'éliminer le colmatage.
- Un développement à l'air lift doit être effectué sur l'ouvrage pour extraire tous les particules fines colmatant les crépines ainsi que les dépôts.
- Une opération d'essai de débit.

Le forage F4 Saboun présente un bon état de conservation ; un entretien permettra d'obtenir un débit conséquent.

4.2. Forage F1 Meriouss

4.2.1. Observation

- De la cote 49,90 mètre à la cote 54,10 mètre (niveau statique) : Présence de crépines dénoyées (au dessus du niveau statique) soit 4,20 mètre.
- A la cote 70,00 mètre : Identification d'un collapse (déformation vers l'intérieur du forage) à la mi-longueur du tube crépiné (aucune déchirure n'est signalée). (figure 1-8 annexe 1).
- De la cote 85,70 mètre et ce jusqu'au top de la caméra (171,30) : nous observons un important colmatage du tubage crépiné avec concrétions remarquables (figure 1-9 et 1-10 annexe 1).

- A la cote 171,30 mètre : nous observons un fond constitué de dépôts de colmatage et croûtes rougeâtres des soudures.

4.2.2. Diagnostic

- ✓ 4,20 mètre de crépine sont dénoyées au dessus du niveau statique lorsque le forage est au repos et plus lorsque celui-ci est en production. Ces crépines sont dénoyées probablement par la chute du niveau statique ou par défaut de programme d'équipement du tubage.
- ✓ La déformation détectée à la cote 70,00 mètre est probablement causée lors de la manœuvre de descente du tubage.
- ✓ L'important colmatage réduit considérablement le débit d'exploitation.
- ✓ Le top de la caméra à la cote 171,30 mètre ne détermine en aucun cas la fin du forage.

4.2.3. Recommandations

Programme de travaux :

- Une opération de décollapsage n'étant pas envisageable dans l'immédiat :
 - Une opération d'acidification en une ou plusieurs phases de la partie crépinée
 - Un brossage plastique de la partie crépinée.
 - Un développement à l'air lift.
 - Des essais de débits.
- La colonne d'exhaure ne devra en aucun cas présenter d'angle droit au risque de déchirure de crépines.

4.3. Forage El Roussi

Après la réhabilitation de ce forage le débit d'exploitation atteint est de 95 m³/h.

5. PROTEGER LES CHAMPS CAPTANT

5.1. Objectif

Les eaux souterraines sont parfois considérées a priori comme pures et sans risque.

Cependant, il n'existe pas de nappe invulnérable. L'objectif est de prendre des mesures de protection pour éviter la contamination de l'aquifère par des pollutions dues aux activités humaines.

Les pollutions affectant les aquifères peuvent être de deux types :

- *Pollutions diffuses*, principalement agricoles (nitrates et pesticides) ou bien dues aux activités humaines (eaux usées : micro-organismes, ammonium, nitrates...);
- *Pollutions ponctuelles*, rejets industriels, agricoles ou domestiques non maîtrisés, présence d'une décharge ou de déchets proche du forage.

5.2. Règles simples de protection

Les mesures de protections à mettre en œuvre dépendent directement de la législation en vigueur au niveau local. Néanmoins, on peut dresser une liste de recommandations simples et génériques qui sont intéressantes dans tous les cas de figure.

Pour tous les types de nappe, il est recommandé de :

- protéger l'accès des forages d'eau potable par une fermeture à clé de la tête de forage et un périmètre de clôture,
- boucher tous les forages non utilisés traversant l'aquifère exploité,
- interdire les rejets d'eaux usées, d'eaux de vidange, d'huiles, d'hydrocarbures, détergents, boues de nettoyage ou de station d'épuration dans des puisards.
- Pour les aquifères alluviaux ou karstiques, il est recommandé de :
 - s'assurer que la distance entre le forage et les eaux de surface est suffisante (> 20 m),
 - éviter la présence de déchets à proximité du forage,
 - entretenir soigneusement les abords : les arbres, notamment, peuvent endommager les forages par leurs racines,
 - éviter la manipulation de pesticides et de désherbants à proximité du forage, ainsi que la présence d'animaux d'élevage ; en cas d'obligation de désherber, privilégier le glyphosate ou le chlorate de sodium (désherbants rapidement biodégradables),
 - empêcher le creusement de puits ou d'excavations susceptibles de favoriser une infiltration directe dans l'aquifère,
 - réglementer le remblaiement afin de n'autoriser que des matériaux inertes et non polluants.

6. ENTRETIEN DES FORAGES

6.1. Suivi et modélisation de l'aquifère

Un bon suivi d'un aquifère exploité permet de :

- ✓ connaître les limites d'exploitation du champ captant.
- ✓ comprendre et maîtriser les évolutions (qualité et de quantité) de la ressource.
- ✓ déterminer la vulnérabilité du champ captant vis-à-vis des pollutions potentielles.
- ✓ comprendre les causes d'une pollution et trouver des solutions.

6.2. Evaluation des risques de vieillissement d'un forage

Un forage peut subir différents types de vieillissement ou d'endommagement, qui sont souvent difficiles à observer, donc difficiles à diagnostiquer. L'objectif est de déterminer l'origine de ces troubles, afin d'y remédier et d'éviter l'investissement de nouveaux forages.

On trouve principalement 3 types de causes de vieillissement liées:

- ✓ à la ressource ;
- ✓ aux installations ;
- ✓ à l'exploitation.

6.3. Suivi systématique des forages

Les détériorations sur un forage sont la plupart du temps peu visibles. Cependant, elles conduisent fréquemment à des pertes financières importantes. (Perte de débit d'un champ captant, manque d'eau, investissements mal choisis, surconsommation d'énergie). Il est donc nécessaire de respecter et surtout de prévoir financièrement un cycle de vérifications périodiques du parc de forages. On séquence le processus en 3 étapes :

- ✓ collecte des données ;
- ✓ traitement des données ;
- ✓ stockage des données ;

6.4. Diagnostic du vieillissement des forages

Aucun critère simple ne permet un diagnostic définitif. Il est nécessaire d'appliquer une méthodologie d'approche simple mais rigoureuse pour diagnostiquer précisément le type de dysfonctionnement et la réhabilitation nécessaire. On trouve des problèmes d'ordre de :

1. Qualité ;
2. Baisse de la productivité ;
3. Baisse de rendement des pompes ;
4. Eroulement, ensablement ;
5. Chute de pompe ;
6. Arrêt de pompe.

6.5. Diagnostic et interventions suite à une baisse de productivité du forage

Une baisse de productivité d'un forage peut être due à différents phénomènes, dont le plus fréquent est le colmatage, qui peut provoquer des pertes de débit importantes en très peu de temps. Si ce colmatage n'est pas diagnostiqué et traité à temps, il entraînera l'abandon du forage.

L'objectif est donc de diagnostiquer l'apparition d'un tel phénomène, puis de le traiter, afin de maintenir le plus longtemps possible en fonctionnement les forages productifs.

6.6. Diagnostic détaillé et interventions suite à une défaillance de la pompe

Les défaillances précoces des pompes peuvent être dues à des procédures d'exploitation comme à des éléments extérieurs. Il est indispensable de déterminer précisément ces causes afin d'éviter des surcoûts.

6.7. Maintenance systématique des forages

L'objectif de la maintenance systématique d'un forage est triple :

- ✓ Conserver un bon état général apparent,
- ✓ Prévenir des possibles dégradations,
- ✓ Assurer une observation régulière des différents éléments du forage.

7. CONCLUSION

Le bilan que nous avons opéré entre la demande en eau et les ressources disponibles indique qu'il y a eu une production suffisamment large pour satisfaire les besoin en eau de l'horizon 2025.

Chapitre IV

Diagnostic du réseau de distribution

Chapitre IV

Diagnostic Du Réseau De Distribution

1. INTRODUCTION

Lorsque des difficultés de gestion, de fonctionnement, ou des problèmes de qualité d'eau se posent à une collectivité en charge de l'alimentation en eau potable, il est fortement conseillé d'engager une étude couramment appelée "Diagnostic".

Dans cette partie de notre travail, nous allons voir, les étapes de diagnostic ; aussi décrire la méthodologie pour mettre en œuvre, dans les meilleures conditions, l'étape essentielle que constitue un diagnostic de réseau. Ce dernier permet de mettre en évidence les dysfonctionnements du réseau d'eau potable.

2. LES ETAPES POUR UNE ETUDE DE DIAGNOSTIC

La réalisation d'un diagnostic de réseau nécessite la mise en place d'une démarche progressive et organisée.

Ce diagnostic de réseau peut s'inscrire dans un contexte plus global d'étude du système d'alimentation en eau potable incluant, par exemple, la modélisation (*voir le chapitre V*), le schéma directeur ou l'amélioration de la gestion des installations.

Quel que soit le contexte, la réalisation du diagnostic comprend un certain nombre d'étapes essentielles indiquées dans la figure ci-dessous.

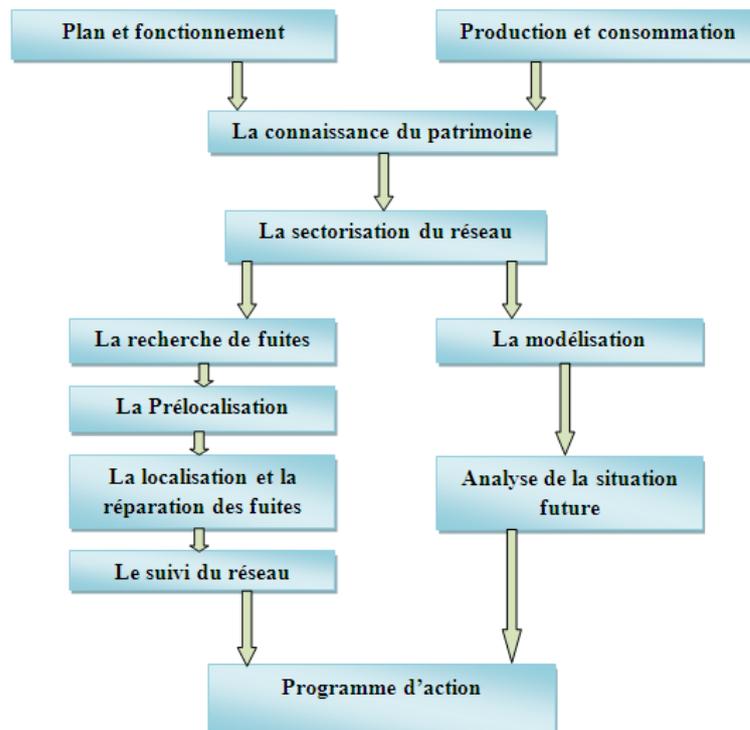


Figure IV-1 : Les étapes essentielles de diagnostic

3. SECTORISATION DU RESEAU

La sectorisation vise à définir le niveau de fuites d'un secteur par rapport à une référence et de décider si une action de recherche est nécessaire ou non. Elle permet de prioriser, entre différents secteurs, les actions de recherche.

3.1. Principe

- ✓ Le réseau est découpé en secteurs qui ne sont alimentés que par un nombre très limité de points d'entrée ;
- ✓ Chaque point d'entrée est équipé d'un appareil de mesure permettant de quantifier les débits. L'appareil de mesure peut être provisoire (sonde à insertion par exemple) ou permanent (compteur électromagnétique ou mécanique);
- ✓ Etablir un bilan sur chaque secteur (débit minimum nocturne ou bien volume journalier) ;
- ✓ A partir de ce bilan, on procède à une analyse en se posant les questions suivantes:
 - Le volume journalier présente-t-il une augmentation anormale ? Quelle est la différence par rapport aux valeurs habituelles et à quel rendement cela correspond ?
 - A quel rendement correspond le débit minimum nocturne ? Doit-on entreprendre une action de recherche ? Ce secteur est-il prioritaire ?

En cas d'analyse à partir du débit minimum nocturne, on notera bien la nécessité de prendre en compte les consommations nocturnes (certains industriels par exemple) qui ne sont pas des fuites. On procédera dans ce cas ou à une estimation de la consommation nocturne, ou à une mesure sur les compteurs des industriels principaux.

On notera qu'un secteur de recherche peut également être choisi sur l'analyse de l'historique des fuites :

- Très simplement, on peut cibler le secteur où la densité de fuites apparentes est la plus élevée.
- Si on fait de la recherche de fuites plusieurs fois sur un même secteur, on peut déterminer le taux de retour des fuites et cibler les secteurs présentant les taux de retour les plus élevés.

3.2. Mise en place d'un secteur

La définition d'un secteur est l'étape la plus importante d'une sectorisation ; il s'agit de trouver une dimension qui soit suffisamment faible pour donner des informations précises, mais également assez vaste pour limiter le nombre de secteurs nécessaires pour couvrir une zone donnée.

En pratique, cela varie souvent entre 5km à 50 km de réseau.

Pour effectuer le découpage d'un secteur, on suggère de suivre les critères suivants :

- Profiter des secteurs déjà délimités par la structure du réseau : zones isolées, zones dont les points d'alimentation sont limités ;

- Définir des secteurs en minimisant le nombre d'opérations nécessaires de manipulation de vannes ;
- Bien analyser les contraintes en matière de qualité, de service, de défense incendie ou les risques de baisse de pression que cela va entraîner.

Dans les cas complexes (réseau fortement maillé, milieu très urbain par exemple), cela nécessite une étude spécifique qui pourra s'appuyer sur l'utilisation d'un modèle mathématique.

3.3. Mesures

Une fois le secteur déterminé, on mesure les débits entrants (et donc les volumes) et sortants pour analyser la consommation globale du secteur (= consommation d'eau + fuite).

Lorsque l'on procède à une opération de sectorisation provisoire, dans le but de définir le niveau de fuites de différents quartiers, la mesure s'effectue par étapes successives à partir d'un ou plusieurs points de mesure

3.4. Sectorisation permanente ou provisoire

Il peut être utile d'effectuer une sectorisation permanente sur les secteurs qui présentent des risques de fuites les plus élevés. En pratique, il s'agit d'équiper par un appareil de mesure permanent un secteur dont la structure ne varie pas.

L'objectif est dans ce cas de suivre en continu une zone donnée sur une large période de temps :

Il s'agit d'observer les dérives de valeurs dans le temps.

Cette opération présente des avantages et des inconvénients qui sont résumées ci-dessous :

3.4.1. Sectorisation permanente

- Permet un suivi régulier et précis du niveau de fuite d'un secteur.
- Une sectorisation permanente nécessite une organisation permanente : les temps passés à suivre et analyser les données de sectorisation permanente sont élevés et récurrents.
- Les dérives constatées sont souvent liées à des ouvertures de vannes entre les secteurs ou à des dysfonctionnements des débitmètres ou transmetteurs.
- Nécessite des coûts d'investissement importants (pose de compteur, de vanne) ainsi que de maintenance.
- Des fonctions élaborées sont envisageables (analyse automatique, rapatriement par télé-contrôle, dispositif d'alerte,...).
- N'est pas toujours possible au regard de contraintes de défense incendie (nécessité de garantir des débits / pression normalisée).

3.4.2. Sectorisation provisoire

- Effectue une mesure ponctuelle à un moment donné
- Ne nécessite pas de coût d'investissement important, ni d'entretien

Impose un travail précis de préparation (technique, communication vers les tiers concernés par des baisses de pression ou d'éventuelles coupures d'eau).

4. DETECTION DES FUITES

4.1. Enregistreurs de bruit

Les enregistreurs de bruit sont des appareils autonomes de pré-localisation des fuites. Ils sont particulièrement indiqués pour le contrôle des secteurs bruyants ou de trafic routier important. Placés au contact des conduites, ils captent à des heures ou des jours déterminés les bruits qu'elles transmettent et en mémorisent le niveau minimum constant, sensé être l'indice d'une fuite.

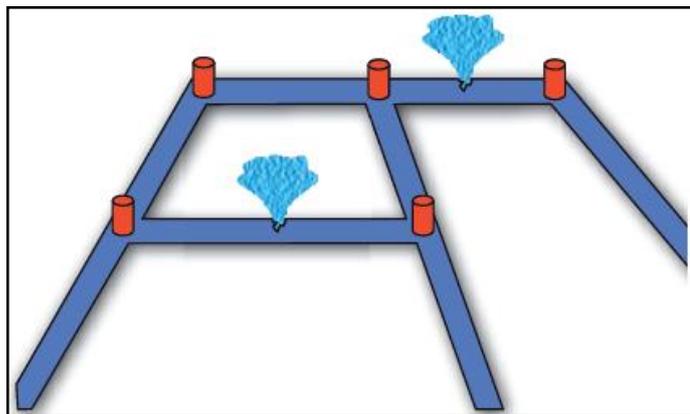


Figure IV-2 : L'emplacement d'un enregistreur de bruits

A l'issue de la période d'enregistrement programmée, les appareils sont connectés à un micro-ordinateur pour transfert des données stockées.

L'opérateur analyse alors ces données :

En repérant pour chaque point d'écoute les bruits permanents dont le niveau sonore est minimum :

- et portant ces résultats sur le plan du réseau,
- en déterminant comme suite une zone suspecte, par comparaison des niveaux sonores de chaque point écouté.

4.1.1. Configuration opérationnelle

Les enregistreurs de bruit sont spécialement utiles – et rentables – pour le travail dans des secteurs d'écoute difficile, soit en raison du bruit environnant, des risques de la circulation, des conditions de remplissage du réseau, ou pour toute autre raison. Il ne peut se faire que de nuit ou le week-end.

Ils permettent de pré-localiser les fuites à 50 ou 100 mètres près.

4.1.2. Les étapes de la pré-localisation

a. *Réalisation d'un plan de pose*

- Positionner les points d'écoute sur un plan.
- Déterminer le nombre d'enregistreurs de bruit nécessaires pour couvrir complètement le secteur.
- Délimiter la zone à contrôler sur un plan du réseau

b. *Programmation du parc d'enregistreurs*

- Dates, horaires et durées des cycles d'acquisition.
- Nombre de mesures par cycle.
- Niveau d'amplification

c. *Pose des enregistreurs sur les points d'écoute*

Noter les emplacements exacts sur la chaussée et sur le plan de pose.

d. *Enregistrement des bruits*

Déclenchement en mode automatique suivant les cycles programmés.

e. *Analyse des données acquises*

- Transfert des données acquises sur micro-ordinateur.
- Détermination des niveaux minimum de bruits permanents de chaque enregistrement.

f. *Pré-localisation des zones de fuites probables*

- Report des niveaux de bruits sur le plan de pose.
- Visualisation graphique des zones les plus bruyantes.

4.1.3. Mise en place sur le terrain

La mise en place s'effectue aux endroits prévus sur le plan de pose, les distances maximales entre enregistreurs sont données dans le Tableau IV.2 :

Tableau IV.1 : Distances entre les enregistreurs [Wikti]

Environnement	Matériau de la conduite	Distance entre deux enregistreurs
Zone urbaine	Métallique (fonte, acier)	200 à 300 m
	Amiante – ciment	
	Plastique (PVC, PEHD)	100 à 160 m
Zone péri –urbaine et rurale	Métallique (fonte, acier)	400 à 500 m
	Amiante – ciment	
	Plastique (PVC, PEHD)	160 à 200 m



Figure IV-3: Appareils enregistreurs de bruits

4.2. La détection acoustique

Les matériels utilisés pour ce faire sont basés sur le principe du stéthoscope, simplement complété par un dispositif d'amplification et généralement aussi de filtration. Les appareils sont classés en deux catégories :

4.2.1. Les appareils à amplification mécanique

Ils sont en principe composés d'une membrane vibrante insérée dans une cloche métallique formant une caisse de résonance dans laquelle est vissée une tige métallique servant de capteur (Figure IV-4).

Ces appareils aux performances réelles mais limitées requièrent de la part de l'opérateur une « oreille » exercée dont généralement, avec de l'expérience, il fait preuve. Ils permettent de dégrossir le travail de recherche et par ailleurs d'assurer un contrôle rapide du réseau en tout point où on y intervient.

A cette catégorie d'appareils se rattachent en particulier la canne d'écoute et l'hydrosol.



Figure IV-4: Les appareils à amplification mécanique

4.2.2. Les appareils à amplification électronique

Ces appareils sont identiques aux précédents dans leur principe, à la différence qu'un microphone remplace l'ensemble canne – membrane, et qu'un amplificateur / filtre remplace la cloche.

Ces appareils, plus sensibles et plus précis que les précédents desquels viennent en complément, permettent de localiser correctement, sous certaines conditions toutefois, la plupart des fuites.

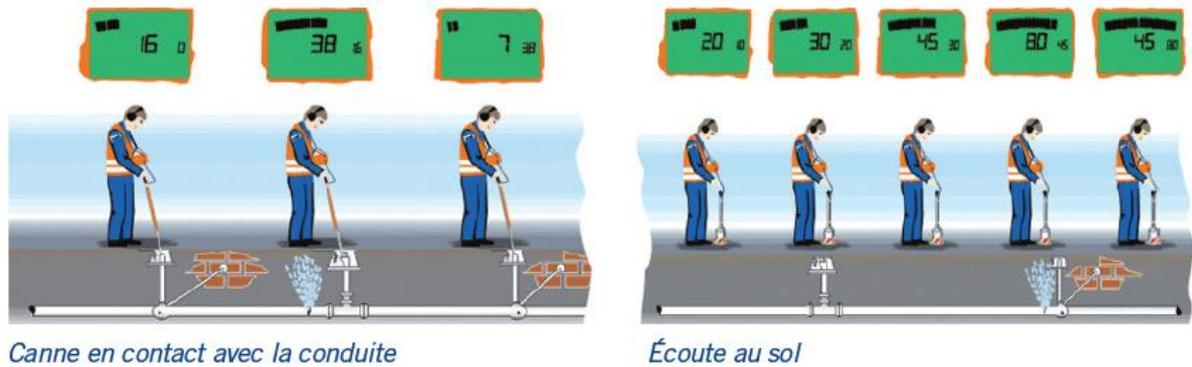


Figure IV-5: Les appareils à amplification électronique

4.3. Les appareils de corrélation

Le corrélateur est un ensemble composé de deux capteurs, deux émetteurs et d'un récepteur calculateur.

Les capteurs sont placés aux extrémités de la conduite directement sur la canalisation (ou en contact avec le fluide pour les hydrophones). Ils enregistrent le bruit (intensité, fréquence) et transmettent un signal aux émetteurs ; Les émetteurs transmettent le signal par onde radio au récepteur qui va filtrer et analyser le signal. A partir de la vitesse de propagation de la fuite, il va positionner la fuite par rapport aux capteurs

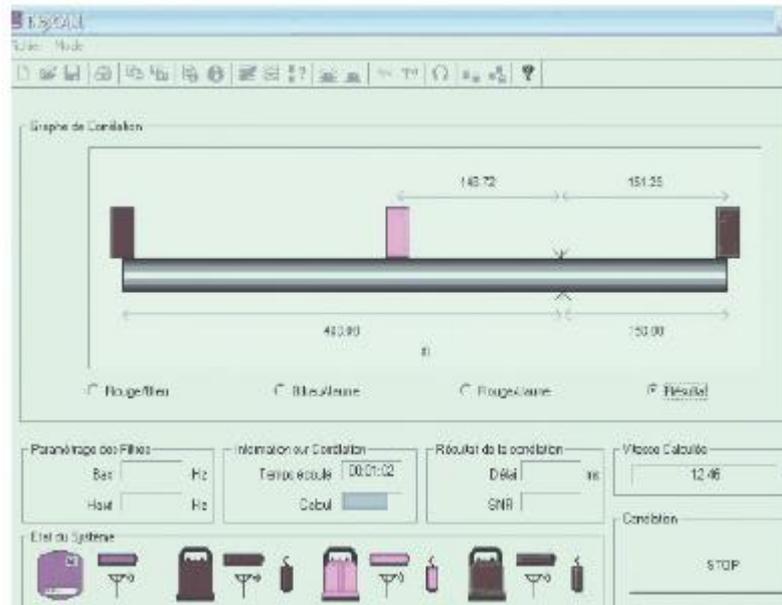


Figure IV-6 : Principe de fonctionnement des appareils de corrélation [Wiki]

4.3.1. Configuration opérationnelle

A condition de connaître avec certitude la longueur du tronçon inspecté, la nature de la conduite et le diamètre de celle-ci, ces appareils donnent des résultats de précision remarquables, avec l'avantage d'être peu affectés par les bruits extérieurs et indifférents à la profondeur d'enterrement du réseau.

Il est donc très adapté à la recherche lorsque :

- les canalisations sont profondément enterrées,
- les points de contact sont espacés (pas à plus de 500 m toutefois),
- le sol est gelé, submergé ou encombré,
- l'environnement est bruyant.

4.3.2. Utilisation

L'opération consiste à placer les deux capteurs aux extrémités du tronçon de la conduite à contrôler, puis à lancer le corrélateur préalablement renseigné sur la longueur, le diamètre et la nature du tronçon considéré : s'il y a une fuite l'appareil en détecte la présence et en indique la position par rapport aux capteurs.

Pour l'utilisation du corrélateur il est parfois nécessaire d'opérer à deux techniciens notamment lorsque les conditions de sécurité l'exigent.

Les capteurs types « hydrophone » peuvent être raccordés sur des branchements existants ou accessoires du réseau.

4.4. Le gaz traceur

Le principe global est de contaminer le sol au droit des fuites par apport d'hélium contenu dans l'eau du tuyau fuyard, puis de détecter ces concentrations anormalement élevées par un spectromètre analysant l'air du sol aspiré par une pompe à vide (Figure IV-7). L'injection d'hélium dans l'eau nécessite quelques précautions simples, et uniquement un point d'injection du type prise en charge.

La détection se fait par un spectromètre embarqué sur un véhicule, réglé pour détecter l'hélium. L'équipe suit le parcours des canalisations à analyser, et prélève l'air du sol grâce à une canne reliée à une pompe à vide tous les 10 mètres. L'analyse se fait en continu et le taux de ppm est tracé sur une imprimante.



Figure IV-7 : Principe de fonctionnement d'un Gaz traceur

La mise en œuvre est la suivante :

- Injection du gaz sous pression dans la conduite (prise en charge, branchement, etc ,).
- Réalisation de petits trous à l'aplomb du tracé de la conduite.
- Détection du gaz traceur à l'aide d'une sonde de détection.
- L'emplacement de la fuite correspond à l'endroit de concentration maximale.

4.5. L'Imagerie Thermique

L'imagerie thermique consiste à analyser à l'aide d'un équipement d'imagerie infrarouge, la température de la surface du sol le long d'un tracé de canalisation et à repérer les endroits où se présente une discontinuité – réchauffement, refroidissement, une humidité anormale du sol celle-ci pouvant être causée par une fuite (Figure IV-8).

Le principe est de survoler le tracé de la conduite principale avec un avion léger, spécialement appareillé d'un matériel d'imagerie thermique couplé à un système de positionnement global (GPS).

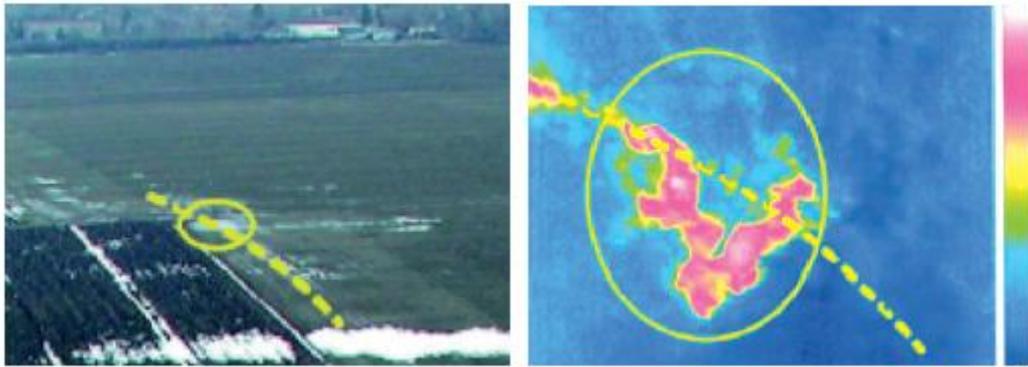


Figure IV-8 : L'imagerie thermique

Le matériel d'imagerie repère les zones de sol humide autour de la conduite principale et on compare cette information avec des images couleur de la zone préalablement stockées.

- Le GPS détermine avec précision les coordonnées géographiques des zones de fuite.
- Les données de positionnement fournies par le GPS associées à l'image fournie par le matériel d'imagerie, permettent de définir sur une carte les coordonnées précises des fuites. La technique s'applique principalement à l'étude de longs tronçons de conduites principales pour identifier les zones de fuites possibles.

Il est possible de contrôler jusqu'à 100 kilomètres de conduites par jour. La trajectoire de la conduite doit être comprise dans une zone préférablement rurale et autorisée au survol.

5. DEFAILLANCES POSSIBLES ET CONSEQUENCES ASSOCIEES AU RESEAU D'AEP.

5.1. La dégradation du réseau

L'apparition de dégradations ponctuelles ou récurrentes témoigne d'une défaillance dans le réseau de distribution d'eau. Les répercussions sont variées et peuvent entraîner risques sanitaires ou simples désagréments auprès des abonnés, ruptures, percements, fuites, ...

Il est donc primordial d'avoir une connaissance de l'ensemble de ces phénomènes pour pouvoir prétendre à une identification précise sur le terrain.

5.2. Dégradation de la qualité de l'eau

5.2.1. Phénomène de corrosion

La corrosion touche entre le quart et la moitié des canalisations, en particulier les anciennes canalisations en fonte grise et en acier non revêtues.

a. *Corrosion interne*

On observe dans la photographie IV-1, une conduite de diamètre 80 mm ayant subi des dépôts ferriques de corrosion interne.



Photographie IV-9 : Corrosion interne

Liée à la qualité de l'eau et à ses différentes caractéristiques la corrosion interne peut provenir:

- du pH, du taux d'oxygène dissous, de l'écart par rapport à l'équilibre calcocarbonique ;
- de l'oxydation d'ions ferreux en ions ferriques principalement avec une eau douce, acide ou désaérée. Une coloration noire de l'eau est liée à la présence de manganèse. Ce phénomène, qui génère une eau rouge et des dépôts, est fréquemment constaté sur les conduites en fonte grise et en acier non revêtues ;
- du développement d'un biofilm bactérien sur les parois affectant inévitablement tous les types de conduites.

De plus, la corrosion des conduites et la formation de dépôts sont favorisées :

- par une stagnation de l'eau dans le réseau, notamment dans les conduites en antenne, les zones soumises aux variations saisonnières importantes de population et les canalisations surdimensionnées.
- par une turbidité et des concentrations en ions métalliques élevées.

Des risques de contamination sont à craindre lorsque le biofilm se développe ou lorsqu'une plus forte consommation de chlore est enregistrée.

Ces phénomènes de corrosion interne peuvent entraîner une diminution du diamètre intérieur de la paroi liée à l'existence de dépôts et une fragilisation de la structure interne de la canalisation.

b. Corrosion externe

La photographie IV.2 montre une conduite de diamètre 80 mm ayant subi une corrosion externe localisée (Courants vagabonds, hétérogénéité du sol, ...).



Photographie *IV-10* : Corrosion externe

La corrosion externe correspond à un échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite, avec des origines diverses telles que :

- *les courants « vagabonds »* du sol, générés par la proximité d'installations électriques en courant continu (voies de chemin de fer, tramways, ouvrages miniers,...), augmentent les risques de corrosion des canalisations métalliques qui sont d'excellents conducteurs. En l'absence de protection, le phénomène de corrosion externe est accéléré ;
- *l'hétérogénéité du sol* : plus la texture du sol est fine, plus il retient l'eau et plus la corrosion est importante. L'évaluation de la corrosivité du milieu ambiant est définie sous la norme AFNOR NF 250 « Evaluation de la corrosivité des sols vis-à-vis des canalisations en matériaux ferreux » ;
- *l'hétérogénéité de surface* : lors de mauvaises conditions de pose des canalisations, une partie de la pellicule superficielle d'oxyde peut être enlevée, entraînant une discontinuité et la création d'un phénomène de pile électrique ;
- *l'hétérogénéité de contact* : la présence de différents métaux, soit au niveau des raccordements de canalisation, soit au niveau des colliers et des vannes des branchements peut aussi générer des phénomènes de pile électrique.

En outre, le phénomène de corrosion peut interagir avec d'autres faits gênants - l'entartrage, la prolifération et fixation bactérienne dans les réseaux - qui aggravent souvent l'attaque des matériaux.

5.2.2. Phénomène d'entartrage

Le transport d'une eau incrustante peut provoquer un entartrage des conduites. La formation de ces dépôts calcaires a des répercussions internes sur la qualité de l'eau et sur son écoulement par réduction de la section utile de la conduite.

5.3. Défaillances du régime hydraulique

5.3.1. Diminution de la capacité de transport

La réduction du diamètre et/ou l'augmentation de la rugosité réduisent les capacités hydrauliques du réseau.

Cette défaillance est engendrée par l'entartrage calcaire sur les conduites sans revêtement interne, mais aussi par l'apparition de protubérances corrosives, responsables également de chutes de pression.

Précisons également qu'une baisse de pression peut être le résultat d'une simple augmentation de la demande, par croissance de la consommation ou par lutte contre l'incendie.

5.3.2. Fuites

Les ruptures de canalisations peuvent être provoquées par

- une action combinée de la corrosion sur la conduite et de mouvements de sols ;
- une augmentation de la pression interne ;
- une action violente dans le tuyau : coup de bélier, par exemple.

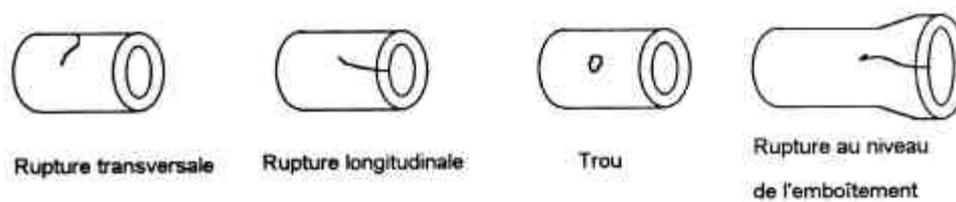


Figure IV-11 : Ruptures ou fuites apparentes [*Eisenbeis*, 1994]

Ces ruptures de conduites peuvent occasionner des dommages plus ou moins sévères, tels que:

- inondations chez un particulier ou perturbations du trafic routier ;
- coupure d'eau ;
- déstabilisation du lit de pose ;
- plaintes des abonnés.

Chacune des défaillances hydrauliques, évoquées précédemment, engendre inéluctablement :

- un accroissement de la production ;
- des pertes d'énergie par l'augmentation des temps de pompage ;
- des interventions sur le réseau.

6. Conclusion

Nous avons présenté dans cette partie de notre étude tous les démarches nécessaire pour aboutir à un bon diagnostic, dans le chapitre ce qui suit et après la modélisation du réseau sur le modèle Epanet, nous essayerons de signaler les tronçons ayant ce problème de défaillance, avec des recommandations proposées pour améliorer le rendement du réseau.

Chapitre V

La modélisation du réseau sur le logiciel Epanet

Chapitre V

La modélisation du réseau via le logiciel Epanet

1. PRESENTATION DU LOGICIEL EPANET

1.1. 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. Enfin, le logiciel a connu des améliorations depuis sa création. La dernière version date de l'année 2001.

1.2. Potentialités du logiciel

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

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples: définition d'un programme de prélèvement d'échantillons, calage d'un modèle hydraulique, simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance.

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

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

1.3. Principes hydrauliques régissant les calculs du logiciel

1.3.1. Les lois de base du calcul

La loi des nœuds et la loi des mailles constituent la base du calcul hydraulique. La loi des nœuds affirme que le débit entrant dans un nœud est quoiqu'il arrive égal au débit sortant de ce nœud et ce quelque soit le nombre d'entrées et de sorties dans ce nœud.

La loi des mailles dites, quant à elle, que la différence de charges DH (égale à la somme de la pression et de la cote au sol au point considéré) entre deux nœuds est égale à la perte de charge entre ces nœuds (figure V-1 ci-dessous).

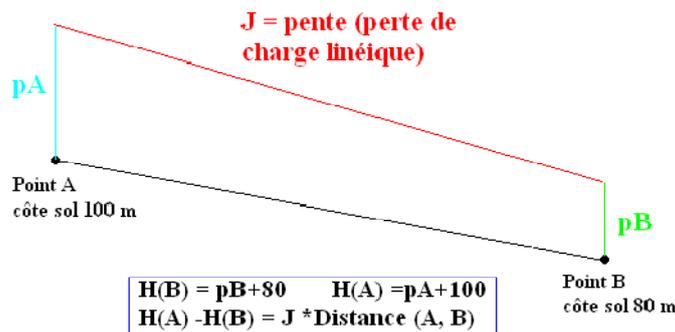


Figure V-1 : Schéma illustratif de la loi des mailles dans un réseau d'eau potable

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

Le calcul des débits et des charges est lié et ne peut se faire indépendamment. Dès lors, il est nécessaire de connaître l'une ou l'autre des données à chaque nœud pour permettre l'aboutissement du calcul.

1.3.2. Le calcul des pertes de charges

a. Le calcul des pertes de charge linéaires

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

Nous avons choisi d'utiliser la formule de Darcy Weisbach qui traite les écoulements de tout type et pour tout liquide.

Les trois formules utilisent l'équation suivante pour calculer les pertes de charge dans chaque tronçon. :

$$h = A \cdot q^B$$

Avec, h : la perte de charge en unités de longueur, A : le coefficient de résistance, q : le débit et B : l'exposant du débit.

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

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

avec, L longueurs en m du tronçon, d diamètre du tuyau en m, q débit en m^3/s et ε coefficient de rugosité de la conduite en m.

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

b. Le calcul des pertes de charges singulières

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

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

avec, V vitesse de l'écoulement en m/s, ξ coefficient de perte de charges singulières et g l'accélération de la pesanteur en $m \cdot s^{-2}$.

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

1.3.3. Spécificités du logiciel

Le logiciel possède les mêmes fonctionnalités et possibilités que les autres logiciels de modélisation des réseaux d'eau potable tels que Porteau ou Piccolo. Il présente une convivialité au niveau de son interface qui permet de le rendre assez facilement accessible.

Cependant, une formation était nécessaire pour ne pas tomber dans le piège représenté par cette facilité de manipulation des éléments d'Epanet.

On peut également travailler sur un réseau saisi sur Epanet avec le logiciel Piccolo grâce à une passerelle permettant le transfert des fichiers (comme nous avons fait dans notre étude).

En termes de calcul, Epanet présente quelques particularités. Par exemple, sur le logiciel Piccolo, il est possible de demander au logiciel de revoir une demande à la baisse tandis que

sur Epanet, une demande est toujours desservie à 100%. Dès lors, lorsqu'on obtient des pressions négatives sur un nœud, ceci signifie que la demande n'est pas satisfaite.

1.4. Capacités pour la Modélisation Hydraulique

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace (nous ne l'avons pas utilisé le modèle de qualité dans notre étude). EPANET contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes :

- La taille du réseau étudié est illimitée.
- Pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formules de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, et Chezy-Manning.
- Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.
- Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût.
- Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).
- Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre.
- Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).
- Le fonctionnement de station de pompage peut être piloté par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir) ou des commandes élaborées plus complexes.

1.5. Capacités pour la Modélisation de la Qualité de l'Eau

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

- Modélisation du déplacement d'un traceur pendant la durée de la simulation.
- Modélisation des déplacements et les variations de concentration en plus ou en moins que subit une substance (par exemple un produit secondaire de désinfection, ou du chlore résiduel).
- Modélisation du temps de séjour de l'eau dans le réseau.
- Indication à chaque nœud de la proportion d'eau provenant d'une ressource distincte.
- Modélisation des réactions d'évolution de la qualité de l'eau dans la masse et aux parois.
- Utilisation des cinétiques d'ordre n pour calculer les réactions dans la masse d'eau.
- Utilisation des cinétiques d'ordre un ou zéro pour calculer les réactions aux parois des tuyaux.
- Limitations de transfert de masse pour modéliser les réactions aux parois.
- Fixation d'une concentration limite des réactions.
- Utilisation des coefficients de vitesse de réaction globale et des coefficients spécifiques pour certains tuyaux.

- Etablissement d'une corrélation entre les coefficients de vitesse de réaction au niveau de la paroi en fonction de la rugosité du tuyau.
- Introduction d'une substance quelconque à différents emplacements du réseau variant dans le temps en débit massique ou en concentration.
- Mélange d'eau dans les réservoirs : mélange parfait, à flux piston ou en deux compartiments.

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

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

1. CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE DE L'ETAGE DE BIRTOUTA

2.1. Fonctionnement du réseau de Birtouta

Avant de modéliser un réseau, il est essentiel de collecter les informations auprès des agents d'exploitation, de se rendre sur le terrain afin de découvrir les particularités du réseau et les organes hydrauliques. Ceci permet de bien cerner les problèmes qui pourront se poser lors de la modélisation ou du diagnostic.

Cette étape de découverte du réseau permet également de vérifier qu'il y a bien une correspondance parfaite entre les plans et le fonctionnement réel du réseau. Certaines erreurs ont ainsi pu être relevées. Par exemple, certains travaux réalisés récemment sur le réseau de Birtouta ne sont pas encore reportés sur les plans, et qui doivent être pris en compte dans la modélisation.

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

Pour estimer la consommation des différentes catégories aux nouveaux nœuds, il faut au moins connaître la population qui est alimentée par ces nœuds. Alors, dans ce cas nous utilisons les surfaces d'influence pour estimer la demande en eau car, la population n'est pas connue au niveau de chaque nœud.

2.2. Saisie du réseau

La majorité de ces données provient d'une recherche effectuée au centre de la SEAAL en collaboration avec le responsable.

La récolte des données est une partie essentielle est fastidieuse de la construction d'un modèle. Cette phase demande du temps pour le stagiaire et pour le centre.

A partir du modèle via *Piccolo*, qui a été élaboré par le bureau d'étude SOGREAH (bureau d'étude travaillant en sous-traitance avec la SEAAL), le réseau a été saisi sous *Epanet* grâce

à une passerelle pour extraire la base de données de l'étage de Birtouta de *Piccolo* vers *Epanet*. Cette organisation est représentée en *annexes 3*.

Pendant les premières étapes de notre projet, nous avons construit le modèle numérique contenant les six étages de distribution (voir figure V-2).

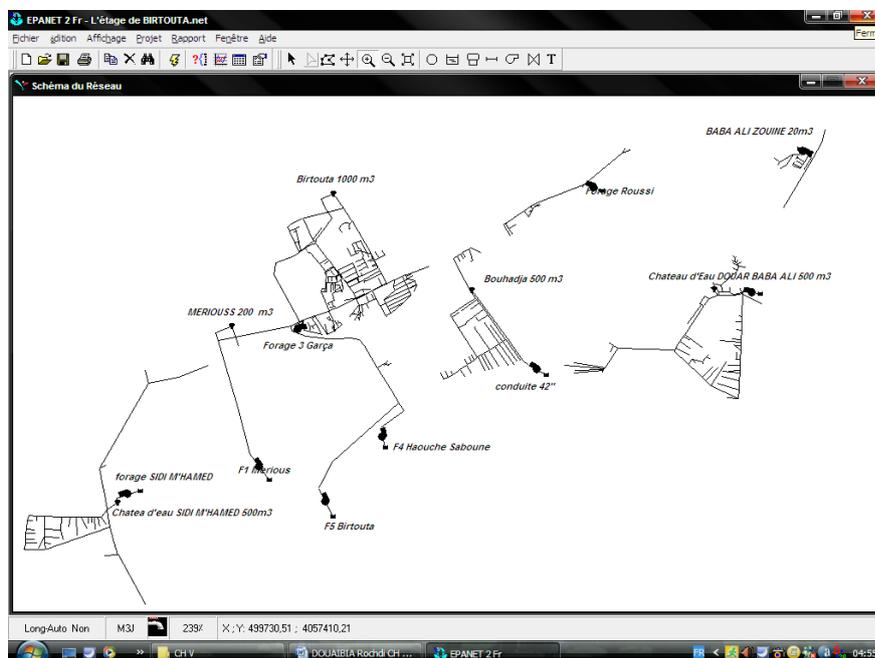


Figure V-2 : Schéma du modèle numérique de l'étage de Birtouta

Lorsque nous avons fait le calage du modèle, nous avons travaillé seulement sur l'étage de Birtouta ville (figure V-3), car les mesures (les pressions dans le réseau, marnage et débit de sortie du réservoir) ont été faites que sur cet étage. Sur les autres étages, nous n'avons pas pu faire les mesures à cause de non disponibilité des appareils de mesure pour chaque étage.

Les caractéristiques des ouvrages (réservoirs, vannes, pompes, forage) ont été ensuite saisies dans le modèle.

Nous obtenons ainsi le modèle numérique de l'étage de Birtouta ville (figure V.3). Ce modèle est composé de plus de 380 nœuds et 403 tronçons avec une longueur totale de canalisation supérieur à 33 km.

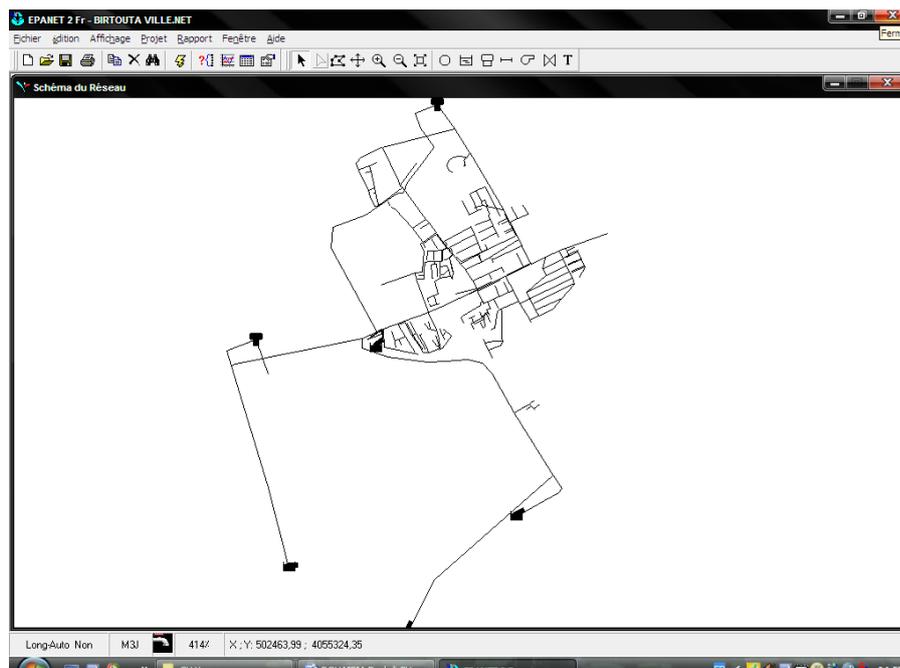


Figure V-3 : Schéma du modèle numérique de l'étage de Birtouta ville

3. VARIATION JOURNALIERE DE LA CONSOMMATION

3.1. Les catégories de consommation

Le logiciel *Epanet*, nous permet de simuler le comportement du réseau sur une journée entière et qui variera selon les variations de consommation de la population. Dès lors, il est nécessaire de différencier les consommateurs qui ont un comportement différent.

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

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

La consommation domestique est évaluée à partir des dotations individuelles, fonction de la typo morphologie de l'habitat. Ces dotations (Tableau V.1) ont été proposées dans l'étude de la demande en eau d'une agglomération.

Tableau V.1 : Dotations domestiques fonction de la Typo morphologie de l'habitat.

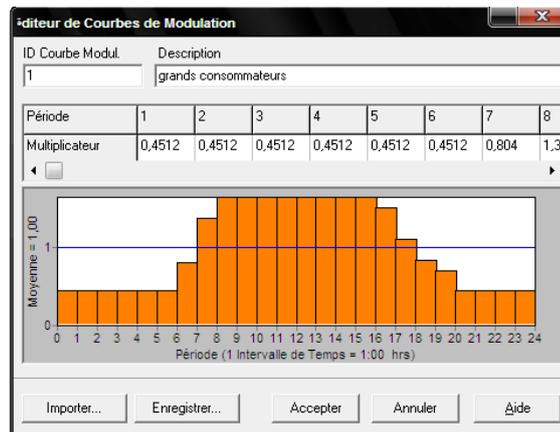
Typo morphologie	Dotation (l/j/hab)
Très haut standing (TH)	200
Haut standing (H)	160
Moyen standing supérieur (MS)	100
Moyen standing inférieur (MI)	90
Faible standing (F)	60

3.2.Courbes de modulation

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

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

Les figures (V-4) et (V-5) représentent respectivement les courbes affectées aux catégories grands consommateurs, consommateurs diffuse et domestique.

**Figure V-4** : Profil de grands consommateurs, consommateur diffuse.

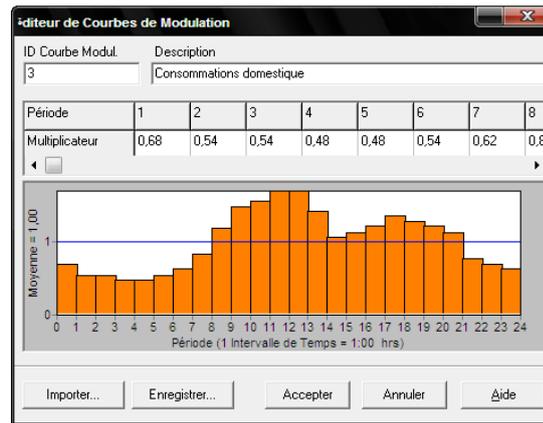


Figure V-5 : Profil de consommation domestique

Un suivi débitmétrique chez un abonné ou sur les compteurs principaux de distribution aurait du être effectué de façon à déterminer avec précision ces courbes de modulation, et concernant les consommateurs industriels dont la variation journalière et même saisonnière de la consommation est différente de l'un à l'autre. Il est possible de définir plusieurs catégories.

Cependant, il est impossible de suivre l'évolution journalière des débits de production vu que cette dernière n'est pas de notre ressort. De plus, le suivi d'un compteur domestique présente le désavantage d'être peu révélateur d'une population de plusieurs centaines d'abonnés. Dès lors, l'établissement de ces courbes s'est fait (par SOGREAH) de façon empirique mais en tenant compte des tendances connues.

En plus des variations journalières de la consommation, il aurait été très intéressant d'introduire des variations saisonnières, car d'après le service clientèle de la SEAAL la consommation est fortement variable d'un trimestre à un autre (Figure V-6). Mais cela peut prendre considérablement du temps.

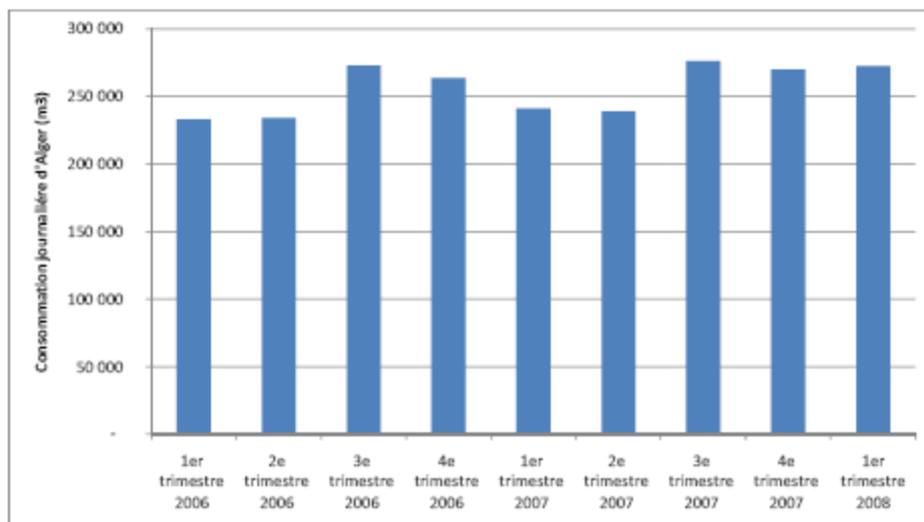


Figure V-6 : Variabilité trimestrielle de la consommation journalière.

4. CALAGE DU MODELE

4.1. Principe du calage

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

Cette étape de calage fait donc office de diagnostic du réseau dans le sens où elle permet de connaître l'état des conduites et de repérer les différents dysfonctionnements.

4.2. Paramètres de calage

Le calage du modèle s'effectue sur deux paramètres : les consommations aux nœuds et les rugosités des conduites. Dans un premier temps, il est nécessaire d'ajuster les débits avec les débits connus.

Dans un second temps, il s'agit de jouer sur les rugosités des conduites pour s'approcher le plus possible de l'état intérieur de la conduite. En effet, la rugosité mesure les aspérités présentes dans les conduites. Dans notre cas, cette dernière a été fixée à 1 mm. Ceci semble cohérent dans le sens où il est impossible de caler un réseau très précisément sur tous les tronçons mais qu'il se rapprochera plus de la réalité s'il est calé dans sa globalité.

La campagne de mesure sur le réseau a pour objectif de définir le volume, débits et pressions dans le temps de façon à caler le modèle numérique destiné à représenter fidèlement le comportement du réseau.

A partir des plans du réseau, nous avons réalisé un découpage la zone d'étude en secteurs de distribution les plus homogènes possibles. Sur chacun de ces secteurs, un enregistrement en continu et simultané des débits, niveaux du réservoir et pressions (six points de mesures, figure V-6) est effectué. Le pas de temps choisi est de 15 minutes pour le marnage de réservoir ainsi que pour le débit de sortie, et 5 minutes pour la mesure de pression. C'est un pas de temps suffisamment fin pour la comparaison des courbes de consommations qui sont représentées heures par heures et permettent d'avoir une taille des données acceptables.

La campagne de mesure s'est déroulée sur un mois (du 09 avril 2009 au 12 mai 2009). Ces données permettent de réaliser la courbe de modulation de la consommation et le calage du modèle numérique.

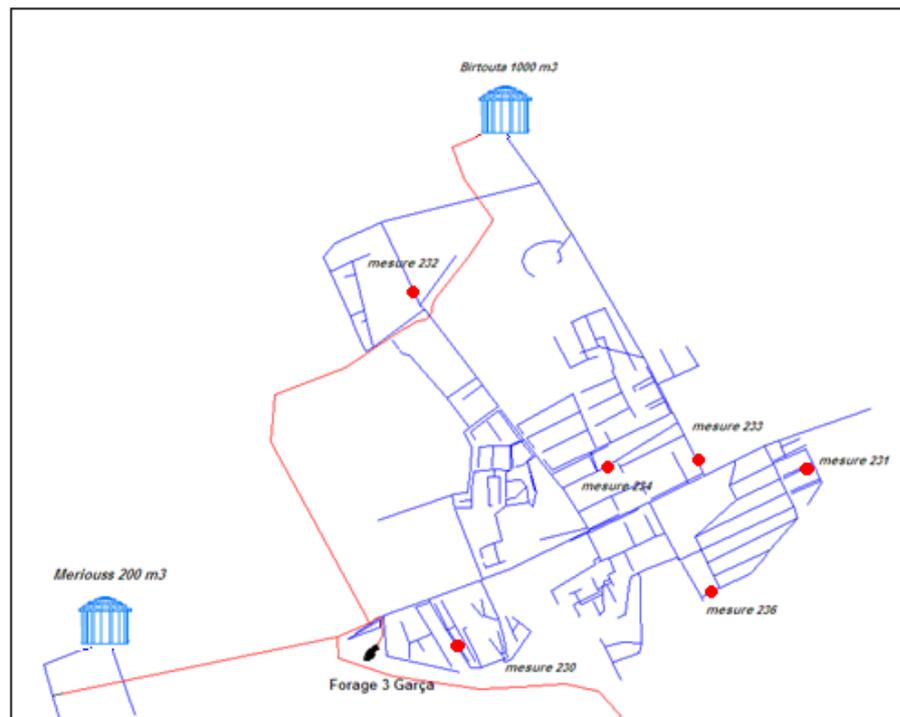


Figure V-7: Positionnement des points de mesure de pression

Le modèle a été calé par rapport à la journée du 10 avril 2009 (voir annexe 5).

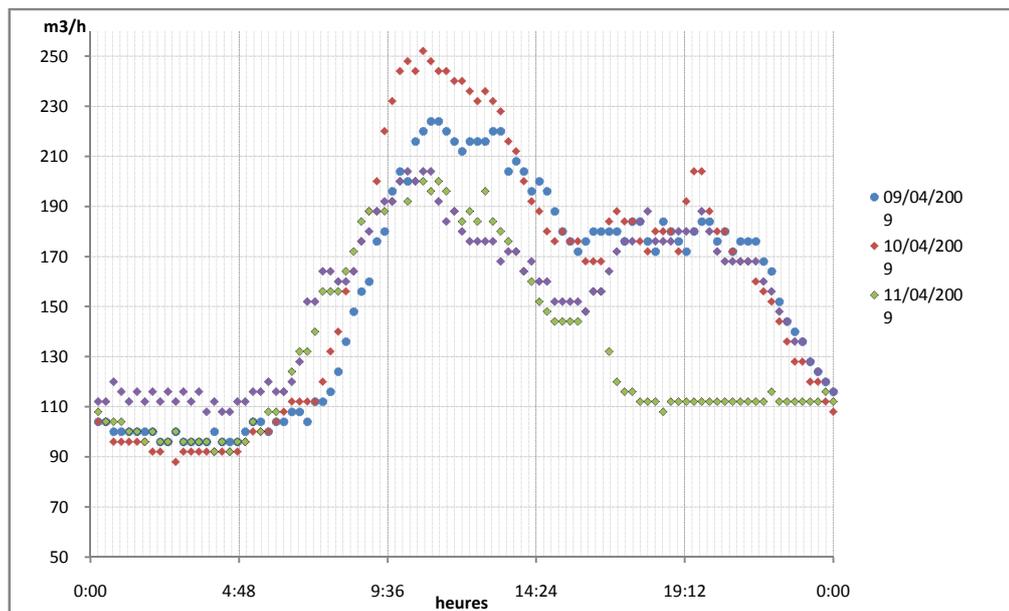


Figure V-8 : Débit mesuré à la sortie du réservoir de Birtouta.

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

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

Dans certains cas, la rugosité ne suffit pas. En effet, une conduite incrustée peut voir son diamètre diminuer dû à la présence importante de carbonate de calcium le long de la canalisation.

Le graphique de la figure (V-9) représente la variation du débit mis en réseau. La courbe en continue représente l'évolution du débit calculé par Epanet. Les points correspondent aux variations moyennes obtenues à partir des mesures de la journée de référence est celle du 10 avril 2009.

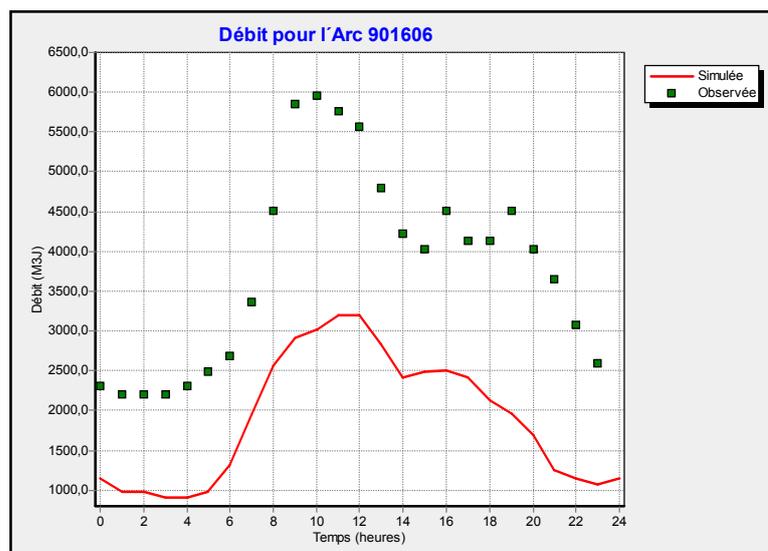


Figure V-9 : Comparaison des débits mis en réseau calculés et mesurés.

Malgré les allures qui se ressemblent, les résultats obtenus par le modèle ne sont pas représentatifs de la réalité. La non représentativité peut être prouvée par Epanet qui fournit un rapport statistique sur le calage du modèle.

Tableau V.2 : Statistiques de calage pour le débit avant le calage

Point-mesure	Nombre	Moyen Obs	Moyen Sim	Erreur Moy	Dev Stand
901606	24	3796,00	1913,30	1882,703	19955,535
réseau	24	3796,00	1913,30	1882,703	19955,535

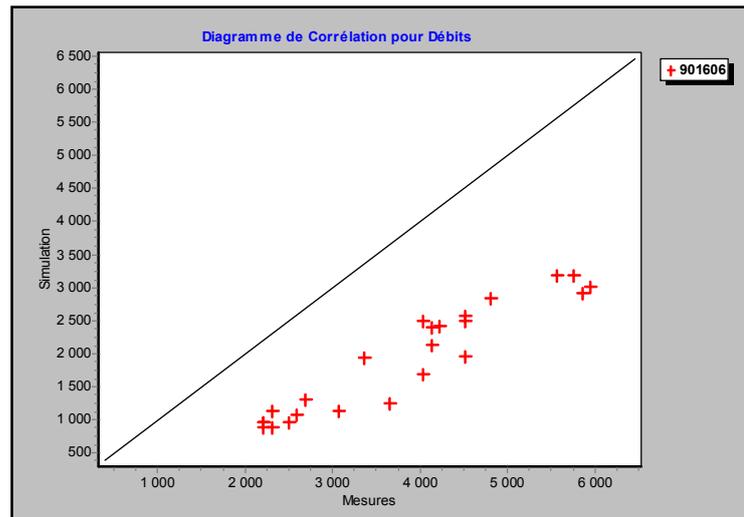


Figure V-10 : Diagramme de corrélation du débit avant le calage

4.3. Calage sur les débits

4.3.1. Modification de la courbe de consommation

La modification ne doit pas être sur un ou deux profils seulement, mais nous devons modifier tous les profils en même temps pour qu'il n'y ait pas de perturbation de l'allure du débit. Aussi, cette modification ne doit pas être aléatoire, une méthodologie doit être établie.

Dans cette partie de notre travail, nous avons construit la nouvelle courbe de modulation sur la base de la variation de débits de distribution réelle pendant 24h (annexe 4).

Nous avons calculé la nouvelle demande de base à partir de la demande de bases de chaque catégorie existante sur le modèle *Piccolo* (*Les consommations domestiques, commerciale, industrielle et administrative*). Nous obtenons par la suite une seule courbe de modulation qui caractérise la consommation globale de différentes catégories de demande.

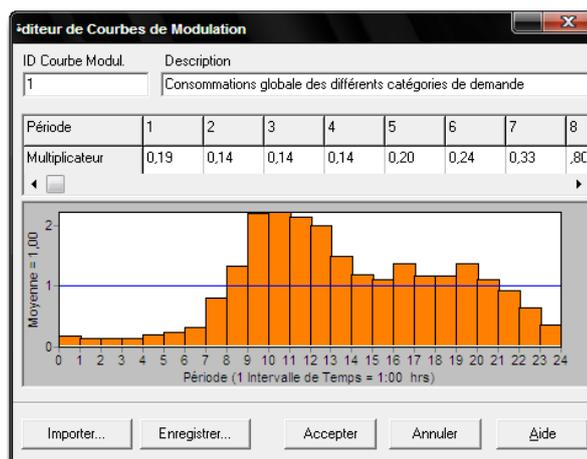


Figure V-11: Profil de la consommation globale

4.3.2. Prendre en considération les pertes

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

Nous pouvons introduire un facteur en l'occurrence le rendement du réseau, qui a été estimé à 60 %. Dans notre modèle, nous avons supposé que tous ce qui est distribué à partir du réservoir arrivent complètement aux abonnés, c'est-à-dire que nous avons introduit le débit de fuites qui a fait que le réseau ait le rendement ci-dessus.

Nous avons intégré au modèle Epanet une courbe de modulation constante pendant la journée et est égale à un. Il représente la perte moyenne qui a été estimée à 1629,96 m³/j pour l'étage de Birtouta ville.

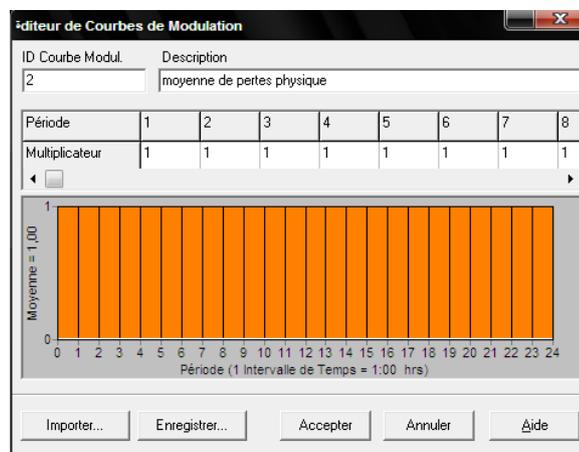


Figure V-12 : Profil de la perte moyenne journalière

En appliquant ces profils au modèle, nous avons eu le résultat suivant sur le débit (figure V-13).

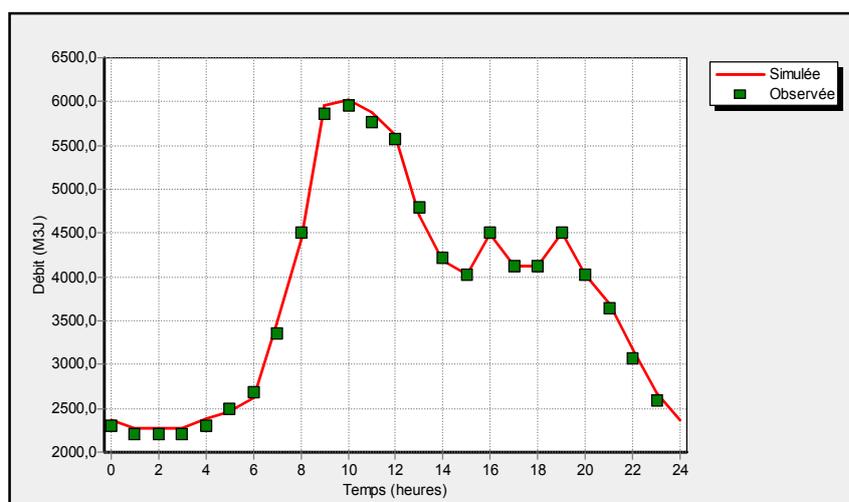


Figure V-13 : Comparaison des débits, avec les nouvelles consommations aux nœuds

Le rapport de ce calage, donné par *EPANET*, est représenté comme suit (tableau V.3 et figure V-14):

Tableau V.3 : Statistiques de calage pour le débit calé

Point-mesure	Nombre	Moyen Obs	Moyen Sim	Erreur Moy	Dev Stand
901606	24	3796,00	3822,01	58,179	67,372
réseau	24	3796,00	3822,01	58,179	67,372

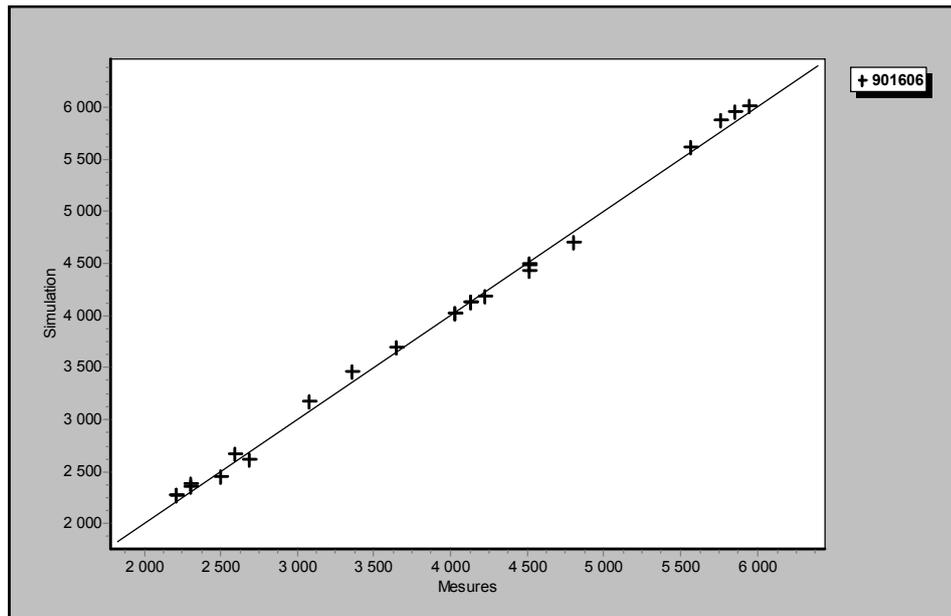


Figure V-14 : Diagramme de corrélation du débit calé

A ce moment la, nous pouvons dire que notre modèle est bien calé en débit (valider en débit).

4.4. Calage sur les pressions

Il est à noter que la rugosité moyenne que nous avons utilisée est de 1 mm. La rugosité initiale, de 0,1 mm, n'est jamais représentative de l'état intérieur des conduites d'un réseau ancien comme celui de la ville d'Alger. En réalité, la rugosité n'influence pas d'une façon intéressante les pressions dans le réseau. Par contre, si nous voulons faire une représentation avec un degré de précision plus important, Il est nécessaire d'effectuer des mesures de rugosités sur terrain en prenant des échantillons de conduites de différents matériaux et diamètres.

Les résultats obtenus sont les suivants :

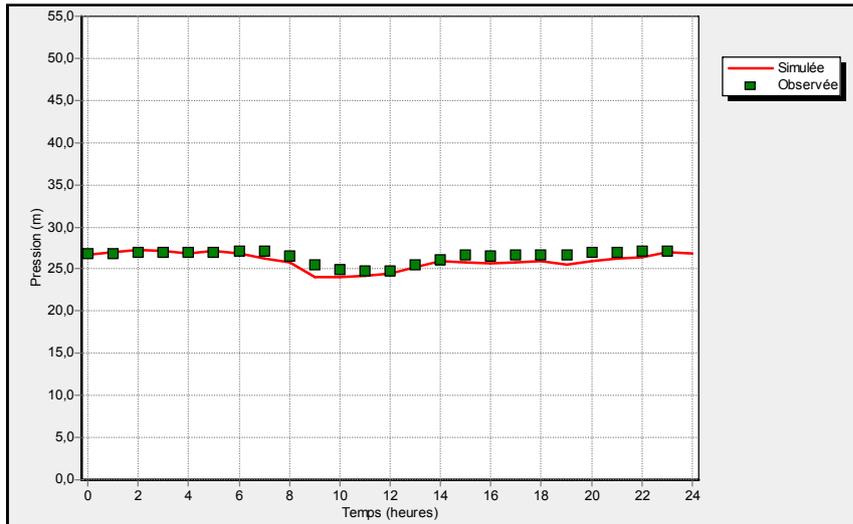


Figure V-15 : Pression pour le nœud 232

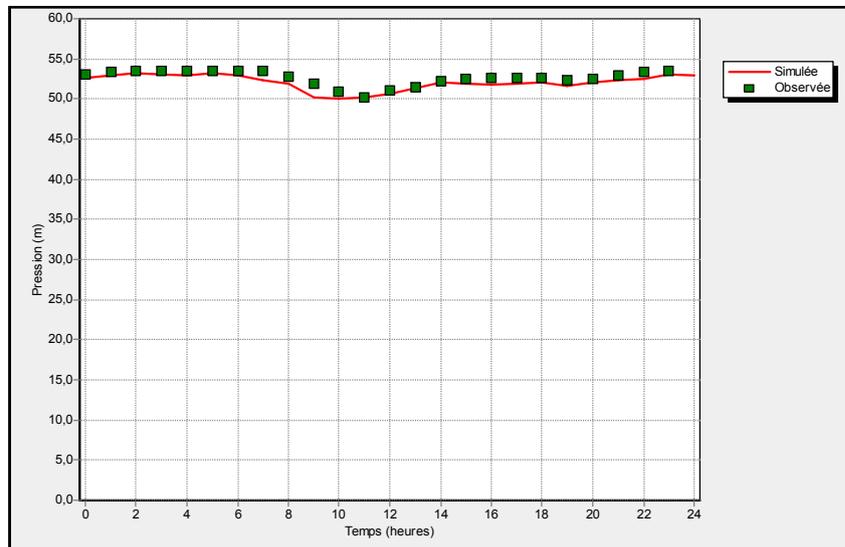


Figure V-16 : Pression pour le nœud 233

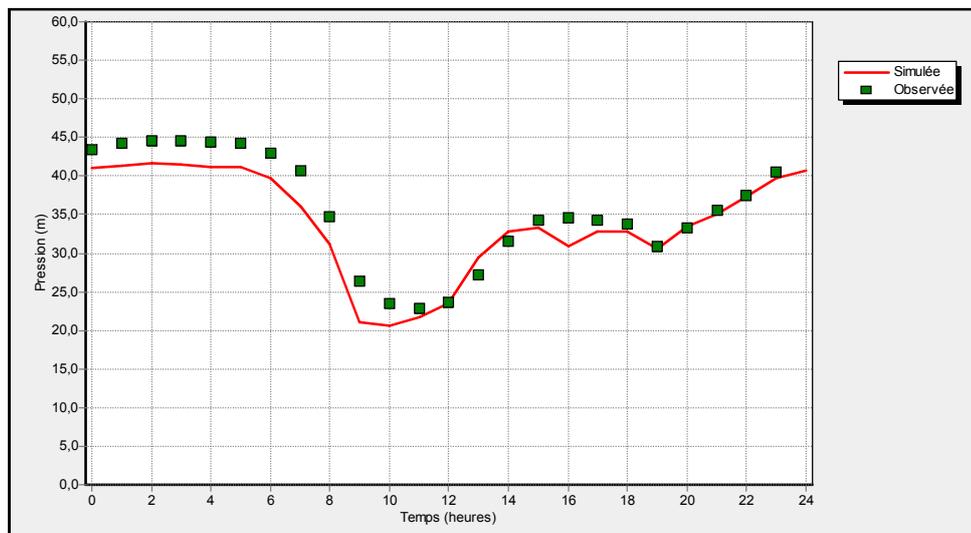


Figure V-17 : Pression pour le nœud 234

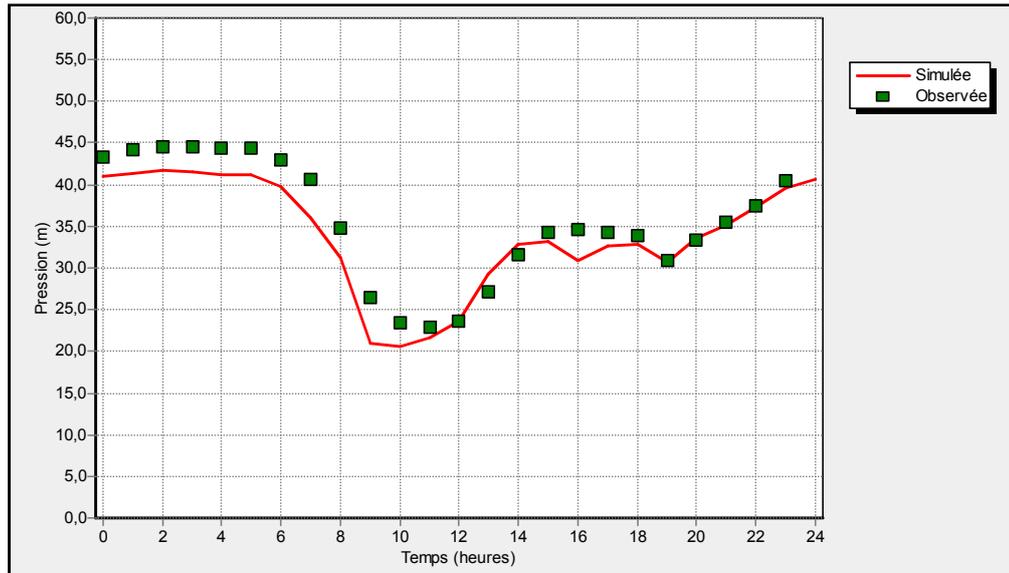


Figure V-18 : Pression pour le nœud 231

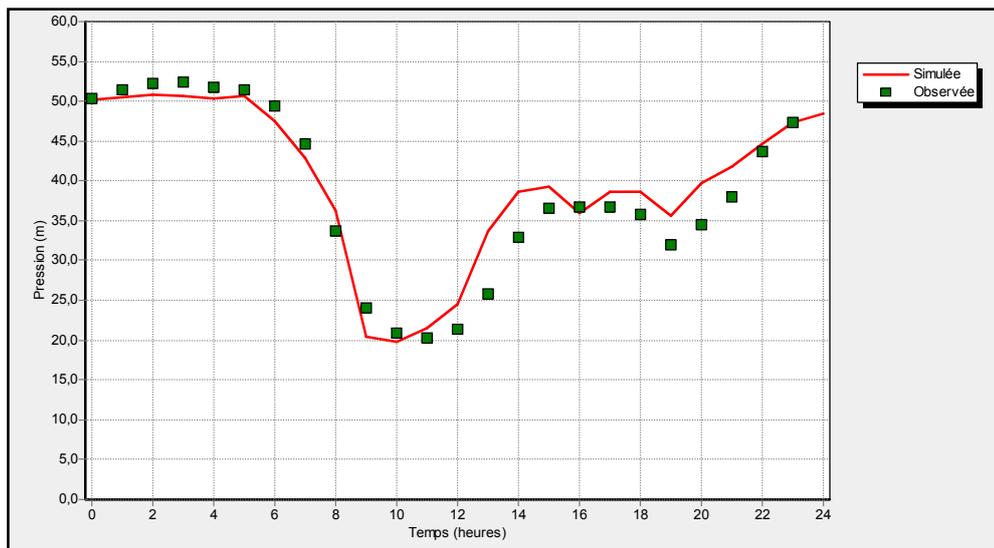


Figure V-19 : Pression pour le nœud 236

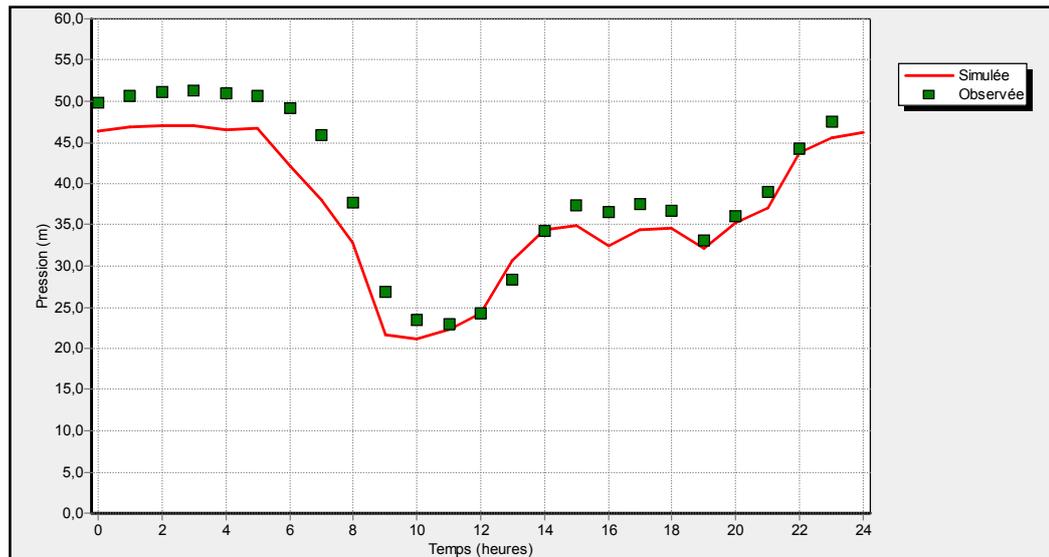


Figure V-20 : Pression pour le nœud 230

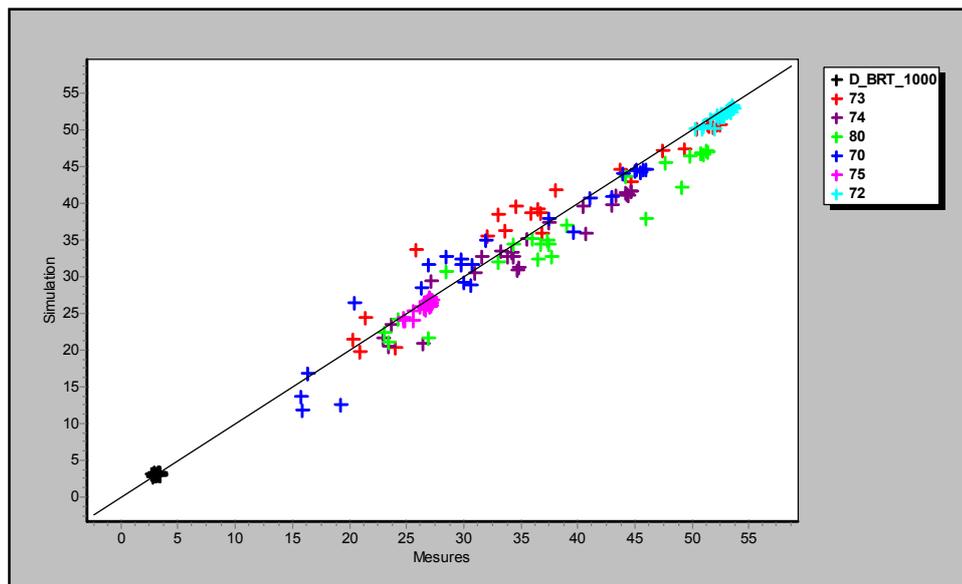


Figure V-21 : Diagramme de corrélation de pression

5. VALIDATION

L'étape de validation permet de valider le modèle élaboré. Il consiste à vérifier que pour une autre journée le modèle réagit conformément à la réalité sans pour cela modifier de paramètre de calage. La journée de validation choisie est de 10 avril 2009.

6. ANALYSE DE DYSFONCTIONNEMENT DU RESEAU

Une fois le modèle numérique élaboré est calé, il peut nous servir à réaliser plusieurs études. Le modèle est un outil qui nous permet de comprendre le fonctionnement du réseau et d'analyser son comportement dans divers situations.

Dans notre cas, la modélisation nous permet dans un premier temps de réaliser l'analyse sur les différents points constituant notre réseau. Et pour cela, nous ferons la simulation dans la

journée qui correspond à la journée de mesures pour visualiser le comportement du réseau pendant les heures de pointes et les heures creuses.

Les heures de pointe

Les deux figures (V-22 et V-23) ci-dessous indiquent une chute considérable de pression qui peut atteindre 5 m au période de pointe dans la zone la plus basse de la ville. Cette dernière, souffre de l'absence d'eau pendant ces heures, elle était alimenté seulement dans les heures creuses (figures V-22 et V-23). Par contre, les endroits proche du réservoir de Birtouta son alimentés H24.

Ce problème de chute de la pression est dû à l'existence des vannes tiercées (semi fermée) sur le réseau, ainsi que des singularités qui ne sont pas identifiées.

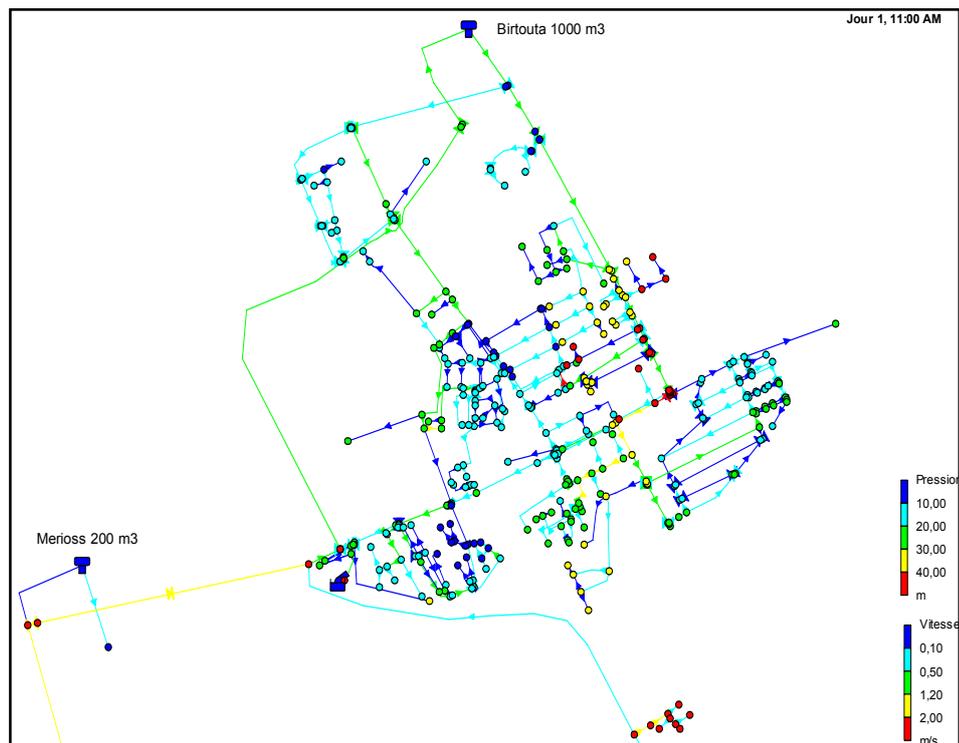


Figure V-22 : Simulation après le calage du modèle (Heure de pointe : 11 :00 h)

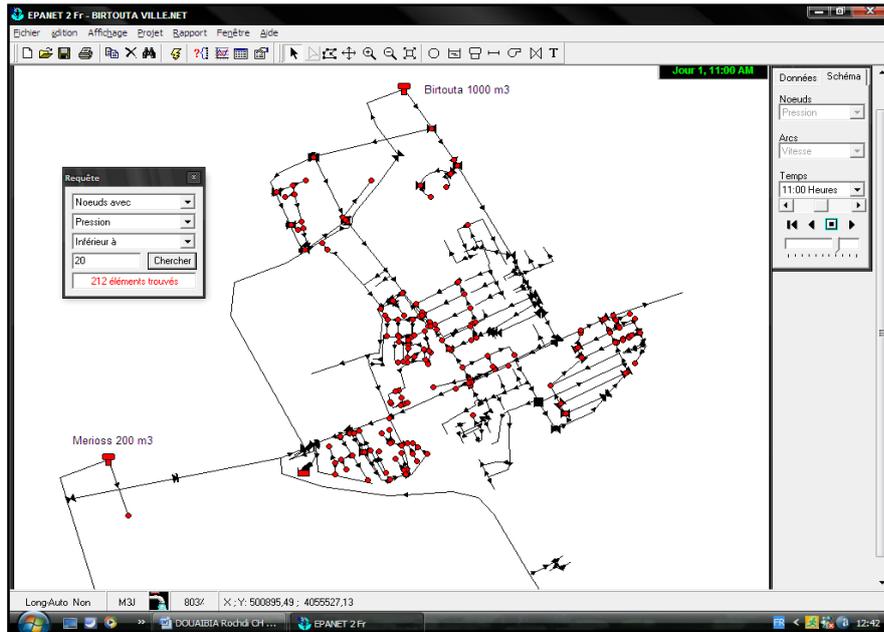


Figure V-23: Pressions inférieures à 20 m (Heure de pointe : 11 :00 h)

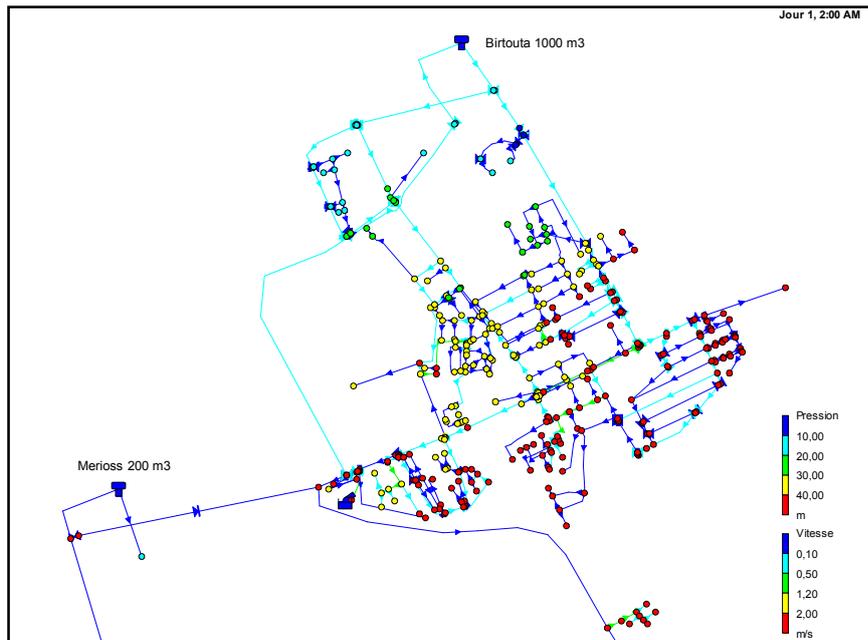


Figure V-24 : Simulation après le calage du modèle (Heure creuse : 02 :00 h)

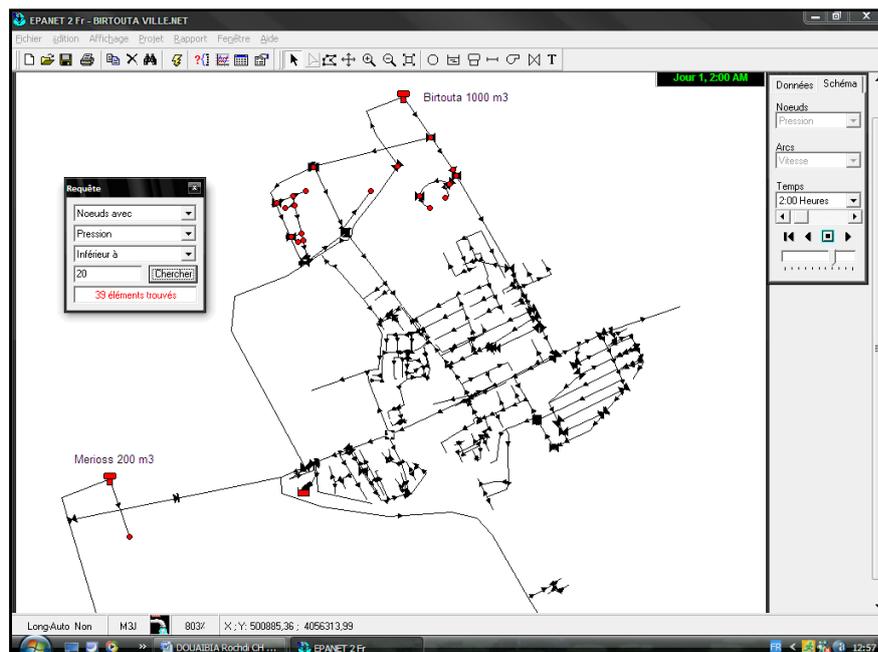


Figure V-25 : Pressions inférieures à 20 m (Heure creuse : 11 :00 h)

7. CONCLUSION

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

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

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

Conclusion Générale

Pour mener à bien notre travail et bien diagnostiquer le système d'alimentation en eau potable de l'étage de Birtouta, il a été nécessaire de bien comprendre l'architecture du système de distribution et bien analyser tous les ouvrages et les équipements hydrauliques constituant ce système.

D'après la comparaison que nous avons effectuée entre les ressources disponibles de l'étage de Birtouta et la demande en eau à l'horizon 2025, nous trouverons que les ressources sont nettement supérieures à la demande.

L'outil d'aide que nous avons utilisé pour détecter le dysfonctionnement du réseau de distribution est le logiciel Epanet.

Le modèle numérique de l'étage de Birtouta ville que nous avons élaboré peut constituer sous certaines contraintes, un outil d'aide au diagnostic de cet étage, et peut prévoir le comportement du réseau par exemple en cas de pannes sur les vannes ou la chute considérable de pression. Et cela à condition qu'il soit amélioré dans le futur proche. Cette amélioration doit être envisagée en prévoyant des campagnes d'investigation plus poussées et plus fines.

Les limites de notre modèle résident dans le fait que le calage effectué n'était pas performant, car un bon calage plus fin nécessite un nombre de données très important et fiables, ainsi qu'un temps plus long.

Le problème de la chute de pression que nous avons identifié et le manque d'eau, notamment dans la zone la plus basse de l'étage de Birtouta constitue - si le modèle est bien représentatif - un point noir pour le réseau que nous avons modélisé et pour tout le réseau d'Alger. Ce problème peut être partiellement éliminé en identifiant le positionnement des vannes tiercées, élimination des fuites, renouvellement les tronçons sous dimensionnés.

Bibliographie

Blindu I, (2004). « Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques ». Thèse doctorat en *sciences et génie de l'environnement*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet, 263p.

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

Nafi A, (2006). « La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable ». Thèse doctorat en *Sciences de Gestion* Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 239p.

Eisenbeis P, (1994). « Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable ». Thèse doctorat en *Génie de l'Environnement*, l'Université Louis Pasteur, Strasbourg. 210p

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

Water International Knowledge Transfer Initiative, « projet développer par la direction technique de Suez Environnement ».

ANNEXE 1

Listes des planches (forage F4 Saboun)

Corrosions et desquamations de fer en voie de décollement



Figure 1-1



Figure 1-2

Vue panoramique de déformation d'ordre centimétrique

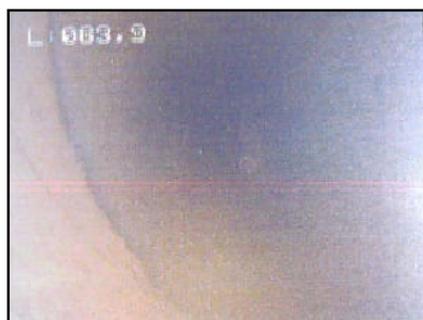


Figure 1-3

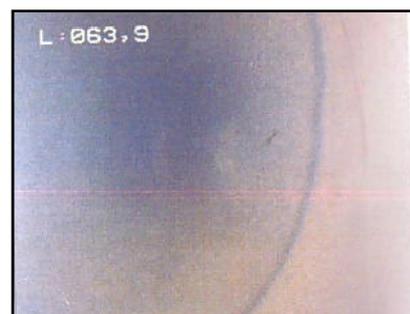


Figure 1-4

Colmatage des parois de tubage (crépine / plein)



Figure 1-5

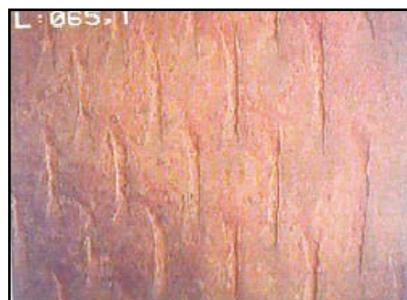


Figure 1-6

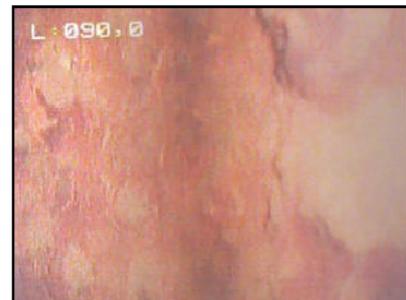


Figure 1-7

Déformation vers l'intérieur du forage (forage de F1 Meriouss)



Figure 1-8

Colmatage du tubage crépiné avec concrétions remarquables (F1 Meriouss)

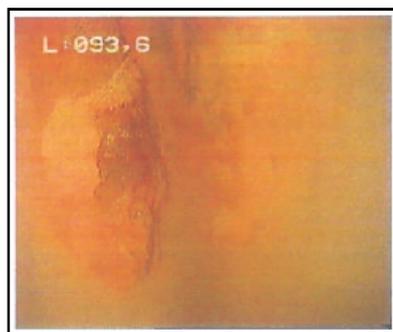


Figure 1-9 : Tube plein

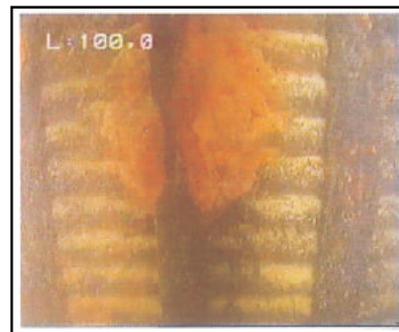


Figure 1-10 : Tube crépiné

ANNEXE 2

Evolution annuelles des débits des forages m³/h

Année 2006

Forage	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
F Roussi	/	14	8	8	10	10	20	18	18	17	21	10
F3 Garça	/	22	30	30	28	28	10	20	20	20	20	20
F1 Birtouta	/	4	5	6	6	6	39	46	46	46	46	46
F Sidi M'hamed	/	53	24	21	23	23	50	50	47	47	47	49
F5 Birtouta	/	46	46	46	46	46	46	40	40	40	40	40
F Ali Bouhadja	/	12	16	13	11	11	22	6	11	12	/	18
F1 Merious	/	/	/	/	/	/	95	95	95	95	95	95
F Baba Ali Zouine	/	8	10	10	11	11	30	30	30	30	30	30
F4 Haouch Saboune	/	/	30	30	30	30	30	/	60	60	60	60
F2 Baba Ali Douar	/	47	55	55	54	54	64	85	85	85	85	84

Année 2007

Forage	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
F Roussi	17	17	17	20	18	19	14	12	/	16	20	20
F3 Garça	20	20	/	/	20	20	/	20	20	20	20	20
F Sidi M'hamed	49	49	49	45	45	47	47	47	47	47	47	47
F5 Birtouta	40	40	40	51	51	51	51	51	51	51	51	51
F Ali Bouhadja	10	13	14	16	15	9	12	12	12	12	18	18
F1 Merious	81	78	/	/	90	90	90	90	90	90	90	90
F Baba Ali Zouine	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
F4 Haouch Saboune	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
F2 Baba Ali Douar	91	89	89	84	84	84	84	84	84	84	84	84

Annexe 2**Année 2008**

Forage	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
F Roussi	20	14	13	14	12	10	10	37	26	26	21	21
F3 Garça	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F Sidi M'hamed	47	48	45	43	45	41	41	41	41	41	41	41
F5 Birtouta	/	46	46	47	47	51	51	49	49	49	41	23
F Ali Bouhadja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1 Merious	90	90	86	87	87	87	83	83	83	83	56	67
F Baba Ali Zouine	30	30	29	31	30	31	31	31	31	31	30	30
F4 Haouch Saboune	60	42	44	45	44	44	44	44	44	44	40	40
F2 Baba Ali Douar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Année 2009

Forage	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai
F Roussi	21	21	21	21	21
F3 Garça	20	30	30	30	30
F Sidi M'hamed	41	41	41	41	41
F5 Birtouta	23	23	23	23	23
F Ali Bouhadja	18	18	18	18	18
F1 Merious	56	22	95	95	95
F Baba Ali Zouine	30	30	30	24	24
F4 Haouch Saboune	40	40	40	40	40
F2 Baba Ali Douar	0	0	0	0	0

ANNEXE 3

Fichier d'entrer au modèle Epanet

[TITLE]

[JUNCTIONS]

;ID Noeud Altitude Demande Base Courbe Modulation

[RESERVOIRS]

;ID Noeud Charge Tot Courbe Modulation

[TANKS]

;ID Noeud Altitude Niv Init Niv Min Niv Max Diamètre VolMin Courbe Vol

[PIPES]

;ID Arc Noeud1 Noeud2 Longueur Diamètre Rugosité PerSing État

[PUMPS]

;ID Arc NoeudAsp NoeudDéch Paramètres

[VALVES]

;ID Arc NoeudAmont NodeAval Diamètre Type Consigne PertSing

[TAGS]

[DEMANDS]

;ID Noeud Demande Base Courbe Modulation Catégorie

[STATUS]

;ID Arc État/Consigne

[PATTERNS]

;ID Modulation Multiplicateurs

[CURVES]

;ID Courbe Valeur X Valeur Y

[CONTROLS]

Annexe 3

[RULES]

[ENERGY]

Global Efficiency	75
Global Price	0
Demand Charge	0

[EMITTERS]

;ID Noeud	Coefficient
-----------	-------------

[QUALITY]

;ID Noeud	Qualité Initiale
-----------	------------------

[SOURCES]

;ID Noeud	Type	Qualité	Courbe Modul
-----------	------	---------	--------------

[REACTIONS]

;Type	Tuyau/Réservoir	Coefficient
-------	-----------------	-------------

[REACTIONS]

Order Bulk	1
Order Tank	1
Order Wall	1
Global Bulk	0
Global Wall	0
Limiting Potential	0
Roughness Correlation	0

[MIXING]

;ID Réservoir	Modèle	Fraction Mélange
---------------	--------	------------------

[TIMES]

Duration	0
Hydraulic Timestep	1:00
Quality Timestep	0:05
Pattern Timestep	1:00

Annexe 3

Pattern Start 0:00
Report Timestep 1:00
Report Start 0:00
Start ClockTime 12 am
Statistic None

[REPORT]

Status No
Summary No
Page 0

[OPTIONS]

Units CMH
Headloss D-W
Specific Gravity 1
Viscosity 1
Trials 40
Accuracy 0.001
Unbalanced Continue 10
Pattern 1
Demand Multiplier 1.0
Emitter Exponent 0.5
Quality None mg/l
Diffusivity 1
Tolerance 0.01

[COORDINATES]

;ID Noeud Coord X Coord Y

[VERTICES]

;ID Arc Coord X Coord Y

[LABELS]

;Coord X Coord Y Texte et Noeud d'Ancrage

[BACKDROP]

DIMENSIONS 0 0 10000 10000
UNITS None

Annexe 3

FILE

OFFSET 0 0

[END]

ANNEXE 4

Nous avons adopté un rendement de fuite égal à 40 %. Ainsi nous pouvons calculer le débit de fuite par la formule : $Q_{f u i} = 0,4 * Q_{r é e l}$

Le coefficient horaire de pointe représente la courbe de modulation pendant 24h qui a été calculée sur la base du débit réel. $C_h = Q_{c o n} / Q_{m o y}$

heures	Q réel m ³ /j	débit de fuites m ³ /j	Q consommation m ³ /j	C _h
1	2304	1629,96	674,04	0,31
2	2208	1629,96	578,04	0,27
3	2208	1629,96	578,04	0,27
4	2208	1629,96	578,04	0,27
5	2304	1629,96	674,04	0,31
6	2496	1629,96	866,04	0,40
7	2688	1629,96	1058,04	0,49
8	3360	1629,96	1730,04	0,80
9	4512	1629,96	2882,04	1,33
10	5856	1629,96	4226,04	1,95
11	5952	1629,96	4322,04	2,00
12	5760	1629,96	4130,04	1,91
13	5568	1629,96	3938,04	1,82
14	4800	1629,96	3170,04	1,46
15	4224	1629,96	2594,04	1,20
16	4032	1629,96	2402,04	1,11
17	4512	1629,96	2882,04	1,33
18	4128	1629,96	2498,04	1,15
19	4128	1629,96	2498,04	1,15
20	4512	1629,96	2882,04	1,33
21	4032	1629,96	2402,04	1,11
22	3648	1629,96	2018,04	0,93
23	3072	1629,96	1442,04	0,67
24	2592	1629,96	962,04	0,44

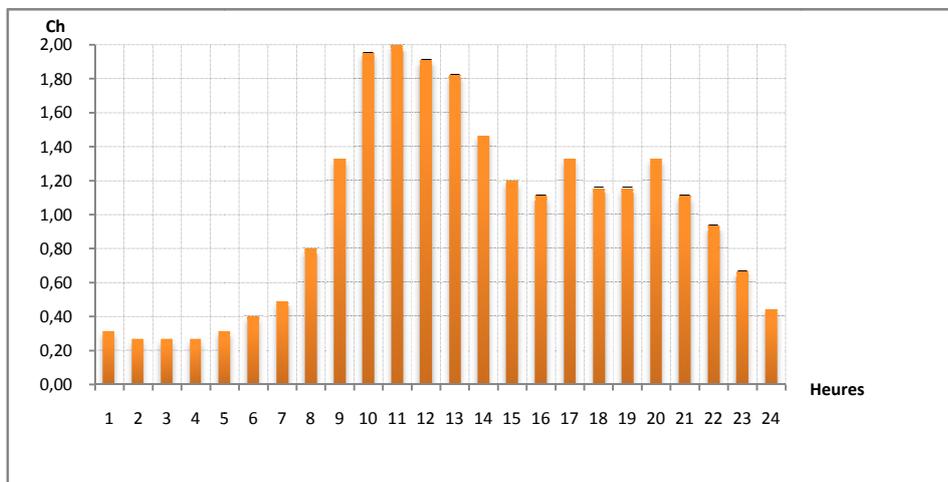


Figure 4 : le coefficient de pointe horaire

ANNEXE 5

La campagne de mesure

Les figures ci-dessous montrent les résultats de campagne de mesures.

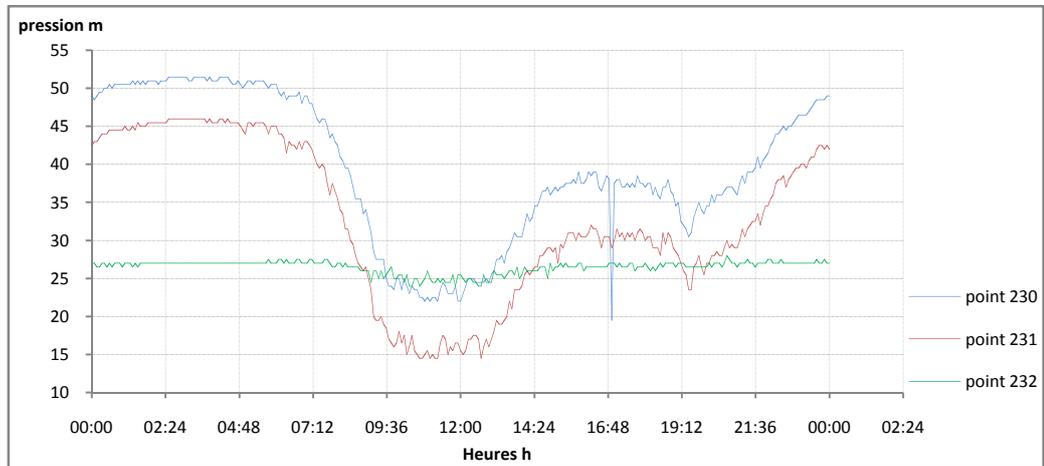


Figure 5.1 : Les pressions mesurées aux points 230 ; 231 ; 232

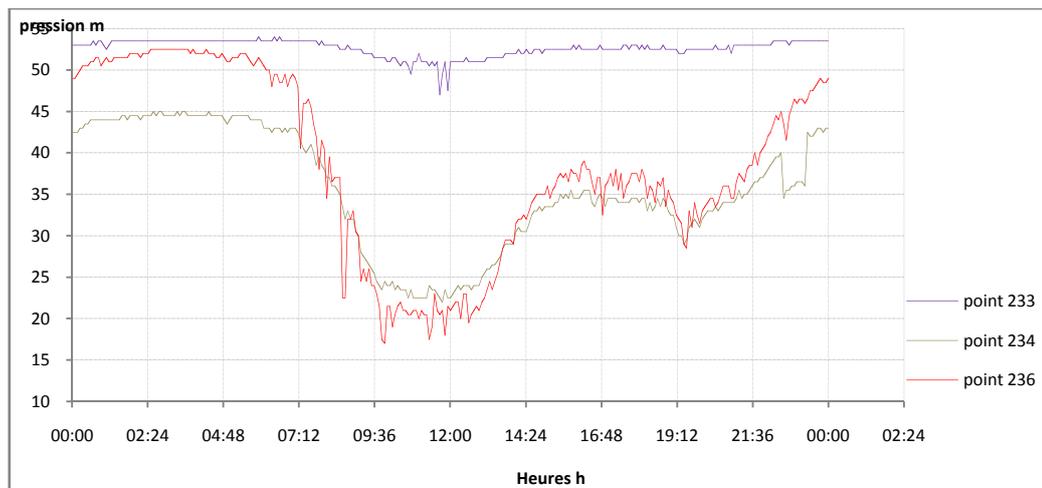


Figure 5.2 : Les pressions mesurées aux points 233 ; 234 ; 236

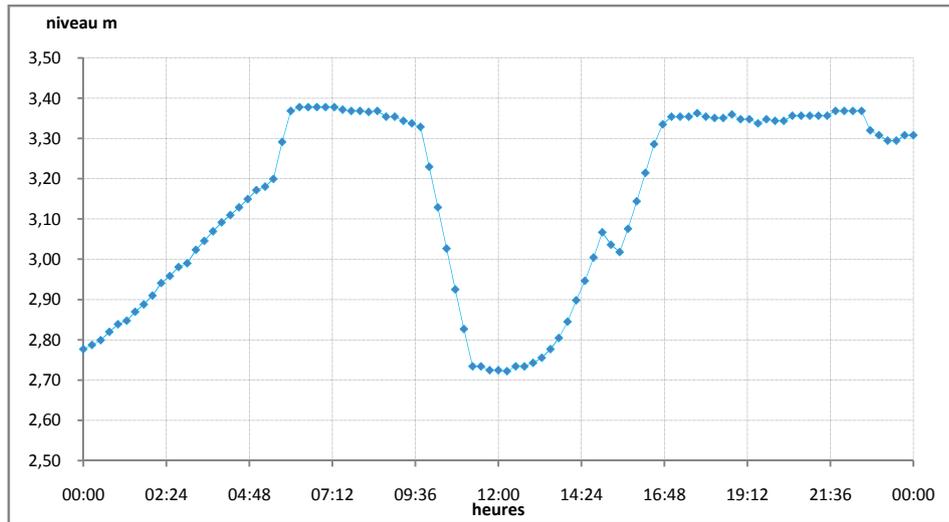


Figure 5.3 : Marnage de réservoir Birtouta 100 m³

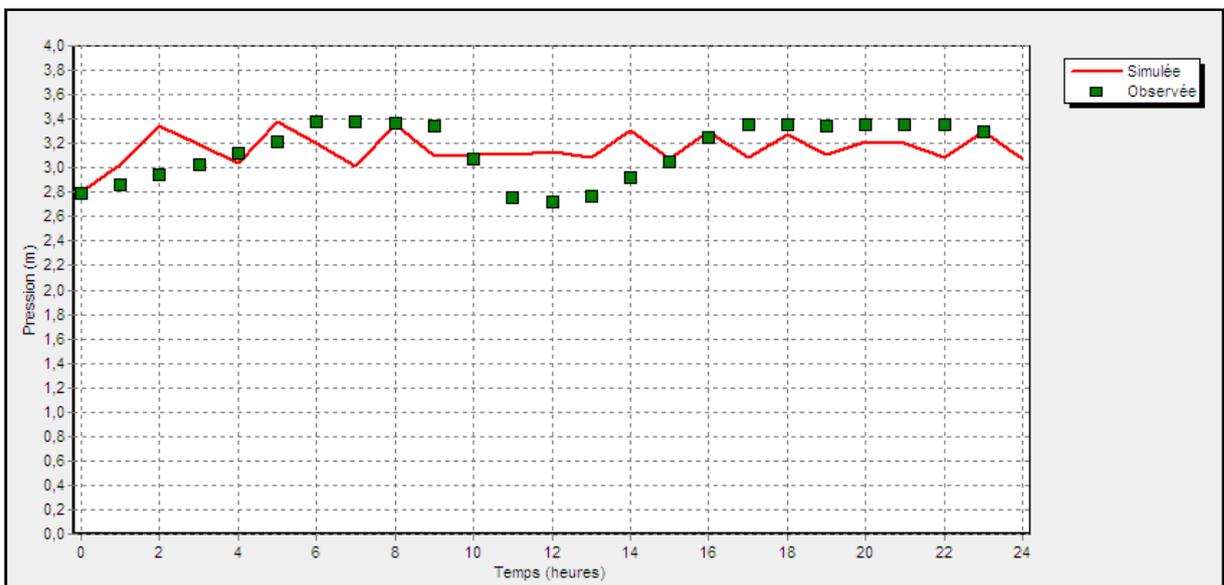


Figure 5.4 : Niveau d'eau dans le réservoir Birtouta 1000 m³