

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Sig et télégestion dans la gestion des réseaux d'eau potable
cas de la ville d'Ain Taya (w.Alger) .**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0022-17

APA Citation (APA توثيق):

**Kechnit, Djamel (2017). Sig et télégestion dans la gestion des réseaux d'eau potable
cas de la ville d'Ain Taya (w.Alger)[Mem Ing, ENSH].**

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : conception des systèmes d'alimentation en eau potable

THEME

**SIG ET TELEGESTION DANS LA GESTION DES RESEAUX
D'EAU POTABLE (CAS DE LA VILLE D'AIN TAYA.W.ALGER)**

Présenté Par :

Mr Kechnit Djamel

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms	Grade	Qualité
M ^{me} H.MEDDI	M.C.A	Présidente
M ^r A.HACHEMI	M.C.B	Examineur
M ^r Y.DERNOUNI	M.A.A	Examineur
M ^{me} C.SALHI	M.A.A	Examinatrice
M ^r A.AMMARI	MCCBB	Promoteur

Session - 2017 H.U.

Remerciements

*Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à **M^r Ammari Abd elhadi** pour m'avoir encadré. Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont guidé dans la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.*

*Je tiens également à remercier les membres de jury, monsieur **HACHEMI**, monsieur **DERNOUNI** et madame **SALHI** de ENSH -Blida pour le temps consacré à l'évaluation du présent document*

*De même je tiens à remercier **M^r Boucherit Ali** enseignant à l'université de USTHB et **M^r kasmi Amirouch** de bureau d'étude SARL CARTA d'avoir m'aidé dans la conception de la partie SIG*

*Mes remerciements vont également à **Yacine** chef service département SIG de la SEAAL et **Bougezine Nabile** pour avoir mis à ma disposition toutes les données nécessaires utilisées dans cette étude*

Enfin, un vif remerciement pour toutes les personnes ayant idées de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire et dont le nom n'a pas été cité, qu'ils ne nous en tiennent pas rigueur

ملخص

هذا العمل يندرج في مشكلة تصميم نظم المعلومات الجغرافية لإدارة شبكات توزيع مياه الصالحة لشرب. والهدف هو خلق نظام ديناميكي جغرافي الذي يمكننا من خلاله توقع مقاربة الخصائص كسرعة التدفق او الضغط وكذلك ادارتها من خلال نظام التحكم عن بعد. وعليه، تم اختيار مدينة عين طاية كنطاق لهذه الدراسة. وتستند المنهجية المستخدمة في تطوير هذه المنصة إلى محورين رئيسيين: (1) هيكلة قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافية الذي يتيح لنا الانتقال إلى نماذج المحاكاة (2) تصميم النموذج الهيدروليكي ومعايرته من خلال من التدابير والمقاييس الفعلية.

ان اقتران وظائف نظم المعلومات الجغرافية مع أنظمة المحاكاة الهيدروليكية وأنظمة التحكم عن بعد يسمح لنا بتصميم نموذج هيدروليكي مشابه للتغيرات الحادثة على مستوى شبكات توزيع المياه والذي يمكن اعتباره أداة تساعد على صنع القرار في إدارة او التدخل في حالة وجود مشاكل تقنية في تلك الشبكة.

كلمات مفاتيح: نظم المعلومات الجغرافية - نظام التحكم عن بعد - نماذج المحاكاة - نموذج هيدروليكي

Résumé :

Ce travail s'inscrit dans la problématique de la conception d'un SIG de gestion pour les réseaux de distribution d'eau potable, l'objectif c'est de créer un SIG dynamique pour lequel on peut lancer des simulations hydrauliques ainsi que le Contrôle à distance du réseau à travers un système de télégestion. A cet égard la ville d'Ain Taya a été retenue comme champs d'application de cette étude. La méthodologie suivie pour l'élaboration de cette plateforme est basée sur deux axes majeurs : (i) la structure de la base de donnée SIG qui permette le passage vers les modèles de simulation (ii) la conception du modèle hydraulique et le calage à travers des mesures réels. En effet le couplage des fonctionnalités SIG avec les simulations hydrauliques et les systèmes de télégestion nous permettons de faire le développement d'un modèle hydraulique qui peut être considéré comme un outil qui aide à la prise de décision dans le cadre de la gestion des réseaux de distribution d'eaux potable.

Mots clé : Management, SIG – simulation hydraulique – base de données –calage – télégestion

Abstract:

This work is part of a water supply networks management using GIS tools combining with hydraulic calculation models , the objective is to create a dynamic GIS which we can launch hydraulic simulations and the control of the network through a tele-management , in this order; the city of Ain Taya was chosen as the scope of this study . The methodology used for the development of this platform based on two major axes: (i) the structure of the GIS database, which allows the transition to the simulation models (ii) the design of the hydraulic model and the calibration through of actual measures. The coupling of GIS functionality with hydraulic simulations and telecommunication systems allows us to develop a hydraulic model that can considered as a decision-making tool in management of water supply networks.

Keywords: Management, GIS - hydraulic simulations - hydraulic model- calibration

Table des matières

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	11
Introduction :	12
1.1 Situation géographique	12
1.2 Caractéristique physique et naturelle	13
1.2.1 Climat :	13
1.2.2 Reliefs et hydrographie :	13
1.3 Urbanisme et démographie :	13
1.4 Situation hydraulique de la ville :	13
1.4.1 Source d'alimentation :	13
1.4.2 Réseau d'adduction :	14
1.4.3 Réseau de distribution de la ville d'Ain Taya :	15
1.4.3.1 Structures du réseau :	15
1.4.3.2 Les étages d'alimentation :	15
1.4.3.3 Sectorisations :	15
1.4.3.4 L'état physique du réseau :	16
1.4.3.5 Matériaux utilisés dans le réseau d'Ain Taya	16
1.5 Conclusion :	17
CHAPITRE 2 : CONCEPTION DE LA BASE DE DONNES SIG	18
Introduction :	19
2.1. Généralité sur les systèmes d'information géographique (SIG) :	19
2.1.1 Définition :	19
2.1.2 Mode de représentation des données géographiques :	20
2.1.3 Fonctionnalités du SIG :	21
2.2. Analyse de la base de données SIG actuelle de la SEAAL :	22
2.2.1 Démarches de création :	22
2.2.2 Structure de la base de données actuelle (SEAAL) :	23
2.3 Ajustement de la base de données SIG :	25
2.3.1 Correction de la topologie	25
2.3.2 Correction de la connectivité des traçons :	26
2.4 Le passage de SIG vers le logiciel de simulation :	27
2.4.1 Présentation d'un outil de simulation :	27
2.4.2 Lien SIG vers l'outil de simulation :	27
2.4.3 Génération d'un fichier inp :	31

2.5 Conclusion	32
CHAPITRE 3 : SIMULATION HYDRAULIQUE DE L'ETAGE D'ENGLADE	33
Introduction :	34
3.1 Simulation dans le cas réel :	34
3.1.1 Les hypothèses :	34
3.1.2 Le régime de consommation des abonnés :.....	36
3.1.2.1 la courbe de distribution du réservoir d'Englade	36
3.1.2.2 Détermination du débit maximum journalier distribué et consommé :.....	38
3.1.2.3 Régime de consommation des abonnés	39
3.1.3 Détermination de débit aux nœuds :.....	41
3.1.3.1 Division de la ville en zones de consommations :.....	41
3.1.3.4 Calcule du débit moyen journalier dans les nœuds de demandes	46
3.1.4 Simulation sur les 24h :.....	49
3.1.4.1 Courbe de modulation de l'agglomération :.....	49
3.1.4.2 Régime de pompage :.....	51
3.4.1.3 Interprétation des résultats après la simulation :	52
3.2 Simulation cas idéal	54
3.2.1 Estimation des besoins :	54
3.2.1.1 consommations moyennes journalières domestiques :.....	54
3.2.1.2 Consommations moyennes journalières d'autres usagers	54
3.2.1.4 le débit maximum journalière :.....	55
3.2.2 Régime de consommation :	56
3.2.3 Calcule du débit aux nœuds :.....	58
3.2.4 Simulation sur les 24h :.....	58
3.2.5 Interprétation des résultats après la simulation :	60
3.3 Conclusion :	63
CHAPITRE 4 :CALAGE ET MODULATION DE PRESSION POUR L'ETAGE D'ENGLADE	64
Introduction :	65
4.1 Principe du calage d'un model hydraulique :	65
4.2 Procédure du calage pour l'étage d'Englade :	65
4.2.1 Les points de mesures :.....	65
4.2.2 Introduire les données de mesures au model hydraulique :.....	67
4.2.3 Rapport de calage	68
4.3 Problème de pression pour le secteur des falaises :	73

4.3.1 Vannes de réduction de pression :.....	73
4.3.1.1 Définition :.....	73
4.3.1.2 types des vannes fournies par l’outil de simulation Epanet :.....	73
4.3.2 Interprétation des résultats :.....	75
4.4 Conclusion.....	77
CHAPITRE 5 : CONCEPTION D’UN SYSTEME DE TELEGESTION.....	78
5.1 Présentation d’un système de télégestion :.....	79
5.1.1 Définition :.....	79
5.1.2 Les ouvrages reliés à la télégestion dans les réseaux d’eau potable :.....	79
5.1.3 Les apports de la télégestion dans les réseaux d’eau potable :.....	80
5.2 Télégestion dans la production d’eau potable :.....	80
5.3 Télégestion dans les réseaux de distribution :.....	81
5.3.1 Les regards de comptage pour chaque secteur :.....	81
5.3.2 Compteurs clients (gros consommateurs) :.....	81
5.4 Structure d’un système de télégestion :.....	82
5.4.1. Présentation d’un système SCADA :.....	82
5.4.2 Les équipements de la télégestion :.....	83
5.4.2.1 Les postes locaux de la télégestion (RTU et Data loggers) :.....	83
5.4.2.2 Les postes centraux de la télégestion (SCADA) :.....	83
5.4.3 Réseau de communication dans les systèmes de télégestion :.....	83
5.4.4 Interface homme - machine :.....	83
5.5. Système de télégestion cas de l’étage d’Englade (ville d’Ain Taya) :.....	84
5.5.1 contrôle du niveau d’eau dans le réservoir d’Englade :.....	84
5.5.2 mesure de débit et pression dans le réseau :.....	84
5.6. Les réseaux d’eaux intelligents :.....	86
5.7 Conclusion :.....	88

LISTES DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

Tableau 1 : les secteurs d'alimentation de la ville d'Ain Taya.....	15
Tableau 2: matériaux utilisé dans le réseau d'ENGLADE	16

CHAPITRE 2

Tableau 3: les règles topologiques pour les réseaux d'eau potable	26
Tableau 4: les valeurs de la rugosité en fonction de type de matériaux	28

CHAPITRE 3

Tableau 5: variation de débit de distribution sur les 24h.....	39
Tableau 6: récapitulation des valeurs des différents débits	39
Tableau 7: régime de consommation des abonnés	40
Tableau 8: population de la ville d'Ain Taya 2017	42
Tableau 9: les zones de consommation en fonction de nombre d'habitants	42
Tableau 10: résultats de superposition de la carte des zones de consommation avec la couche des abonnés.....	43
Tableau 11: détermination de la demande en eau dans les nœuds	48
Tableau 12 : coefficient de la courbe de modulation	50
Tableau 13 : coefficient de la courbe de modulation de pompage	51
Tableau 14: dotation en fonction du nombre d'abonnés	54
Tableau 15: récapitulation des besoins en eau de la ville d'Ain Taya.....	55
Tableau 16: régime de consommation théorique en fonction du nombre d'habitant.....	56
Tableau 17: coefficient de la courbe de modulation pour le cas idéal	59

CHAPITRE 4

Tableau 18: mesures de pression sur les 24h pour les 05 points de mesures	67
Tableau 19: rapport de calage Epanet	68
Tableau 20: rapport de calage (Epanet) après modification.....	70
Tableau 21: caractéristiques des vannes de réduction de pression.....	75

CHAPITRE 5

Tableau 22: les regards de comptages pour l'étages d'Englade.....	85
---	----

Listes des figures

CHAPITRE 1

Figure 1 : délimitation de la zone d'étude	12
Figure 2 : adduction de la ville projetée sur une image satellitaire non traité	14

CHAPITRE 2

Figure 3: mode de présentation des données spatiales	20
Figure 4: fonctionnalités des systèmes d'information géographiques (M.chikh.2013)	21
Figure 5: problème de topologie	24
Figure 6: problème de connectivité des traçons	24
Figure 7: exemple d'un model numérique de terrain en mode raster	29
Figure 8: superposition du MNT avec les nœuds du réseau dans une interface arc gis	30
Figure 9: organigramme du processus de génération d'un fichier INP	31

CHAPITRE 3

Figure 10: régime de distribution de la ville d 'Ain Taya (BDLT).....	37
Figure 11 : diagramme de consommation réel de la ville d 'Ain Taya.....	41
Figure 12 :Catre de la délimitation des zones de consommation	44
Figure 13 : Catre de la superposition des abonnés avec les zones de consommation	45
Figure 14: découpage a travers les polygones de Thiessen.....	47
Figure 15 : capture d'écran : courbe de modulation de l'agglomération d' Ain Taya	50
Figure 16: capture d'écran : courbe de modulation de pompage	52
Figure 17 : capture d'écran : profile de pression pour les nœuds dans le secteur des falaises	53
Figure 18: capture d'écran : courbe de distribution de pression instantanée (13:00h) pour l'étage d 'Englade	53
Figure 19: histogramme de consommation de la ville d 'Ain Taya	57
Figure 20: courbe de consommation cumulée	57
Figure 21 : capture d'écran : courbe de modulation (EPANET).....	60
Figure 22: capture d'écran : profiles de pression sur les 24h (secteurs des falaises)	61
Figure 23: capture d 'écran: courbe de distribution de pression pour l'étage d 'Englade.....	62

CHAPITRE 4

Figure 24: les 05 points de mesures pour l'étage d 'Englade	66
Figure 25: structure d'un fichier de calage	68
Figure 26: profile de pression dans le point de mesure 361	69

Figure 27 : profile de pression point de mesure 360	69
Figure 28 : profile de pression point de mesure 362	69
Figure 29: capture d'écran : diagramme de corrélation pour les pressions	71
Figure 30: capture d'écran : comparaison des valeurs moyennes pour les pressions	71
Figure 32 : profile de pression après calage point de mesure 361	72
Figure 31 : profile de pression après calage 361	72
Figure 33: profile de pression après calage point de mesure 364	73
Figure 34 : réducteur de pression	75
Figure 35: profile de pression après l'installation des vannes	76
Figure 36: capture d'écran: courbe de distributions de pression après l'installation des vannes	76

CHAPITRE 5

Figure 37: système SCADA typique	82
Figure 38: système d'adduction contrôlé avec un système de télégestion	84
Figure 39 : débitmètre à ultrason	85
Figure 40: débitmètre électromagnétique	85

Listes des annexes

Annexe (A) : les coefficients de la consommation horaires	93
Annexe (B) : calcul des débits aux nœuds cas de simulation réel	9

Introduction général

Au cours des précédentes décennies, les collectivités organisatrices des services d'eau ont progressivement réalisé les ouvrages d'adduction et de desserte en eau potable. C'est aujourd'hui un service public essentiel pour le confort des logements, et bien évidemment pour répondre aux besoins fondamentaux d'alimentation et contribuer à la protection de la santé. Le réseau permet l'accès à l'eau pour les personnes mais c'est également un service essentiel pour les activités économiques, agricoles ou industrielles.

Les services de distribution d'eau potable nécessitent des outils qui facilitent la gestion des réseaux tels que les modèles hydrauliques, les systèmes d'informations géographiques et les systèmes de télégestions. Toutes fois la question qui se pose est : est-ce qu'on peut coupler les trois systèmes dans une seule interface numérique ? Quel est l'apport dans la gestion des réseaux d'eaux potable ? Est-ce que la structure de la base de données actuelle le permet ?

L'objectif de cette étude est de créer la structure de base pour la conception d'un SIG de gestion dynamique, sur lequel on peut lancer des simulations hydrauliques, ainsi qu'installer un système de télégestion pour visualiser la variation des paramètres hydrauliques au temps réel et enregistrement des données comme la variation de débits et pression dans les secteurs d'alimentation

La ville d'Ain Taya est prise comme un champ d'application de cette étude. Elle représente un cas idéal d'étude. Bien que la ville soit alimentée par un seul réservoir donc on peut la délimiter du point de vue alimentation. Ainsi que les abonnés de la ville d'Ain Taya subit d problème de forte pression surtout dans le secteur des falaises ou la pression est autour de 6 à 7 bars

La méthodologie suivie dans cette étude est basée sur l'analyse de la base de données actuel de SEAAL, et définir les paramètres d'entré dans le SIG pour les charger par la suite au modèle de simulation hydraulique

Afin de pouvoir mener à bien ce travail, cette étude est structurée comme suit :

- Une étude sur la conception et l'ajustement de la base de données SIG actuel de la SEAAL pour permettre le passage vers les modèles de simulation hydraulique
- Une étude comparative entre deux scénarios possibles d'étude pour les simulations hydrauliques
- La méthodologie de la calibration d'un modèle hydraulique à travers des mesures réelles
- L'apport d'un système de télégestion pour les réseaux de distribution d'eau potables dans le cadre de gestion

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE 1 : présentation de la zone d'étude

Introduction :

Dans le cadre de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable, les caractéristiques de la ville est nécessaire pour faire un diagnostic des réseaux de distribution et analyser les problèmes techniques afin de proposer des solutions adéquates pour assurer un fonctionnement optimal d'un réseau de distribution. Donc il convient de ressortir ces caractéristiques avant d'entamer l'étude de projet.

1.1 Situation géographique

La commune d'Ain Taya est l'objet de cette étude, se situe sur la bande côtière algérienne à 27 Km nord d'Alger, faite partie des communes côtières régie par la loi relative à la protection et valorisation du littoral.

Cette commune est limité par :

Au nord : par la mère méditerranéenne.

L'est : la ville de Hraoua et le foret de Réghaia

Sud : la ville de Rouïba

L'ouest : la ville de Bordj elbahri et le foret de Ain Taya



Figure 1 : extrait de la carte de délimitation de la ville d'Ain Taya .w.Alger

CHAPITRE 1 : présentation de la zone d'étude

1.2 Caractéristique physique et naturelle

1.2.1 Climat :

La ville d'Ain Taya bénéficie d'un climat tempéré chaud, l'hiver est caractérisé par des précipitations bien plus importantes qu'en été, ils tombent au moyenne 708 mm de pluie /an

(ANRH 2007)

La température moyenne de la région est de 14.5 C, notons que le mois le plus chaud celui de Aout, et le mois le plus froids est celui de janvier

1.2.2 Reliefs et hydrographie :

Ain Taya est construite en bordure d'une falaise escarpée au pied de laquelle s'étend une plage de sable fin, adossées à la mer méditerranée, elle fait face à l'innombrable îlot dont le rocher d'Aguilli (dit BOUNTAH) et le rocher de la bordelaise.

Elle a été fondée sur l'emplacement d'un marécage alimenté par différents sources on compte principalement quatre sources principale :

- ✓ La source des oiseaux (Ain Tir)
- ✓ La source de Suffren (Ain baydha)
- ✓ La source de Surcouf (Ain cherb)
- ✓ La source publique (Ain El Baylek)

1.3 Urbanisme et démographie :

Selon les résultats préliminaires de RGPH (recensement générale de population et de l'habitat) la population totale de la ville d'Ain Taya est de l'ordre de **34501** hab répartie sur une superficie de **8.71** Km² ce qui nous donne une densité de 3961hab / km² .

Le taux d'accroissement dans cette ville égale à 1.75%

1.4 Situation hydraulique de la ville :

1.4.1 Source d'alimentation :

La ville d'Ain Taya est alimentée principalement par la station de traitement de la ville BOUDAOUA, historiquement, la plus importante infrastructure de production des eaux conventionnelles alimentant pratiquement toutes la zone Est de la capitale.

Elle fait partie du système SPIK (**Système de Production ISSER KADARRA**) et est alimentée à partir du barrage de Keddara (capacité 142 Millions m³), lui-même principalement alimenté par pompage depuis le barrage de Beni Amrane (capacité 12 Millions m³), approvisionné par l'oued Isser et, en dépannage, par délestage du barrage de Koudiat Accerdoune (capacité 640 Millions m³).

La station de Boudouaou produit environ de 300 000 m³ par jour avec une marge de manœuvre importante, puisque sa capacité de production peut atteindre, en cas de

CHAPITRE 1 : présentation de la zone d'étude

besoin, 540 000 m³/j, soit environ la moitié des besoins globaux en eau potable de la Capitale. Elle est dotée d'une capacité de stockage de 150 000 m³. Le traitement de l'eau est opéré grâce à une série d'étapes successives, un processus complexe garantissant une eau de qualité répondant rigoureusement aux normes de potabilité algériennes. Une particularité : l'unité de traitement au charbon actif qui permet de garantir la qualité organoleptique de l'eau en traitant efficacement les goûts observés sporadiquement sur l'eau brute, lorsque des micro-algues se développent, en période estivale, dans le barrage de Keddara.

1.4.2 Réseau d'adduction :

La ville de Ain Taya est alimentée gravitairement par le complexe de ENGLADE qui comporte un château d'eau avec une capacité de 1500 m³ et deux réservoirs de 2000 m³. Le complexe lui-même est alimenté par refoulement à partir de :

- ✓ Complexe de Réghaia nord (CE 1500 + 2*RV 5000) avec un diamètre nominale de DN 600 en fonte ductile
- ✓ Le site de BOUREAH avec un diamètre de DN 500 en fonte ductile



Figure 2 : adduction de la ville projetée sur une image satellitaire non traité

1.4.3 Réseau de distribution de la ville d'Ain Taya :

1.4.3.1 Structures du réseau :

Le type de réseau est maillé avec des ramifications dans le réseau secondaire, cette structure est faite à cause de la répartition non uniforme de l'agglomération et l'existence des terrains agricole qui nous donnent une structure d'un réseau ramifié

1.4.3.2 Les étages d'alimentation :

Dans le cadre de projet des ENF (les eaux non facturés) et pour minimiser les fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable, chaque ville est divisée en N étage d'alimentation

Remarque :

Dans le cas d'existence de plusieurs sources d'alimentation, un seul étage désigne la partie alimenté par une seule source d'alimentation.

Pour le cas de la ville d'Ain Taya on a un seul étage d'alimentation, est celui d'ENGLADE.

1.4.3.3 Sectorisations :

La sectorisation d'un réseau consiste à le décomposer en un ou plusieurs sous réseaux pour lesquels les volumes mis en distribution sont mesurés en permanence ou de façon temporaire.

L'étage d'ENGLADE est divisé en secteur, le tableau suivant montre les caractéristiques de chaque secteur :

Tableau 1 : les secteurs d'alimentation de la ville d'Ain Taya

Secteur	Nom de secteur	Longueur (ml)	Etage d'alimentation
SS1	Domaine chamouni	17020	Englade
SS2	Centre-ville	4892	Englade
SS3	Les falaises	13874	Englade
SS4	L'arbi Abdeslam	11211	Englade
SS5	Hai Rmel	7405	Englade
SS6	Si haouass	3710	Si haouass

(Base de données SIG- SEAAL 2017)

Remarque :

Le SS6 appartient à l'étage de distribution de si haouass, mais le château d'eau de cette zone n'est pas opérationnel donc la cité de si Haouass est alimenté par le château d'eaux d'Englade, ce qui explique l'existence de secteur dans l'étage

1.4.3.4 L'état physique du réseau :

Le réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Ain Taya est caractérisé par une distribution uniforme est régulière, sans prendre en compte les extensions ayant lieu dans la commune, mais il a été constaté qu'il existe des problèmes

- ❖ La vétusté des conduites sachant que la majorité du réseau est en fonte ductile
- ❖ Le problème des fuites visibles dans le secteur de Si Haouass.

La majorité des branchements des abonnés étaient considérée comme des branchements illicites, après la régularisation de ces derniers, la SEAAL a installé des compteurs mais ils n'ont pas vérifié les diamètres projetés (réseau secondaire).

Le réseau était dimensionné par les habitants, juste après la régularisation le problème des fuites visibles sont remarquée souvent dans ce secteur.

Donc on considéré que le secteur de si Haouass est un réseau sous dimensionné qui doit être renouveler et projeté à travers une étude hydraulique

- ❖ Le problème des fuites dans les réseaux verticaux des bâtiments dans le secteur des falaises
- ❖ Le problème de surpression dans le secteur des falaises : le secteur des falaises se trouve juste à côté de la plage d'Ain Taya, donc la cote géométrique varie entre 15 à 20 mètre
La différence de la cote entre les points dans le secteur des falaises et le réservoir d'Englade génère une pression qui varie entre 5 à 6 bars
- ❖ Le réservoir d'Englade ne suffit pas pour alimenter les extensions futures surtout dans les saisons estivales

1.4.3.5 Matériaux utilisés dans le réseau d'Ain Taya

La plus part des conduites dans le réseau d'Ain Taya est en fonte ductile, avec du PEHD utiliser beaucoup plus dans les branchements, le tableau ci-dessous montres les matériaux utiliser pour le réseau d'Englade :

Tableau 2: matériaux utilisé dans le réseau d'ENGLADE

Matériaux	Abréviation	Pourcentage
Acier	AC	2.44 %
Acier galvanisé	AG	7.43%
Fonte ductile	FD	53.25 %
Fonte gris	FG	2.34 %
Polyéthylène Haute Densité	PEHD	28.41 %
Amiante de ciment	AMC	5.90 %
Polychlorure de Vinyle	PVC	0.23 %

(SEAAL base de données SIG, 2017)

CHAPITRE 1 : présentation de la zone d'étude

1.5 Conclusion :

Les données de base permettant de la connaissance de la zone d'études dans des différents contextes, ci- mentionnées et leurs interprétations permettant de détecter l'éventuelle anomalie qui existe dans le réseau de distribution de la zone considérer pour remédier toutes les problèmes de façon technique dans un cadre hydraulique .

Nous allons donc voir dans le chapitre qui se suit comment préparer une base de données SIG pour lancer des simulations hydrauliques et comment charger les données à partir d'un système d'information géographique vers un modèle hydraulique

CHAPITRE 2 : CONCEPTION DE LA BASE DE DONNES SIG

Introduction :

La conception des SIG dédiés au métier ou autrement dit les SIG de gestion est très importante pour la gestion des réseaux d'eau potable, savoir le comportement et la variation des paramètres hydrauliques va nous aider à prendre les bonnes décisions pour résoudre les problèmes techniques.

Afin d'effectuer des simulations hydrauliques à partir des données SIG au sein d'Epanet, une structure des données doit être respectée pour assurer le passage, l'objet de ce chapitre c'est de créer cette structure et établir le lien avec les logiciels de simulation hydrauliques.

2.1. Généralité sur les systèmes d'information géographique (SIG) :

2.1.1 Définition :

Un système d'information géographique (SIG) est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir extraire commodément des synthèses utiles à la prise de décision.

Un (SIG) est un système d'informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace (ABDELBAKI, 2014).

Une autre définition plus simple, un SIG est une base de données informatique couplée à un volet spatial. L'utilisateur se trouve donc face à deux ensembles de données, la table dite « attributive », et la fenêtre de la carte :

- ❖ la table est un simple tableau, avec des lignes (correspondant aux objets étudiés) et des colonnes (appelées champs ou attributs, qui servent à décrire les objets).
- ❖ la carte contient les données dites géométriques ou géographiques, qui sont soit « vectorielles » (des points, lignes ou polygones, que l'utilisateur peut tracer lui-même) ou raster (images composées de pixels, comme un ancien plan qu'on a scanné ou une photo aérienne). (NOIZET, 2015)

Les systèmes d'information géographique se disposent des deux caractéristiques principales :

- ❖ ils permettent de relier automatiquement les données attributaires et la géométrie, par exemple : chaque ligne dans la table correspondante à un objet dessiné sur la carte. Dans le cas où un objet est sélectionné dans la carte la ligne concernée dans la table est aussitôt sélectionnée.
- ❖ le géoréférencement des données géométriques qui sont ainsi localisées à la surface du globe terrestre par un système de coordonnées, cela permet de croiser plusieurs données dans le même espace, les données se superposent automatiquement dans la carte.

2.1.2 Mode de représentation des données géographiques :

Il existe deux modes de représentations de l'information géographique :

1. mode raster
2. le mode vecteur

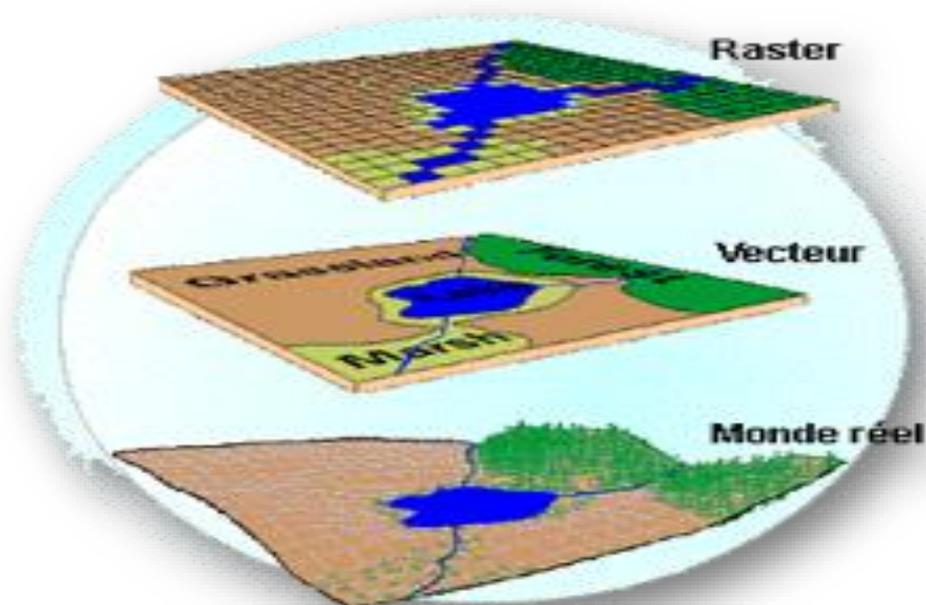


Figure 3: mode de présentation des données spatiales

- mode vecteur : les informations sont regroupées sous la forme des coordonnées X, Y, les objets de type ponctuels sont représentés par un point. Les objets linéaires sont représentés par une succession de coordonnées X, Y, les objets polygonaux (parcelle, territoire géographique) sont représentés par une succession des coordonnées X, Y délimitant une surface fermée
Le mode vecteur est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes
- le mode raster : il est constitué d'une matrice de points qui peuvent tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues.

Un SIG moderne se doit d'exploiter simultanément des données raster et vecteur

N.B :

Dans le mode vecteur, il faut prendre en considération l'échelle du travail, une ville peut être représenté par un seul point dans une échelle, comme elle peut être représenté par un polygone dans une autre échelle, donc la représentation vecteur des données dépend de seuil de zoom et de la précision demandé

2.1.3 Fonctionnalités du SIG :

Le SIG offre cinq fonctionnalités, plus connues sous le terme des «5A» (Abstraction, Archivage, Analyse, Affichage et Acquisition), voir figure ci-dessous :

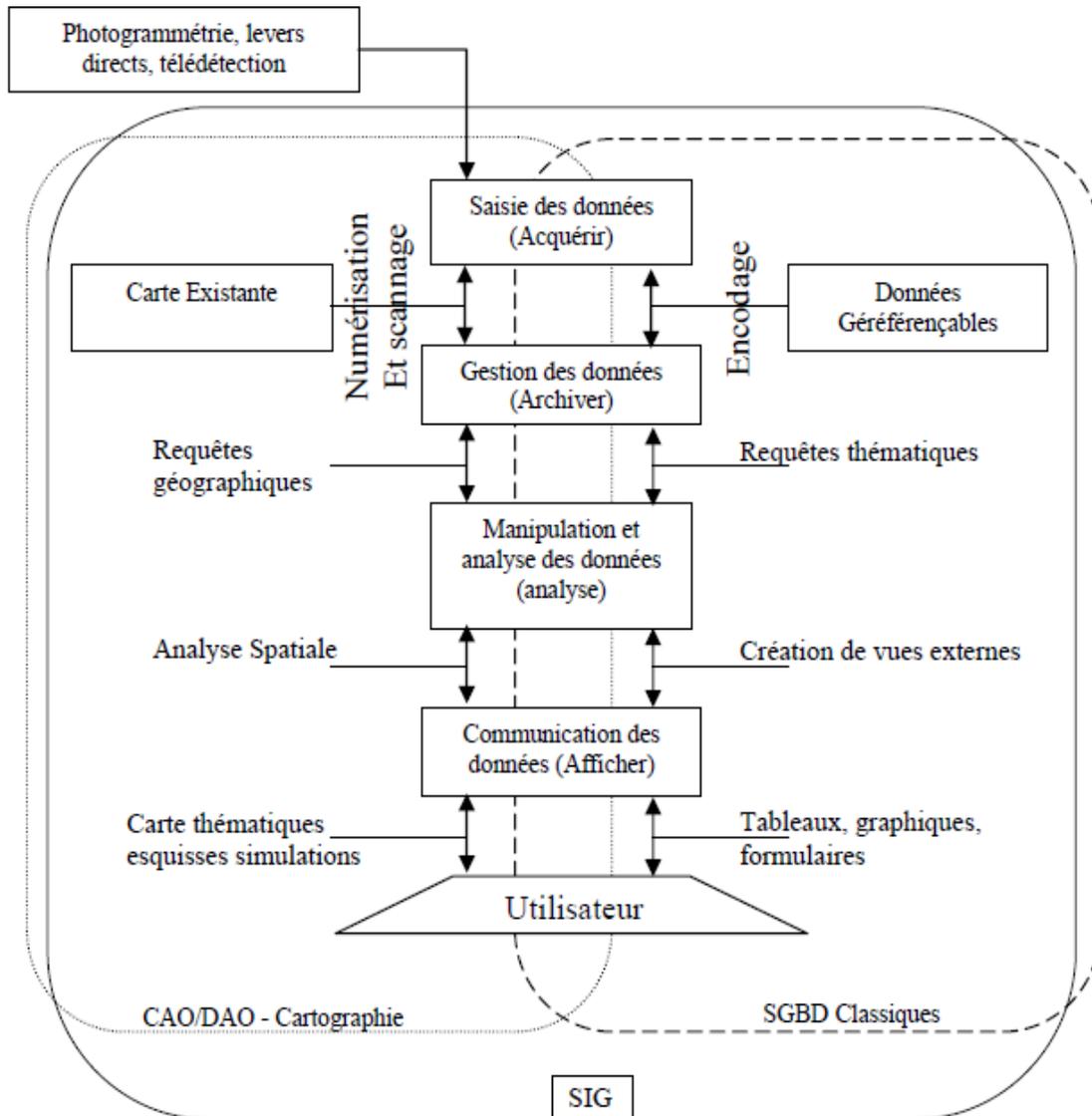


Figure 4: fonctionnalités des systèmes d'information géographiques (M.chikh.2013)

2.2. Analyse de la base de données SIG actuelle de la SEAAL :

2.2.1 Démarches de création :

Avant la création d'une base de données SIG, il faut tout d'abord évaluer le besoin et de savoir quelle est l'intérêt de la création et comment ça va nous servir par la suite, dans le cas des SIG Didier au métier (SIG de gestion) la réponse à ces questions est une phase très importantes pour la conception, car la structure de cette dernière est reliev directement aux objectifs désirer

Pour le cas de la base de données actuelle da la SEAAL, les démarches de création se résume comme suit :

1. **La collecte des données** : cette phase consiste à collecter toutes les informations relatives aux réseaux de distribution (fond géographiques des communes, les plans des réseaux de distributions, les gammes des diamètres et matériaux des conduites, rugosités .longueur, volume des réservoirs ...etc.), donc c'est une enquêtes globales pour collecter le maximum d'informations jusqu'à pouvoir former une banque de données

N.B

La différence entre une base de données et une banque de données c'est que la base de données est structurée de façon à répondre à un besoin

1. Intégration et homogénéisation des données :

Juste après la collecte des données, les informations seront intégrés dans une base de données SIG, cette phase consiste à donner une certaines codification pour chaque information géographique et faire une représentation des éléments de tel sort qu'il soit intégrable dans la base de données, par exemple chaque accessoire dans le réseau est représenté par un point dans le SIG, donc toutes les accessoires seront représentés par un seul élément géométrique (Le point).

La description de chaque accessoires est dans la table attributaires et comme chaque élément est définie par sa géométrie et la données attributaires, on peut faire des opérations (analyse thématique, sélection, etc.) avec précision

Dans le cas où l'information géographique est récupérée à partir d'autres sources par exemple autocad (cas de la SEAAL) ou d'autres sources talque les images satellitaires, on doit passer par l'étape d'homogénéisation des donnes, c'est-à-dire rendre toutes les données homogènes par rapport au type des données avant l'intégration.

2. L'étape de validation :

Après la collecte et l'intégration des données, l'étape de validation est la phase finale de la base de données, avant de la mise en service. la validation se fait sur deux paramètres :

- la validation par rapport à la fiabilité des données : il s'agit de faire des sondages sur terrain et comparer l'information existant dans la base de données, pour les SIG qui font partie des pratique de gestion (cas de la SEAAL), l'information est mise à jour et valider au fur et à mesure, par exemple pour une intervention pour réparation ou fuites l'opérateur confirme les informations sur terrain (profondeur des conduites, diamètres, matériaux,...etc.)

- la validation par rapport à la structure de la base de données : la structure des données est lier directement aux besoins désirer, pour le cas de la gestion et la cartographie (cas de la SEAAL) la validation par rapport à la structure n'est pas vraiment importantes.

En SIG pour la modélisation la structure des données doit être validée pour ne pas avoir des problèmes dans le processus par la suite.

2.2.2 Structure de la base de données actuelle (SEAAL) :

Dans le cadre de lancer des simulations hydrauliques, on doit charger les données de model à partir de la base de données SIG, cependant le réseau doit être topologiquement propre de qualité irréprochable, il est donc nécessaire de contrôler la topologie avant de charger les données pour la simulation, en effet Epanet ne tolère pas des erreurs topologiques pour effectuer des simulations hydrauliques.

Topologie « propre » il est entendu les points suivants :

- ❖ Interruption des conduites au droit de chaque intersection (pas de connexion sur un sommet de vertical de polyligne)
- ❖ Pas de superposition d'objets conduites
- ❖ Pas d'objets conduits multiparties ou de longueur nulle
- ❖ Vérification de la connectivité des conduites les unes aux autres

Après l'analyse de la base de données actuelle on a remarques les problèmes suivants :

- Problème de topologie dans le réseau.
- Problème de connectivité dans les traçons

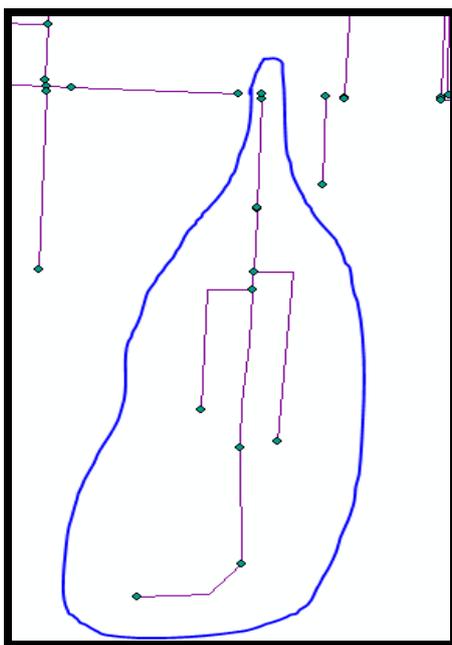


Figure 5: problème de connectivité des traçons (réseaux de la ville d'AIN TAYA)

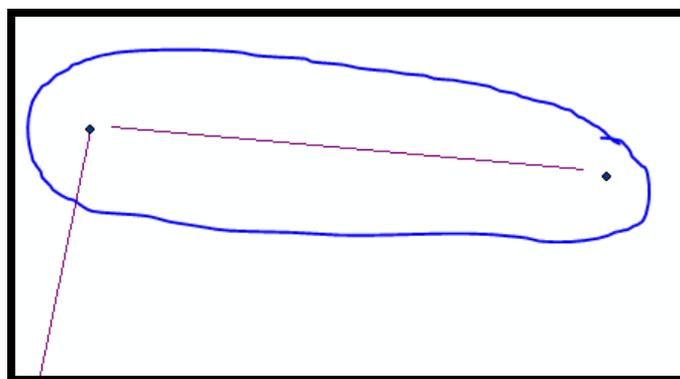


Figure 6: problème de topologie (cas du réseau d'AIN TAYA)

Donc la structure actuelle ne permet pas de faire le passage de SIG vers les logiciels de modélisations et charger les données convenablement, parmi les causes de la structure des données actuelles sont :

- ✓ Le SIG actuelle est destiné à la cartographie et comme une banque de données, donc ce genre d'erreurs n'est pas détectable sur tous lorsque 'il s'agit des petites échelles.
- ✓ Dans la phase de création de la base de données SIG, la digitalisation des fonds géographiques et les réseaux a été partagée entre plusieurs géomètres, chaque géomètre est responsable sur une commune, et comme ces derniers ont travaillé avec le logiciel autocad, ils ont commencé à faire des duplications (copier _coller) sur la géométrie pour faciliter le travail.
Mais le problème c'est que lorsque on fait des duplications, on garde la géométrie telle quel est mais on va perdre le géoréférencement, et puis par la suite lorsque on fait collecter toutes les zones sur une seule Carte, il y 'aura une déformation de la structure, c'est le cas pour la base de données actuel.
- ✓ Pour chaque centre opérationnel il y a une cellule SIG, pour reporter les fuites et les extensions, donc ils ont installé une application web pour la digitalisation, mais il y a un problème d'homogénéisation entre l'application utilisé dans les centres opérationnelles et le logiciel qui gère la base de données (**arc gis**)
- ✓ Les réseaux de distribution d'eau potable ne sont pas des réseaux géométriques.

2.3 Ajustement de la base de données SIG :

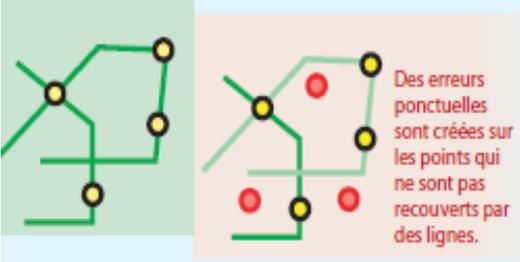
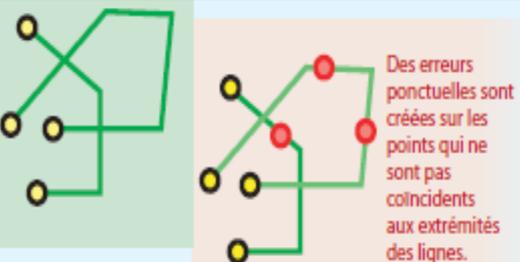
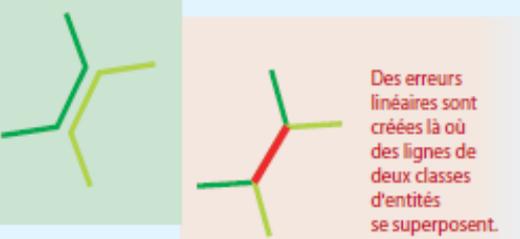
2.3.1 Correction de la topologie

Une topologie est une disposition définissant la manière dont les entités ponctuelles, linéaires et surfaciques partagent une géométrie coïncidente, pour notre cas on établit les règles topologiques (arc_noeuds), pour pouvoir appliquer la correction sur la topologie on doit travailler sur une géodatabase et non pas un fichier de formes

La seule différence entre une géodatabase et un fichier de formes c'est le mode de stockage.

Les règles topologiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: les règles topologiques pour les réseaux d'eau potable

Règle	Contenus	illustrations
Les points doivent être recouverts par des lignes	Les points d'une classe d'entités ou sous-type doivent être recouverts par les lignes d'une autre classe d'entités ou sous-type	 <p>Des erreurs ponctuelles sont créées sur les points qui ne sont pas recouverts par des lignes.</p>
Les points Doivent être recouverts par les extrémités	Les points d'une classe d'entités ou sous-type doivent être recouverts par les extrémités des lignes d'une autre classe d'entités ou sous-type	 <p>Des erreurs ponctuelles sont créées sur les points qui ne sont pas coïncidents aux extrémités des lignes.</p>
Les lignes ne doit pas superposé	Les lignes d'une classe d'entités ou sous-type ne doivent pas se superposer aux lignes d'une autre classe d'entités ou sous-type.	 <p>Des erreurs linéaires sont créées là où des lignes de deux classes d'entités se superposent.</p>

(Arc gis ESRI .2017)

2.3.2 Correction de la connectivité des tronçons :

La correction de la topologie ne suffit pas pour assurer le passage de SIG vers EPANET sans avoir des erreurs lors de la simulation, c'est pour cela qu'on doit vérifier la connectivité de tous les nœuds par rapport au réservoir à travers le réseau géométriques

Un réseau géométrique est un ensemble de tronçons et de jonctions connectés doté de règles de connectivité permettant de représenter et de modéliser le comportement d'une infrastructure de réseau commune dans le monde réel. Les classes d'entités d'une géodatabase sont utilisées pour définir un réseau géométrique. Vous définissez les rôles que les différentes

entités jouent dans le réseau géométrique, ainsi que les règles qui déterminent comment les ressources circulent dans le réseau.

▪ **Caractéristiques des réseaux géométriques :**

- Calculer le plus court chemin entre deux points.
- Rechercher tous les éléments du réseau connectés ou déconnectés.
- Rechercher des boucles ou des circuits dans le réseau.
- Déterminer le sens de circulation des tronçons lorsque des sources ou des cuvettes sont définies.
- Surveiller des éléments du réseau en amont ou en aval d'un point.
- Calculer le plus court chemin en amont entre deux points.
- Rechercher tous les éléments du réseau en amont à partir de plusieurs points et déterminer quels éléments sont communs à ces points.

2.4 Le passage de SIG vers le logiciel de simulation :

2.4.1 Présentation d'un outil de simulation :

Un outil de simulation modélise le 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. L'outil de simulation calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances nœud, les données nécessaires en entrées pour la simulation sont :

- la cote des nœuds de demande et la cote du réservoir
- la demande en eau pour chaque nœud
- les diamètres des conduites
- les longueurs des conduites
- la rugosité hydraulique des conduites
- le volume de réservoir
- la courbe caractéristique en cas d'existence des pompes

2.4.2 Lien SIG vers l'outil de simulation :

Le passage de SIG vers l'outil de simulation se fait travers l'application (**Ghydraulics**) dans le Q gis, le principe de cette application c'est de créer des champs dont les valeurs on va remplir les paramètres d'entrées pour lancer la simulation

A la fin l'application doit générer un fichier avec une extension (**inp**) qui peut être utilisable par le logiciel, les paramètres d'entrées générés par l'application Q gis sont :

CHAPITRE 2 : Conception de la base de données SIG

- **le champ (frome id nœuds) et le champ (to id nœuds)** : chaque conduite est définie par un son nœud de départ et le nœud d'arriver, donc la topologie et la correction des connectivités des traçons est une phase très importantes pour permettre le passage des données, dans le cas où il y a un problème de connectivite ou alors on déclare un identifiant d'un nœud qui n'appartient pas à la base de données, l'application va déclarer des erreurs.

- **Un champ pour les longueurs des conduites (Length)** : ce champs se trouve automatiquement dans la base de données lors de la digitalisation, sur tous dans le cas où le mode de stockage est dans une (géodatabase)

Dans une géodatabase, les champs longueur, périmètre et surface sont créer automatiquement pour faire des opérations facile est rapide sur la géométrie.

- **Un champ (diamètre)** : ce champ existe aussi dans la base de données, seulement dans le cas d'un matériau comme (PEHD) on doit introduire le diamètre intérieur, pour le cas de la ville d'Ain Taya la fonte ductile est le matériau utilisé dans le réseau principale, donc on garde le même champ.

- **le champ de la rugosité hydraulique (Roughness)** : la rugosité hydraulique est déterminée en fonction de type de matériaux, la figure suivante montre les valeurs de la rugosité en fonction de type de matériaux :

Tableau 4: les valeurs de la rugosité en fonction de type de matériaux

Matériaux	Rugosité mm (inch)	Coefficient de Hazan williams C	Coefficient de Manning (n)
Acier soudé	0.061(0.0002)	140	-
Fonte ductile	0.061 (0.0002)	130	-
Cuivre, laiton	0.61 (0.02)	140	0.010
Verre	0.0015 (0.000005)	140	-
Thermoplastique	0.0015 (0.000005)	140	-
Tube tiré	0.0015 (0.000005)	140	-

(Divers données de fournisseur SAIC, 1998)

Pour le cas de la ville d'Ain Taya le réseau principale est en fonte ductile donc la valeur de la rugosité hydraulique est de l'ordre de 0.061 (mm)

-**Le champ altitude des nœuds** : la cote des nœuds de demande est parmi les paramètres important pour la simulation, cette données n'existe pas dans la base de données SIG

A travers l'outil arc gis on va lancer une interpolation sur le MNT (model numérique de terrain) pour détermination des cotes pour chaque nœuds

Définition :

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation de la topographie (altimétrie et/ou batéométrie) d'une zone terrestre, sous une forme adaptée à son utilisation par un calculateur numérique.

❖ **MNT ou MNE :**

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude du terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments. Un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) est une représentation des élévations sur un terrain comprenant les plantes et les bâtiments.

La figure ci-dessous montre le model numérique de terrain :

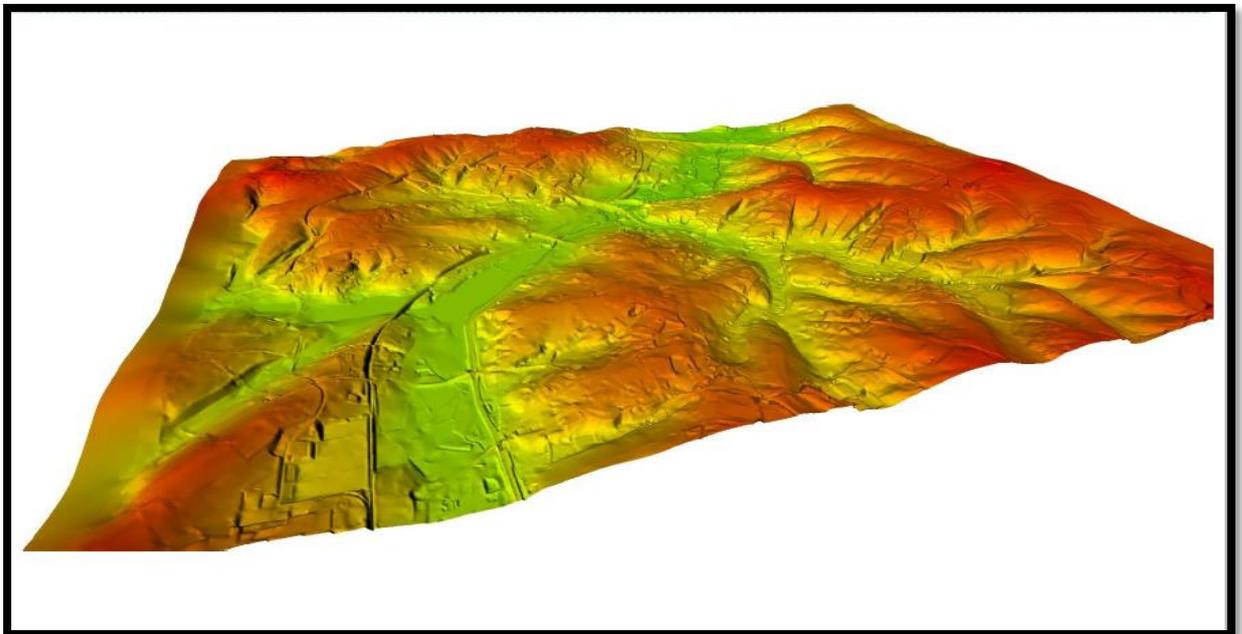


Figure 7: exemple d'un model numérique de terrain en mode raster

Dans un milieu urbain, on parle d'un model numérique d'élévation et non pas un model numérique de terrain, car on va prendre en considération l'altitude des bâtiments et les objets, pour résoudre ce problème on va construire un MNT à travers les courbes de niveau de la SEAAAL obtenus par stéréoscopie.

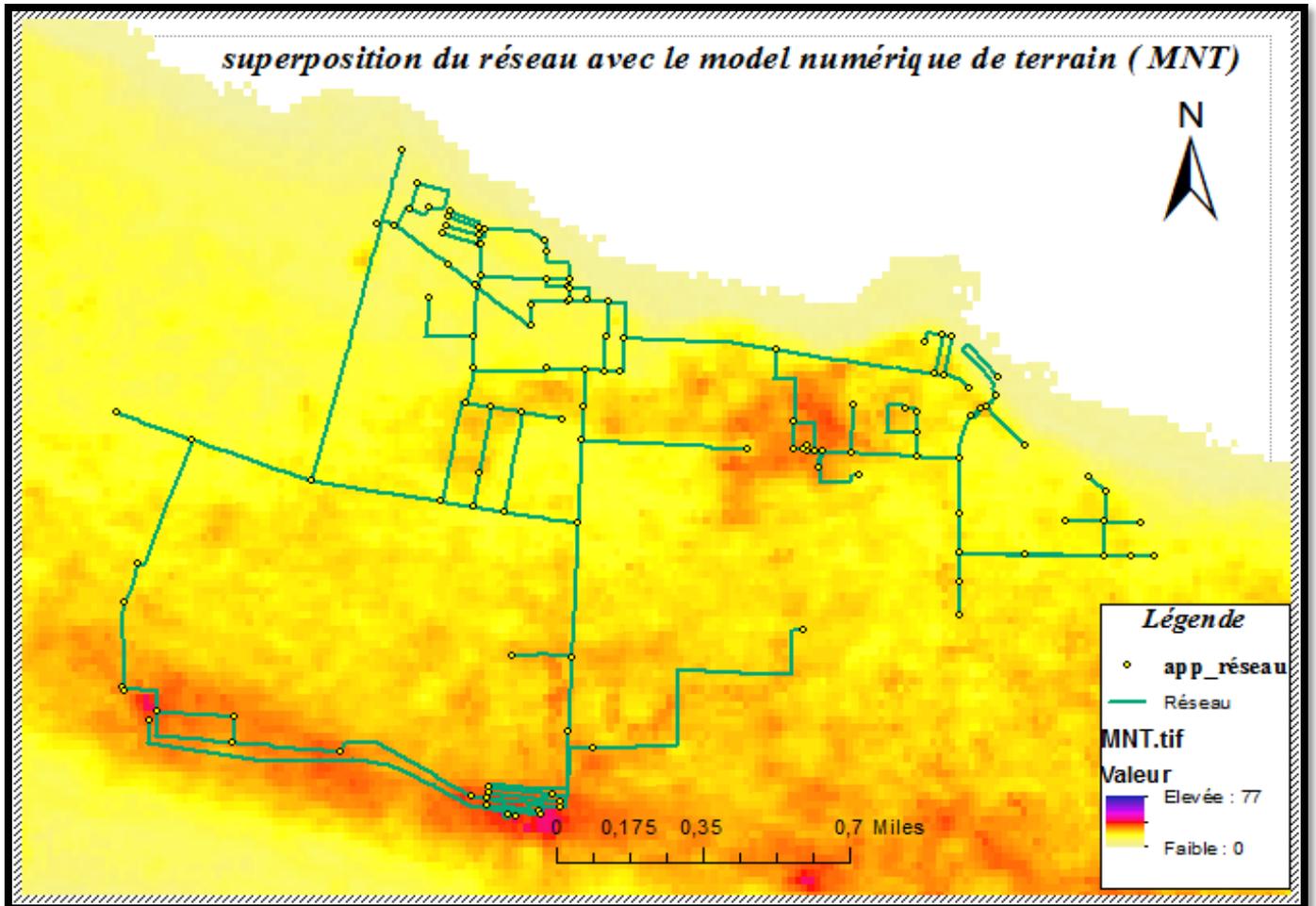


Figure 8: superposition du MNT avec les nœuds du réseau dans une interface arc gis

La stéréoscopie : est un ensemble des techniques mises on ouvre pour reproduire une perception du relief à partir des images satellitaires

La création d'un MNT à partir des courbes de niveaux se fait à travers l'outil arc-gis, les résultats obtenu sera une couche raster, chaque pixels dans cette image va représenter une altitude, la procédure à suivre pour la détermination des cotes des nœuds sera comme suite ;

- 1) Après la création du model numérique de terrain on va convertir le MNT vers des entités ponctuels (des points), chaque point représente une cote de terrain.
- 2) Sur la même couche on va charger les nœuds de demandes du réseau, on aura un maillage des nœuds avec les oints de MNT
- 3) On remarque que chaque nœuds est entouré par quatre points du MNT, on va lancer une interpolation à travers l'outil arc gis de telle sort à voir l'identifiant du point le plus proches pour chaque nœud, la cote de terrain pour chaque nœuds sera la cote de point le plus proche de ce dernier.

-**Le champ de la demande en eau** : pour cela on va donner une valeur par défaut pour juste assurer le passage, la répartition de la demande en eau sera traitée dans le chapitre qui se suit

2.4.3 Génération d'un fichier inp :

Après avoir corrigé la structure de la base de données et préparer les paramètres en entrées pour la simulation, un fichier avec l'extension (inp) sera généré par l'application (Ghydraulics), qui sera utilisable par les logiciels de simulation, les autres accessoires comme les pompes, les vannes...etc. seront rajouter manuellement par les suites.

Le processus de génération du fichier de simulation est représenté dans l'organigramme ci-dessous :

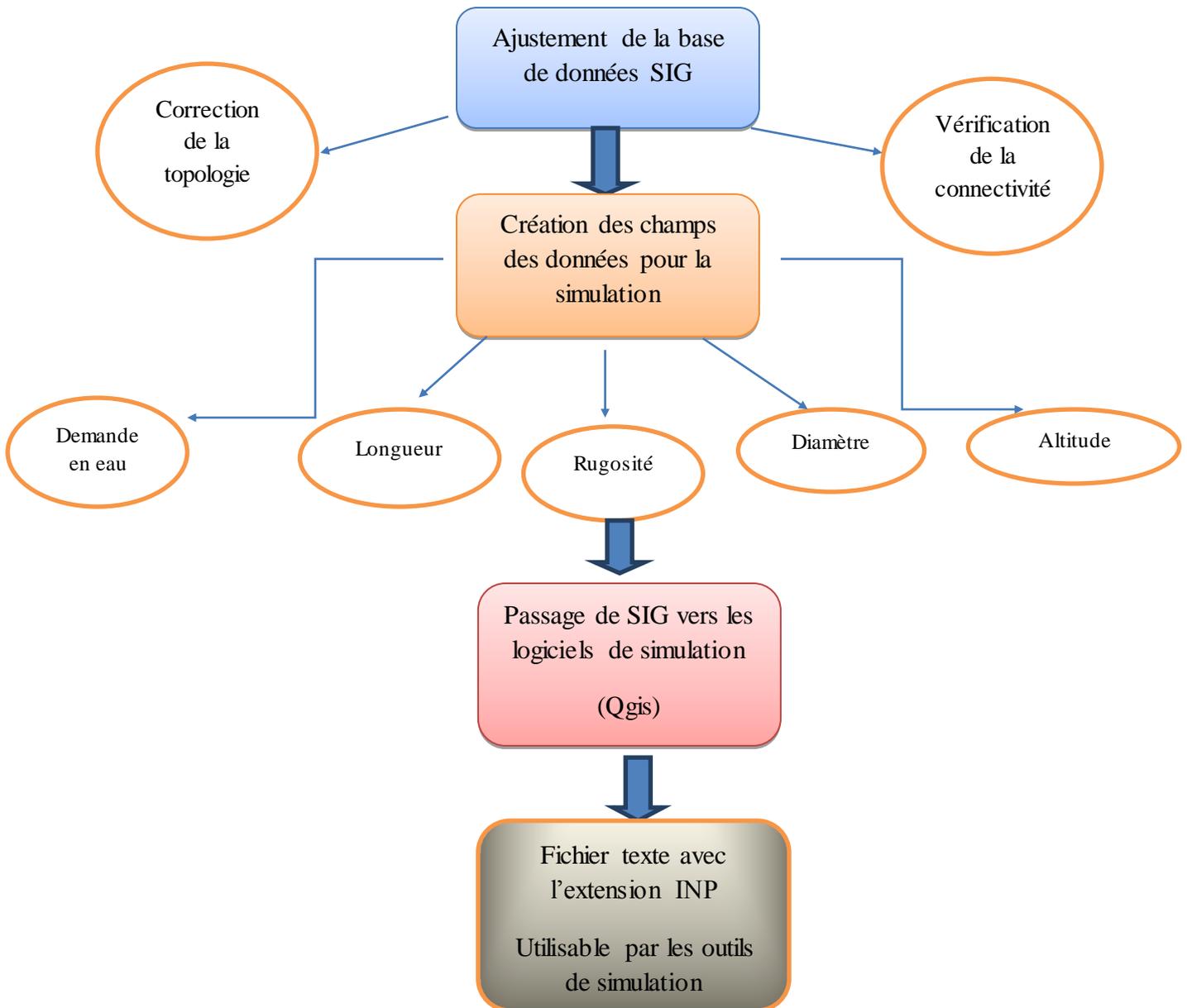


Figure 9: organigramme du processus de génération d'un fichier INP

2.5 Conclusion

La structure des données dans le SIG est liée directement au besoin, pour le cas de gestion la simulation hydraulique est parmi les besoins essentiels pour résoudre les problèmes techniques concernant le réseau de distribution.

Le passage de SIG vers Epanet existe par plusieurs méthodes, mais en respectant les règles de topologie et les règles de connectivité des tronçons.

Les paramètres d'entrées pour Epanet doivent être développés dans le SIG, dans le chapitre qui se suit on va donner la méthode de la répartition des demandes en eau pour chaque cas d'études.

CHAPITRE 3 : SIMULATION HYDRAULIQUE DE L'ETAGE D'ENGLADE

Introduction :

Dans le cadre de la gestion des réseaux d'eaux potable, la modélisation hydraulique est parmi les outils de base qui aident à la prise de décision, cependant ces modèles doivent donner une vision représentative sur le comportement hydraulique réel dans les réseaux de distributions

Dans ce chapitre on s'intéresse à modélisé le réseau de la ville de Ain Taya tout en faisant une étude comparatif entre deux cas de simulation :

- Simulation dans le cas réel
- Simulation dans le cas idéal (théorique)

L'Objet de cette étude est donné le model le plus représentatif a la réalité pour pouvoir régler tous les problèmes techniques de façon rapide et efficace

La méthodologie à suivre c'est de lancer deux cas de simulation avec les données de départ différent, pour le cas réel on va coupler la modélisation hydraulique avec le SIG pour prendre en considération la répartition spatiale des abonnés. Le cas idéal on va supposer que la répartition est uniforme avec un régime de consommation théorique

3.1 Simulation dans le cas réel :

Pour ce cas, on va prendre en considération l'influence de la répartition spatial des abonnés à travers l'outil SIG et le régime de consommation réel mesuré sur les 24h pour voir la variation de la pression et le débit dans les réseaux.

3.1.1 Les hypothèses :

- ❖ Le réservoir d'Englade est équipé d'un débit mètre relié à un système de **BDLT** (base de données à long terme), donc à travers l'historique annuel de la distribution on va tirer là le régime de consommation réel sur les 24 H
- ❖ Chaque compteur est localisé avec des coordonnées spatiales dans le SIG, dans ce cas-là on va travailler avec le nombre d'abonnés et non pas avec le nombre d'habitants pour la dotation, mais en raison d'absence des données sur la consommation des abonnés et qu'un compteur peut être commune entre une famille et plus comme il peut être limité pour un seul habitant donc :

$$Q_{\text{moy},j} = \frac{Q_{\text{max } j}}{\text{nbr } ab} \quad (1)$$

$Q_{\text{moy},j}$: Demande moyenne journalier consommé par un seul abonné

$Q_{\text{max } j}$: Débit maximum journalier

$\text{Nbr } ab$: Nombre totale d'abonné

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

La formule (1) n'est pas représentative dans ce cas, donc on va diviser la ville d'Ain Taya en 03 zones :

- Zones de faible consommation
- Zones de moyenne consommation
- Zones de forte consommation

Dans ce découpage on va prendre en considération la densité d'habitant, donc

- Les abonnés qui se trouvent dans la zone de faible consommation vont avoir une demande minorée de 25% à la valeur moyenne donnée par la formule (1)
- De même pour les abonnés qui se trouvent dans la zone de forte consommation, mais la demande de base sera cette fois majorée de 25% par rapport à la moyenne
- La demande de base pour les abonnés qui se trouvent dans la zone de moyenne consommation sera calculer par :
-

$$\text{Dot m con} = Q \max j - Q \text{ zone fc} - Q \text{ zone Fc} \quad (2)$$

Avec

Dot m con : demande de base pour les abonnés de la zone de moyenne consommation

Q max j : débit maximum journalier

Q zone fc : demande de base pour les abonnés de la zone de faible consommation

Q zone Fc : demande de base pour les abonnés de la zone de forte consommation

- ❖ Après avoir classifié les abonnés par rapport à la demande de base pour chaque classe donner, on va injecter chaque abonnés au nœud de demande le plus proches par rapport à la distance comme suit :
- On choisit les nœuds de consommation dans le réseau avec une certaine codification pour les différencier aux accessoires dans le SIG
- Dans la même couche on va charger la couche des abonnés qui sont représenté par des points
- On lance un découpage avec les polygones de Thiessen par rapport aux nœuds de consommations, donc pour chaque nœud on a un polygone qui délimite une surface sur laquelle on a des abonnés qui appartiennent à ce dernier

N.B

- ✓ Un seul nœud peut contenir les trois classes d'abonnés, car cette fois ci le découpage est par rapport aux nœuds de demandes choisis au départ
- ✓ Dans le découpage avec les polygones de Thiessen le seul paramètre qui peut influencer c'est la distance entre les nœuds, on peut avoir un 2^{ème} découpage qui est déferent au premier dans le cas de choisir d'autres nœuds de consommation, reste à définir la notion d'un nœud de consommation et d'une maille dans un réseau

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

- ✓ Chaque polygone de Thiessen contient uniquement une seule entité ponctuelle en entrée, c'est le nœud de demande, Tout emplacement dans ce polygone est plus proche de son point associé que de toute autre entité ponctuelle en entrée.

3.1.2 Le régime de consommation des abonnés :

3.1.2.1 la courbe de distribution du réservoir d'Englade :

Vu que le réservoir de la ville de Ain Taya est équipé d'un débit mètre à la sortie de la conduite de distribution, ce dernier est relié à BDLT (base de données à long termes) sur lequel on peut accéder à l'historique annuel de la consommation des abonnés, la courbe de distribution dans pour la journée la plus chargée pour l'année 2017 est la suivante

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

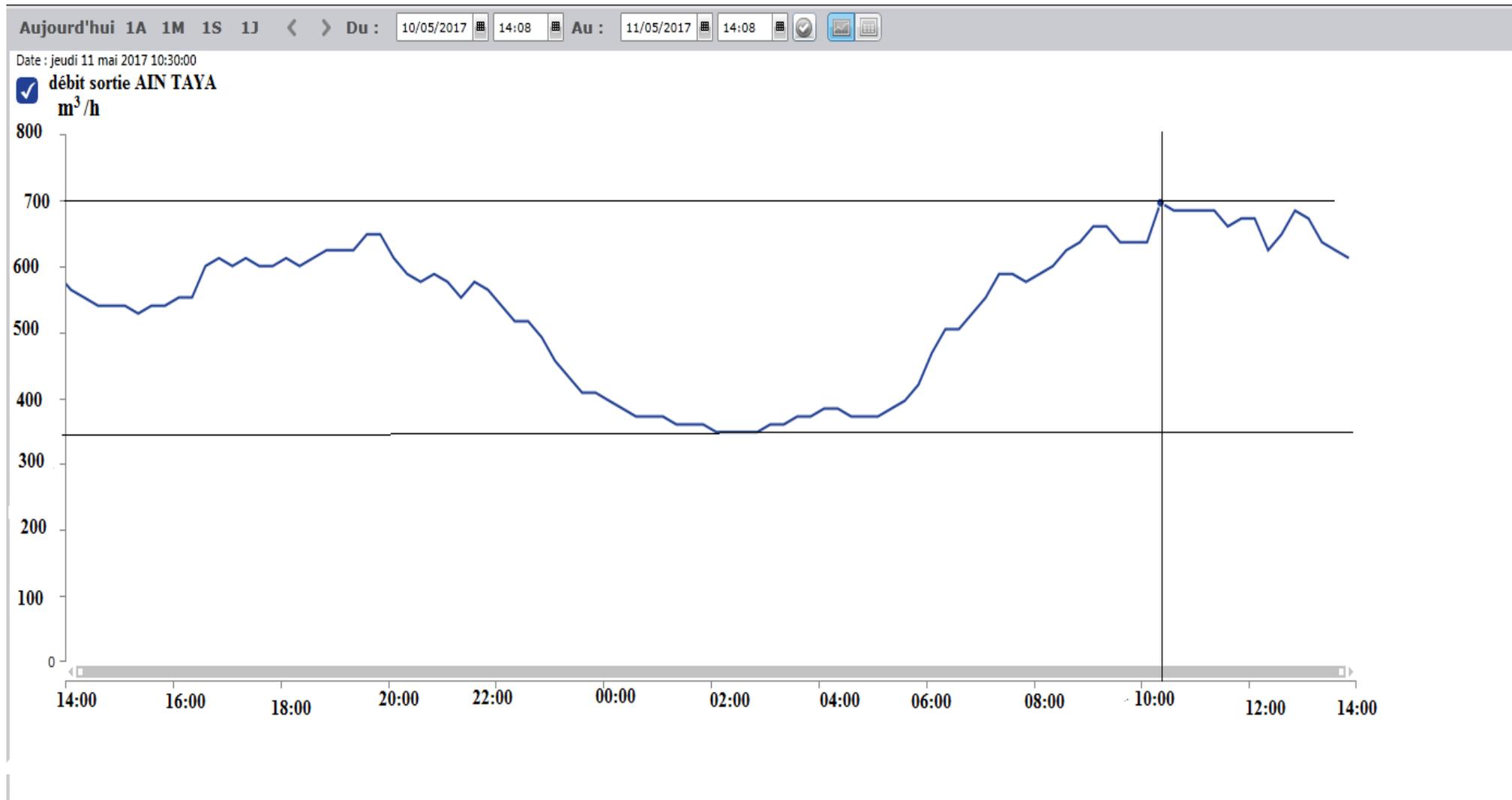


Figure 10: régime de distribution de la ville d'Ain Taya (BDLT-SEAAL)

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

On remarque à partir de la courbe de distribution que l'heure de point dans la journée la plus chargée est à 10 :00 h du matin, la consommation atteint un débit de 700 m³/ h, le débit reste pratiquement constant pendant deux heures, on remarque une légère augmentation de la consommation à partir de 18 :00 h

Le débit minimum de consommation est d'environ 350 m³/ h à 03 :00h du matin

Cette courbe nous renseigne sur le régime de consommation de la ville d'Ain Taya et les confort hydrauliques des abonnés

3.1.2.2 Détermination du débit maximum journalier distribué et consommé :

À partir de la courbe de distribution on va déterminer le débit maximum journalier et le régime de distribution comme suit :

- On détermine le débit maximum journalier distribué par le réservoir à partir de la courbe de distribution de la BDLT
- Vu que le rendement est donné par le centre opérationnel de la SEAAL, on calcule le Q_{max, j} consommé par les abonnés par :

$$Q_{\text{max j consommé}} = \eta Q_{\text{max j distribué}} \quad (3)$$

Avec $\eta = 53\%$ le rendement de réseau de la ville d'Ain Taya

Les résultats de calcul seront représentés dans les tableaux suivants :

Tableau 5: variation de débit de distribution sur les 24h

Heures	le débit horaire (m ³ /h)
14:00	549,85
15:00	521,85
16:00	543,85
17:00	601,85
18:00	586,91
19:00	616,09
20:00	571,13
21:00	526,05
22:00	496,2
23:00	467,85
00 :00	385,83
01:00	385,49
02:00	335,55
03:00	319,67
04:00	343,49
05:00	354,07
06:00	430,79
07:00	518,11
08:00	568,39
09:00	634,53
10:00	616,01
11:00	671,57
12:00	639,83
13:00	650,41
Somme	12335,37

Tableau 6: récapitulation des valeurs des différents débits

Le débit maximum distribué	Q_{max j distribué}	12335.37 m³/h
Le rendement du réseau	N	53%
Le débit consommé	Q_{max j consommé}	6537.7461 m³/h

3.1.2.3 Régime de consommation des abonnées

Le réservoir d'Englade est alimenté par la station de réghaia, donc le régime de pompage est constant sur les 24h les résultats de calcul seront représenté dans les tableaux si dessous :

Tableau 7: régime de consommation des abonnés

heures	débit de distribution (m ³ /h)	débit de consommation (m ³ /h)	régime de consommation Cn %
14:00	549,85	291,47	4,46
15:00	521,85	276,63	4,23
16:00	543,85	288,29	4,41
17:00	601,85	319,03	4,88
18:00	586,91	311,11	4,76
19:00	616,09	326,58	4,99
20:00	571,13	302,75	4,63
21:00	526,05	278,86	4,26
22:00	496,2	263,04	4,02
23:00	467,85	248,01	3,79
00 :00	385,83	204,54	3,13
01:00	385,49	204,36	3,13
02:0	335,55	177,89	2,72
03:00	319,67	169,47	2,59
04:00	343,49	182,10	2,78
05:00	354,07	187,71	2,87
06:00	430,79	228,37	3,49
07:00	518,11	274,65	4,20
08:00	568,39	301,30	4,61
09:00	634,53	336,35	5,14
10:00	616,01	326,53	4,99
11:00	671,57	355,98	5,44
12:00	639,83	339,16	5,19
13:00	650,41	344,77	5,27
/	/	6538,93	100,00 %

À partir du tableau de régime de consommation on remarque que le débit max horaire est de 355.98 m³/h à 11 : 00 du matin, on note aussi qu'à partir des pourcentages de régime de consommation on remarque que les coefficients sont pratiquement constante de

[14 :00- 20 :00h] la figure ci-dessous montre le diagramme de consommation de la ville d'Ain Taya

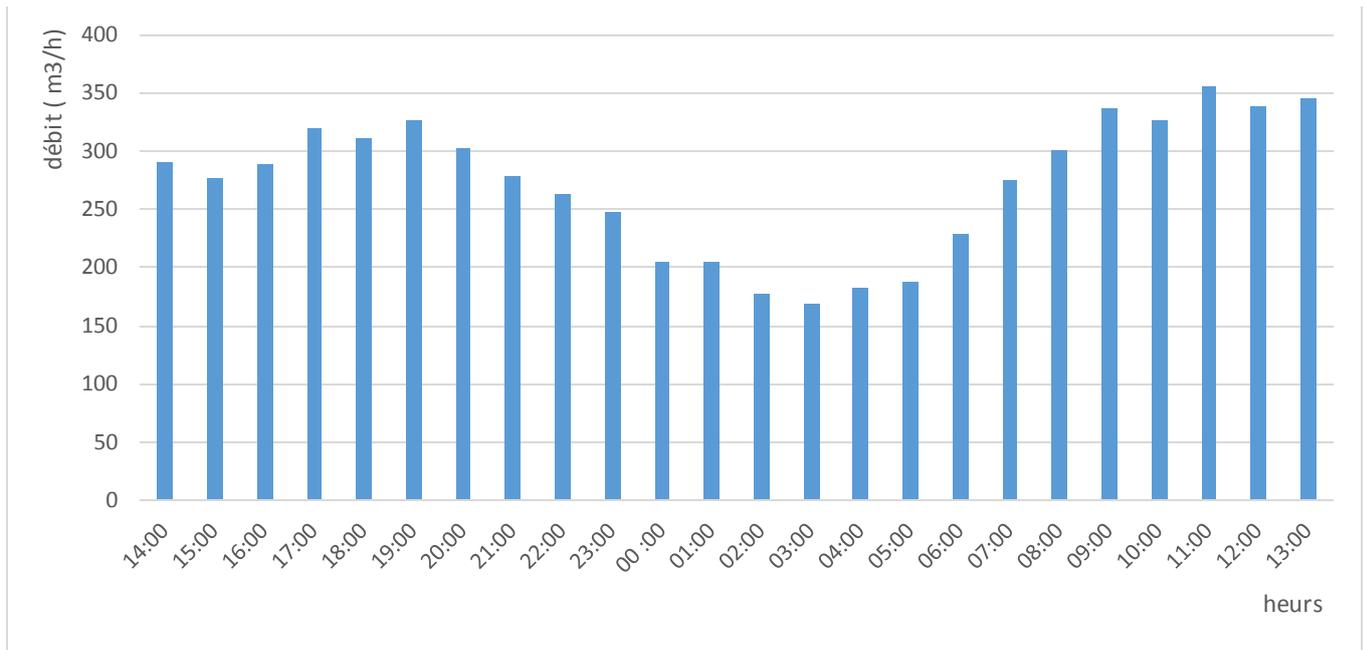


Figure 11: diagramme de consommation réel de la ville d 'Ain Taya

3.1.3 Détermination de débit aux nœuds :

On va diviser la ville de Ain Taya en zone de consommation (fort, faible, moyenne consommation), l'Object de cette divisions est de refléter le comportement réel du réseau et prendre en considération le paramètre de la répartition des abonnés dans l'espace

Les paramètres qui vont influencer sur la demande de base dans le model sont :

- La position spatiale de nœuds par rapport aux 3 zones de consommation
- Le nombre d'abonné qui entoure le nœud

La procédure de la détermination du débit aux nœuds pour le cas de simulation réel sera comme suite :

3.1.3.1 Division de la ville en zones de consommations :

Le seul qui va être prise considération dans la division est le nombre d'habitant par district, à travers l'outil SIG on va lancer une analyse thématique par rapport aux nombre d'habitant.

La base de données SIG est faite à la base du recensement de la population en 2008, en va supposer que le taux d'accroissement 1.75% est constant dans toutes la ville, donc pour chaque district on va appliquer la loi géométrique pour la détermination de la population actuel :

$$P_{future} = P_0 (1+t)^N \quad (4)$$

Avec :

P futures : population actuel 2017

P_0 : population en 2008

T : le taux d'accroissement égale 1.75%

N : nombre d'année entre 2017 et 2008

Tableau 8: population de la ville d 'Ain Taya 2017

Population 2008	Taux d'accroissement	Population en 2017	Nombre d'abonné d'Ain Taya
29381	1.75%	34346	4677

3.1.3.2 Les critères de la délimitation des zones par rapport à la répartition de la population :

Dans ce cas on a lancé une thématique par rapport au nombre d'habitants à travers l'outil SIG

Les intervalles des populations en fonction de la zone de consommation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9: les zones de consommation en fonction du nombre d'habitants

Intervalle de nombre d'habitant	Classe de zone de consommation
De 0 – 945 hab	Zone de faible consommation
945 hab - 1165 hab	Zone de moyenne consommation
1165 hab- 1500 hab	Zone de forte consommation

La relation entre le nombre d'habitants et la classe de consommation est linéaire, chaque fois que la densité d'habitants est importante la demande en eau sera importante

Le découpage a été fait à travers l'outil ArcGIS, les intervalles des habitants sont obtenus par une division statistique méthode de seuils naturels (**jenks**)

3.1.3.3 Classification et quantification des abonnés par rapport à la position spatiale :

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

L'objet de la division de la ville en zone de consommation, c'est de classer les abonnés en vue d'absence des données sur la consommation, pour une pondération de la dotation par la suite dans les nœuds de demande

A travers l'outil SIG, on va superposer les deux couches (les abonnés et la carte la délimitation des zones de consommation) les résultats d'analyse seront représentés dans le tableau suivante :

Tableau 10: résultats de superposition de la carte des zones de consommation avec la couche des abonnés

classe d'abonnées	nombre d'abonnés	Dotation (m³ /jours)	Débit moyen journalier (m³/j)
Abonnées appartient à la zone de faible consommation	868	1,05	911,4
Abonnées appartient à la zone de moyen consommation	2119	1,26	2669,94
Abonnées appartient à la zone de forte consommation	1690	1,75	2957,5
La somme	4677	/	6538,84

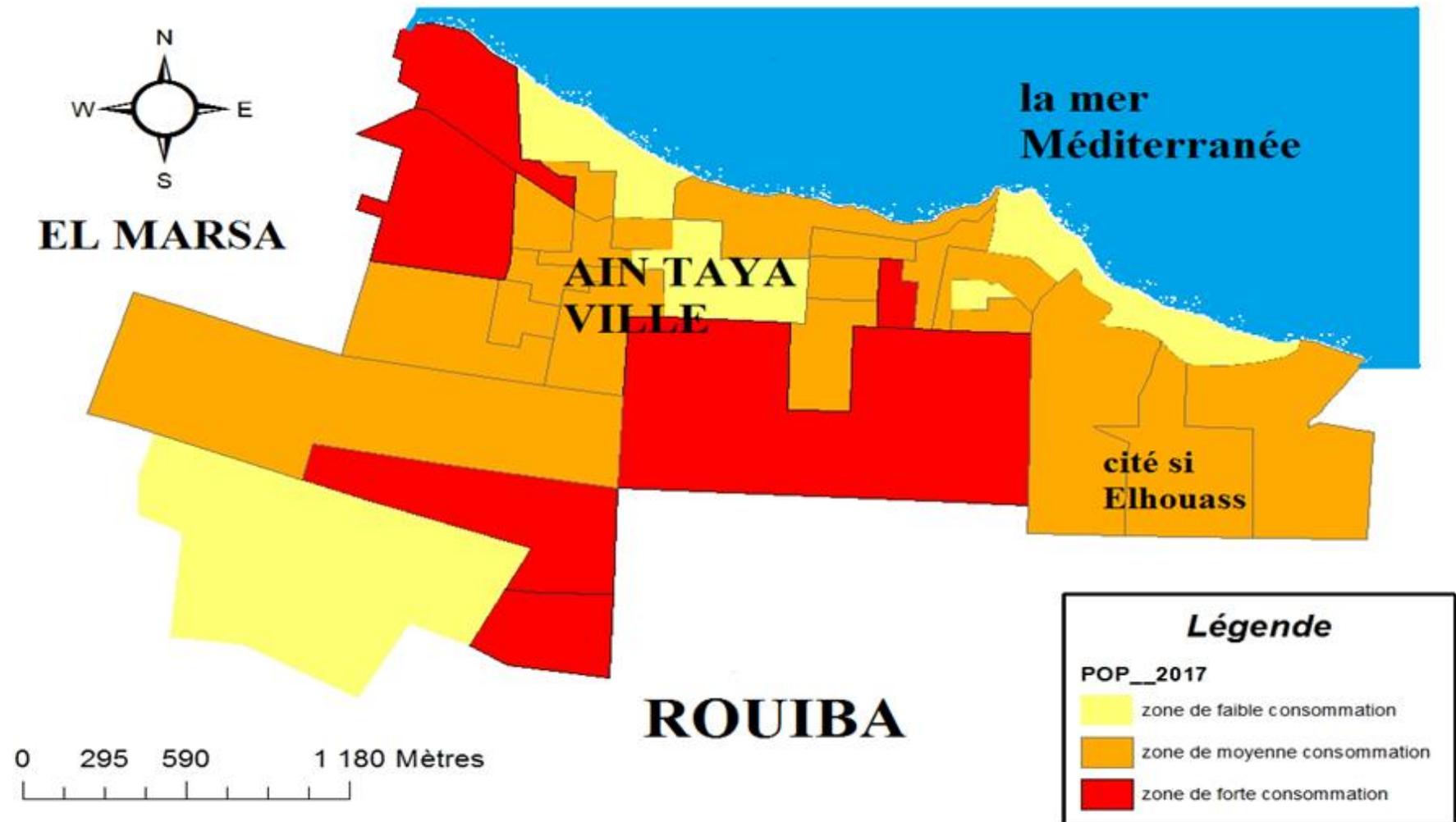


Figure 12 Cadre de la délimitation des zones de consommation

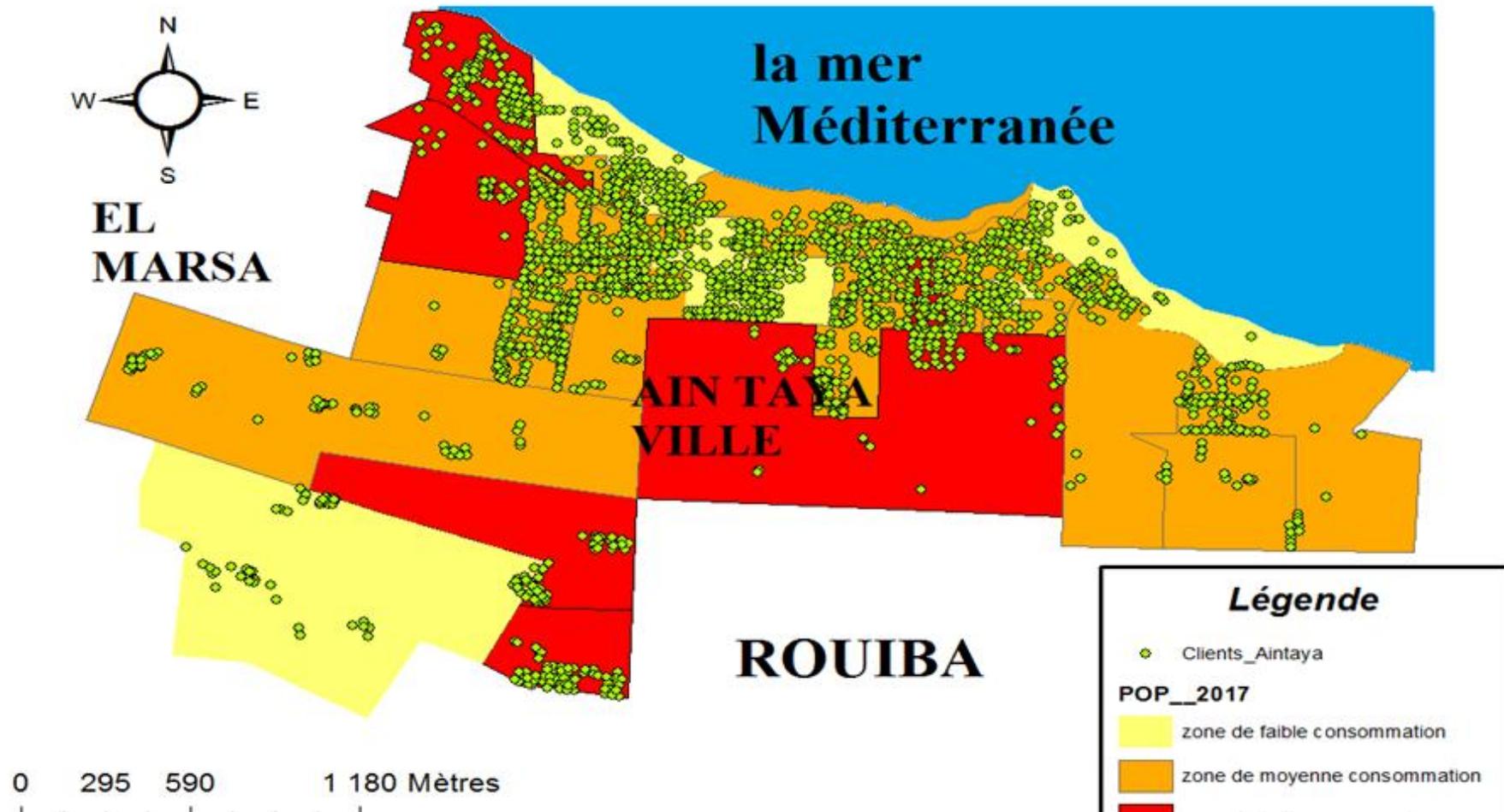


Figure 13 Cadre de la superposition des abonnés avec les zones de consommation

3.1.3.4 Calcule du débit moyen journalier dans les nœuds de demandes :

Après avoir classifié les abonnés et déterminer les demandes en eau pour chaque classe, on va calculer les débits aux nœuds dans le réseau, pour cela on va suivre la procédure suivante :

- En premier lieu on doit repérer les nœuds de consommation dans le SIG, car chaque accessoires dans le réseau est représenté par un point dans la base de données, le problème qui se pose c'est qu'on doit garder toutes les accessoires pour permettre de faire le passage de SIG vers EPANET.

Donc il y aura des nœuds dans EPANET là où la demande en eau est nulle, réellement c'est un accessoire dans le réseau qu'on peut voir la variation de pression et de débit

- après avoir repéré toutes les nœuds de consommation, on va lancer un découpage des polygones de Thiessen à travers l'outil SIG, l'objectif de ce découpage c'est de faire une délimitation dans un polygone pour chaque nœud dans le réseau.

Le seul paramètre qui peut influencer sur le découpage c'est la distance entre les nœuds, c'est pour cela que le repérage des nœuds est important sur tous dans un réseau ou il y a beaucoup d'accessoire, l'étape de choisir les nœuds de consommation sera un peu délicats.

Pour notre cas on a essayé de choisir les nœuds de consommation de telle sorte à balayer toutes la ville, pour qu'ont puissent avoir une vision globale sur la variation des paramètres hydrauliques

- juste après le découpage, on va charger la couche des abonnés, mais qui sont déjà classés par rapport leur consommation, ce qui reste à faire c'est de les quantifier pour chaque nœuds et calculer la demande en eau totale

Les résultats de calculs sont représentés dans le tableau suivante tel que :

FID : c'est le numéro d'ordre des nœuds dans le SIG

Id_Node : c'est l'identifiant de nœuds dans EPANET

F_C : nombre d'abonnés de la classe de forte consommation

M_C : nombre d'abonnés de la classe de moyenne consommation

F_C : nombre d'abonnés de la classe de faible consommation

Totale : totale d'abonnées dans le nœud

Q (m³/j) : le débit total moyen journalier dans le nœud calculé comme suite :

$$Q (m^3/j) = 1,05 * f_C + 1,26 * M_C + 1,75 * F_C \quad (5)$$

Base : débit moyenne horaire dans le nœud égal a $Q (m^3/j)/24$

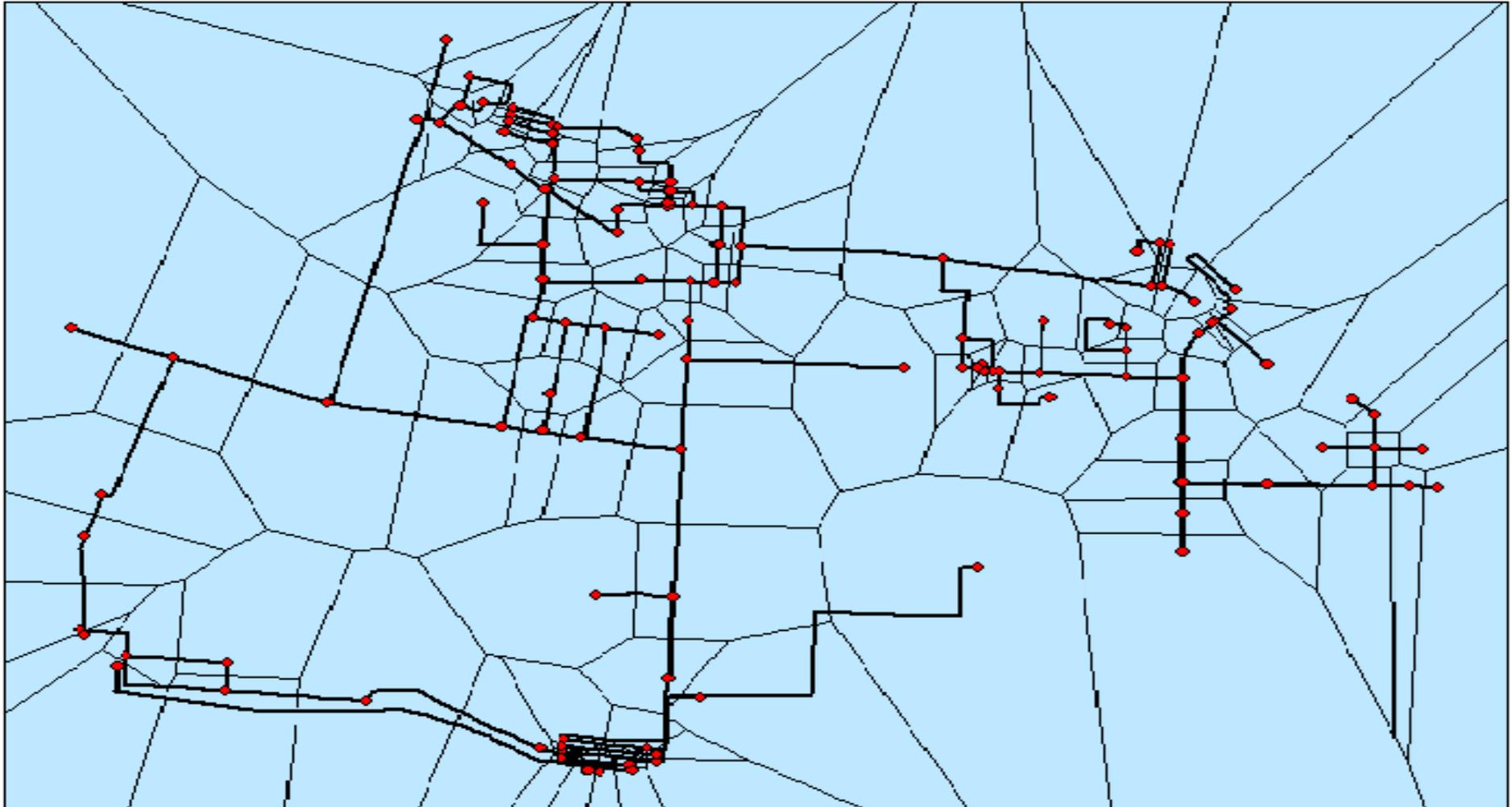


Figure 14: découpage à travers les polygones de Thiessen

Tableau 11: détermination de la demande en eau dans les nœuds

FID	Id_Node	F_C	M_C	f_C	TOTALE	Q (m3/j)	base (m3/h)
0	955563	6	40	67	113	131,25	5,469
1	955561	29	19	18	66	93,59	3,900
2	1000018	30	10	6	46	71,4	2,975
3	955694	1	75	14	90	110,95	4,623
4	975466	10	22	16	48	62,02	2,584
5	323862	10	7	39	56	67,27	2,803
6	323989	27	8	25	60	83,58	3,483
7	1000347	24	28	2	54	79,38	3,308
8	999680	8	3	33	44	52,43	2,185
9	985444	14	87	38	139	174,02	7,251
10	955538	15	49	20	84	108,99	4,541
11	323863	14	4	52	70	84,14	3,506
12	905868	14	36	124	174	200,06	8,336
13	1024538	16	91	6	113	148,96	6,207
14	323553	18	25	66	109	132,3	5,513
15	962007	13	66	60	139	168,91	7,038
16	946354	3	8	24	35	40,53	1,689
17	323403	3	26	7	36	45,36	1,890
18	323511	17	42	29	88	113,12	4,713
19	999707	14	17	2	33	48,02	2,001
20	323540	4	40	33	77	92,05	3,835
21	985429	51	85	1	137	197,4	8,225
22	940741	8	22	2	32	43,82	1,826
23	324014	13	19	35	67	83,44	3,477
24	955555	11	120	3	134	173,6	7,233
25	1000006	90	13	9	112	183,33	7,639
26	1000035	47	16	14	77	117,11	4,880
27	955537	8	4	3	15	22,19	0,925
28	1000017	57	4	7	68	112,14	4,673
29	961977	43	15	1	59	95,2	3,967
30	955535	13	12	5	30	43,12	1,797
31	955520	28	52	7	87	121,87	5,078
32	955705	4	73	10	87	109,48	4,562
33	975485	21	35	23	79	105	4,375
34	323864	7	11	1	19	27,16	1,132
35	945733	26	11	27	64	87,71	3,655
36	1000020	19	1	23	43	58,66	2,444
37	962516	80	161	16	257	359,66	14,986
38	1000190	14	3	0	17	28,28	1,178
39	936234	53	1	0	54	94,01	3,917
40	905854	16	18	0	34	50,68	2,112

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

Suite tableau

41	1024551	3	95	0	98	124,95	5,206
42	1026909	21	5	0	26	43,05	1,794
43	999719	8	41	0	49	65,66	2,736
44	955557	5	11	0	16	22,61	0,942
45	1000032	6	50	0	56	73,5	3,063
46	955504	5	6	0	11	16,31	0,680
47	968966	20	30	0	50	72,8	3,033
48	905871	4	36	0	40	52,36	2,182
49	955566	26	8	0	34	55,58	2,316
50	997705	17	29	0	46	66,29	2,762
51	324381	39	21	0	60	94,71	3,946
52	959631	76	17	0	93	154,42	6,434
53	323547	166	113	0	279	432,88	18,037
54	982051	3	24	0	27	35,49	1,479
55	946340	18	13	0	31	47,88	1,995
56	920534	54	24	0	78	124,74	5,198
57	938532	6	107	0	113	145,32	6,055
58	975470	18	110	0	128	170,1	7,088
59	323865	33	0	0	33	57,75	2,406
60	975467	16	0	0	16	28	1,167
61	955704	148	0	0	148	259	10,792
62	999943	10	0	0	10	17,5	0,729
63	985427	5	0	0	5	8,75	0,365
64	1026897	11	0	0	11	19,25	0,802
65	323875	51	0	0	51	89,25	3,719
66	905858	11	0	0	11	19,25	0,802
68	938475	11	0	0	11	19,25	0,802
						6538,84	272,452

3.1.4 Simulation sur les 24h :

Avant de lancer une simulation sur les 24 h, il faut tout d'abord déterminer :

- La courbe de modulation de l'agglomération
- Le régime de pompage sur les 24 h

3.1.4.1 Courbe de modulation de l'agglomération :

Cette courbe est tirée à partir de régime de consommation d'après la relation suivante :

$$A = C_n * 24 / 100 \quad (5)$$

Avec $C_n \%$: le pourcentage de $Q_{max j}$ consommé à partir du régime de consommation

A_i : coefficient de la courbe de modulation

CHAPITRE 3 : Simulation hydraulique de l'étage d'ENGLADE

Le tableau ci-dessous montre les coefficients de la courbe de modulation :

Tableau 12 : coefficient de la courbe de modulation

Heures	régime de consommation	courbe de modulation
14:00	4,46	1,07
15:00	4,23	1,02
16:00	4,41	1,06
17:00	4,88	1,17
18:00	4,76	1,14
19:00	4,99	1,20
20:00	4,63	1,11
21:00	4,26	1,02
22:00	4,02	0,97
23:00	3,79	0,91
00 :00	3,13	0,75
01:00	3,13	0,75
02:00	2,72	0,65
03:00	2,59	0,62
04:00	2,78	0,67
05:00	2,87	0,69
06:00	3,49	0,84
07:00	4,20	1,01
08:00	4,61	1,11
09:00	5,14	1,23
10:00	4,99	1,20
11:00	5,44	1,31
12:00	5,19	1,24
13:00	5,27	1,27
/	100,00	24

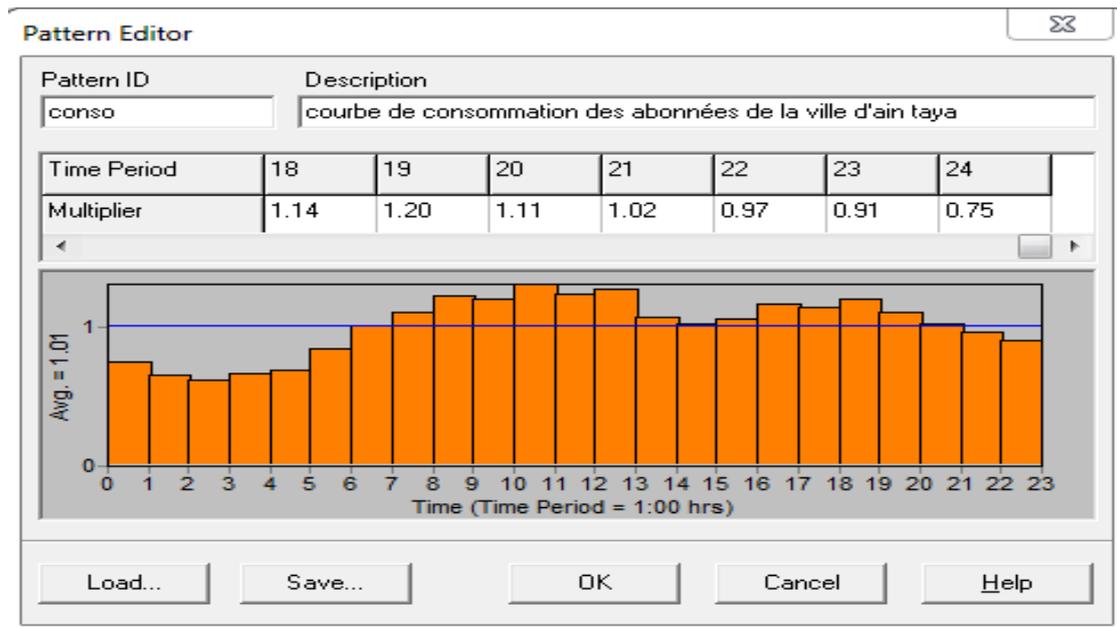


Figure 15 : capture d'écran : courbe de modulation de l'agglomération d'Ain Taya

3.1.4.2 Régime de pompage :

Le réservoir d'ENGLADE de la ville d'Ain Taya est destiné à alimenter d'autre ville comme Hraoua et la ville d'ELMARSA et Bordj ELBAHRI, donc le pompe pour ce réservoir est assurer sur les 24h

Dans la simulation sur EPANET on va remplacer la pompe (station de pompage de réghaia) par un nœud avec une demande de base négative, le signe (-) désigne que ce débit est injecter directement dans le réseau, on peut utiliser cette technique dans le cas où les informations sur la pompe est insuffisante (courbe caractéristique ...etc.)

Les coefficients de la courbe de modulation de la pompe ce calcul de la même façon que le cas précédent, les résultats de calcule sont représenter dans le tableau suivant :

Tableau 13 : coefficient de la courbe de modulation de pompage

Heures	régime de pompage	Les coefficients de la courbe de modulation
14:08	4,17	1,00
15:08	4,17	1,00
16:08	4,17	1,00
17:08	4,17	1,00
18:08	4,17	1,00
19:08	4,17	1,00
20:08	4,17	1,00
21:08	4,17	1,00
22:08	4,17	1,00
23:08	4,17	1,00
00 :08	4,17	1,00
01:08	4,17	1,00
02:08	4,17	1,00
03:08	4,17	1,00
04:08	4,17	1,00
05:08	4,17	1,00
06:08	4,17	1,00
07:08	4,17	1,00
08:08	4,17	1,00
09:08	4,17	1,00
10:08	4,17	1,00
11:08	4,17	1,00
12:08	4,17	1,00
13:08	4,17	1,00
/	100	24,00

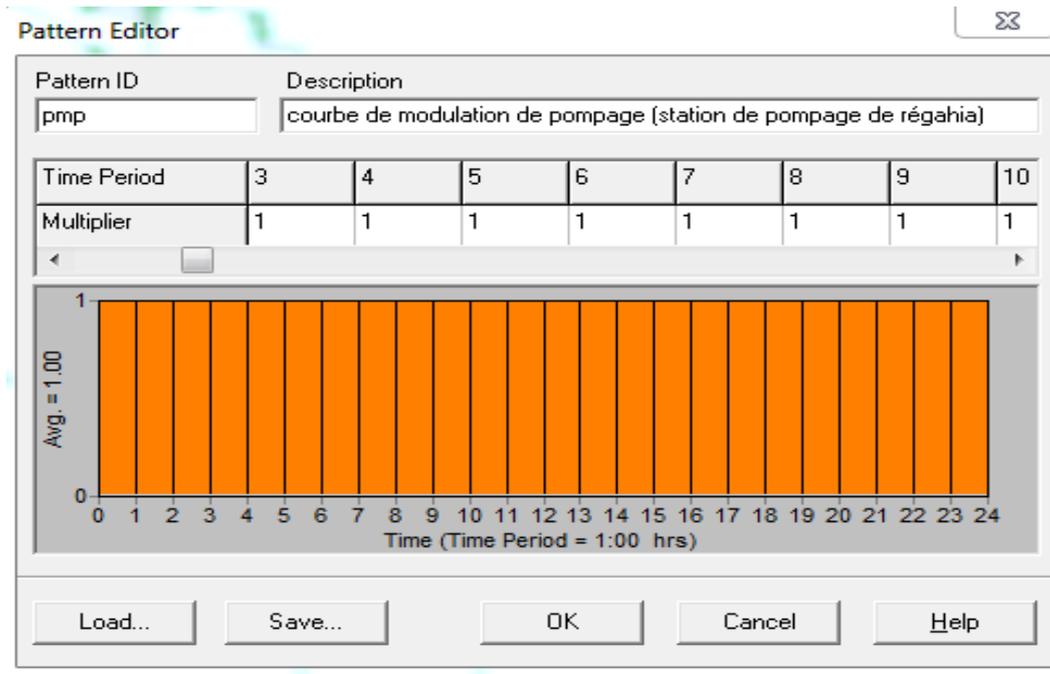


Figure 16: capture d'écran : courbe de modulation de pompage

3.4.1.3 Interprétation des résultats après la simulation :

Après avoir lancé une simulation sur les 24 h, on remarque qu'il y a un problème de surpression dans le secteur des falaises, là où la pression dépasse 5 bars

La cote des nœuds est autour de 15 à 20 m, c'est pour cela qu'on remarque qu'il y a un problème de surpression dans ce secteur

Donc le modèle qui a été conçu par le couplage des fonctionnalités de SIG et la modélisation hydraulique a donné des résultats qui confirment qu'il y a un problème de surpression dans la ville d'Ain Taya, on va voir dans les chapitres suivantes la méthodologie pour régler ce problème technique

Dans les nœuds de secteur des falaises, on remarque que la pression varie de 5 à 7 bars, la variation de la pression sur les 24 h montre que la pression maximale dans la journée est 15 h

La figure ci-dessous montre la variation de la pression sur les 24 h dans quelque nœud dans le secteur des falaises :

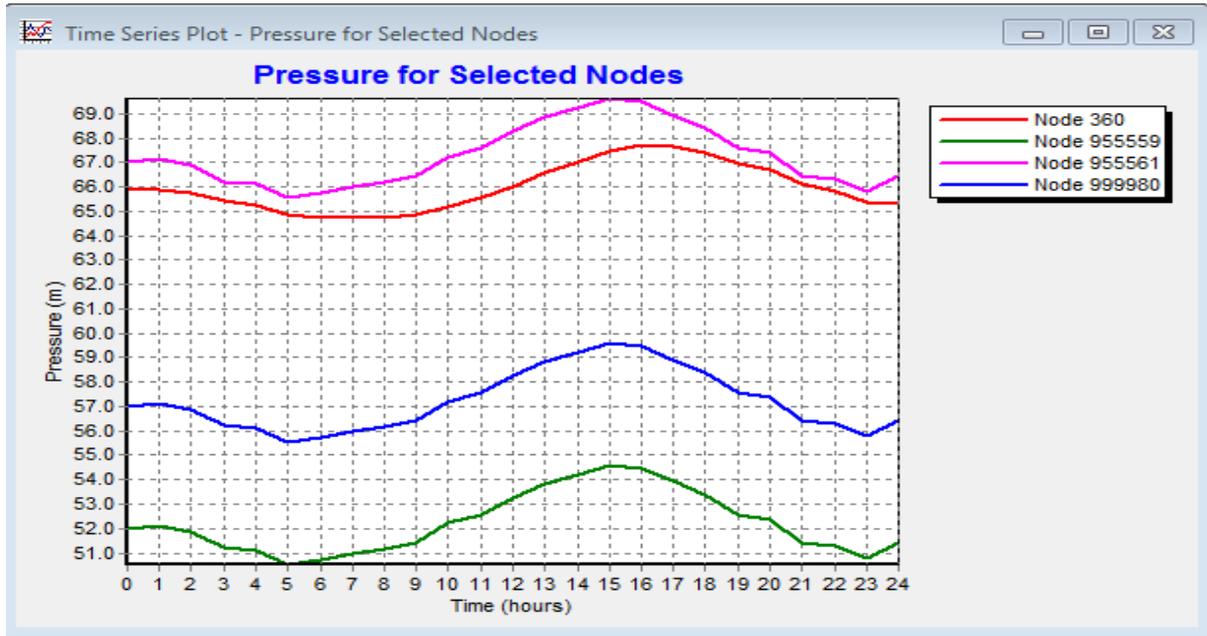


Figure 17 : capture d'écran : profile de pression pour des nœuds dans le secteur des falaises

La figure ci-dessous montre les courbes de distributions de pression dans l'étage d'Englade après simulation :

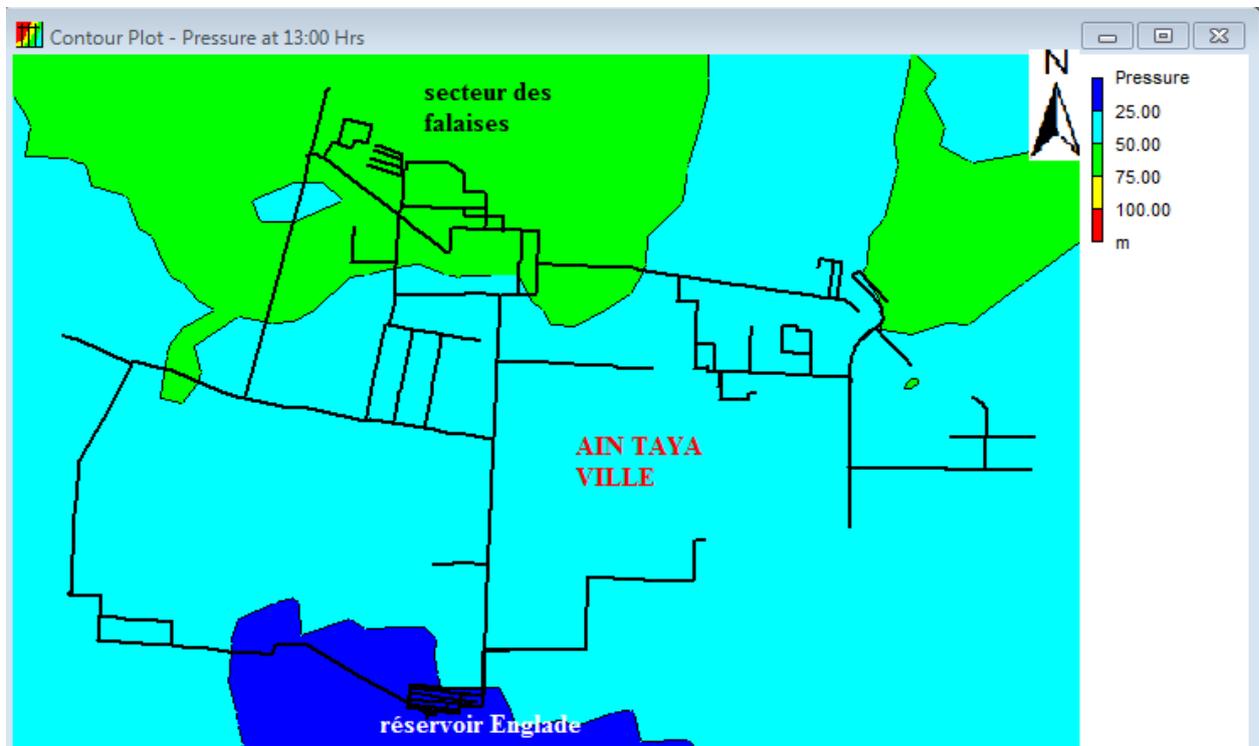


Figure 18: capture d'écran : courbe de distribution de pression instantanée (13:00h) pour l'étage d'Englade

3.2 Simulation cas idéal

Pour ce cas-là, on va prendre une répartition uniforme des abonnées avec un régime de consommation théorique, l'objectif d'étudier le cas idéal c'est de valider le premier cas (réel) Cette validation ne sera pas par une coïncidence des résultats après la simulation, car les hypothèses de départ ne sont pas les même, mais ça va être à titre de comparaison et de voir de degré de liaison entre ces deux cas

3.2.1 Estimation des besoins :

3.2.1.1 consommations moyennes journalières domestiques :

La consommation journalière moyenne est définie comme étant le produit de la dotation moyenne journalière par le nombre d'usagers, soit par la formule suivante :

$$Q_{\text{moy jr}} = N * \text{dot} / 1000 \text{ (m}^3/\text{jr)} \quad (6)$$

Avec :

$Q_{\text{moy jr}}$: le débit moyen journalier en m^3/jr .

N : Le nombre d'habitants en l'an 2017

Dot : la dotation en (l/jr/habitant).

Le nombre d'habitant de la population actuel a était calculer pour le cas réel donc la dotation choisir ça va être en fonction de la population actuel comme suite :

Tableau 14: dotation en fonction du nombre d'abonnées

Population	Dotation (l/habitant/jr)
$P < 2000$	125
$2000 < P < 20.000$	150-200
$20.000 < P < 100.000$	200-300
$P > 100.000$	300-400

3.2.1.2 Consommations moyennes journalières d'autres usagers :

Les autres catégories d'usagers se résument des besoins : sanitaires, scolaires, administratifs et culturels, pour le cas de la ville d'Ain Taya on va considérer que le débit d'équipement égal à 30 % du débit domestique

3.2.1.3 Le débit moyen journalier :

Le débit moyen journalier sera la somme des besoins domestique et les besoins d'équipements :

$$Q_{\text{moy jr total}} = Q_{\text{moy jr domestique}} + Q_{\text{Equipements}} \quad (7)$$

3.2.1.4 le débit maximum journalier :

La consommation maximale journalière représente la journée de l'année où la consommation en eau est la plus grande, et est définie par un coefficient d'irrégularité journalière maximale $K_{\text{max jr}}$. Ce dernier tient compte des variations journalières de la consommation.

Ce coefficient nous permet de savoir de combien de fois le débit maximum journalier dépasse le débit moyen journalier.

Pour le calculer, on calculera le rapport de la consommation maximale journalière sur la consommation moyenne journalière.

Soit :

$$K_{\text{max jr}} = Q_{\text{max j}} / Q_{\text{moy jr}} \quad (8)$$

Avec :

$K_{\text{max jr}}$ est compris entre : (1.1 - 1.3). On prend $K_{\text{max jr}} = 1.3$

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15: récapitulation des besoins en eau de la ville d'Ain Taya

Nombre d'habitants	Dotation (l/j/hab)	Q domestique (m ³ /j)	Q domestique + équipement (m ³ /j)	$K_{\text{max jr}}$	Q max j (m ³ /j)
34346	175	6010,55	7813,71	1.3	10157,823

3.2.2 Régime de consommation :

La variation du débit horaire est exprimée en pourcentage par rapport au débit maximal journalier par :

$$Q_{\max h} = C \% * Q_{\max jr} \quad (9)$$

Avec C% : coefficient de consommation horaire qui dépend du nombre d'habitant

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 16: régime de consommation théorique en fonction du nombre d'habitant

Horaires	Cn %	Q (m ³ /j)	débit cumulé (m ³ /j)
0--1	1,5	152,36	152,36
1--2	1,5	152,36	304,73
2--3	1,5	152,36	457,10
3--4	1,5	152,36	609,46
4--5	2,5	253,94	863,41
5--6	3,5	355,52	1218,93
6--7	4,5	457,10	1676,04
7--8	5,5	558,68	2234,72
8--9	6,25	634,86	2869,58
9--10	6,25	634,86	3504,45
11--11	6,25	634,86	4139,31
11--12	6,25	634,86	4774,18
12--13	5	507,89	5282,07
13--14	5	507,89	5789,96
14--15	5,5	558,68	6348,64
15--16	6	609,46	6958,11
16--17	6	609,46	7567,58
17--18	5,5	558,68	8126,26
18--19	5	507,89	8634,15
19--20	4,5	457,10	9091,25
20--21	4	406,31	9497,57
21--22	3	304,73	9802,30
22--23	2	203,15	10005,46
23--24	1,5	152,36	10157,83
totale	100%	10157,83	/

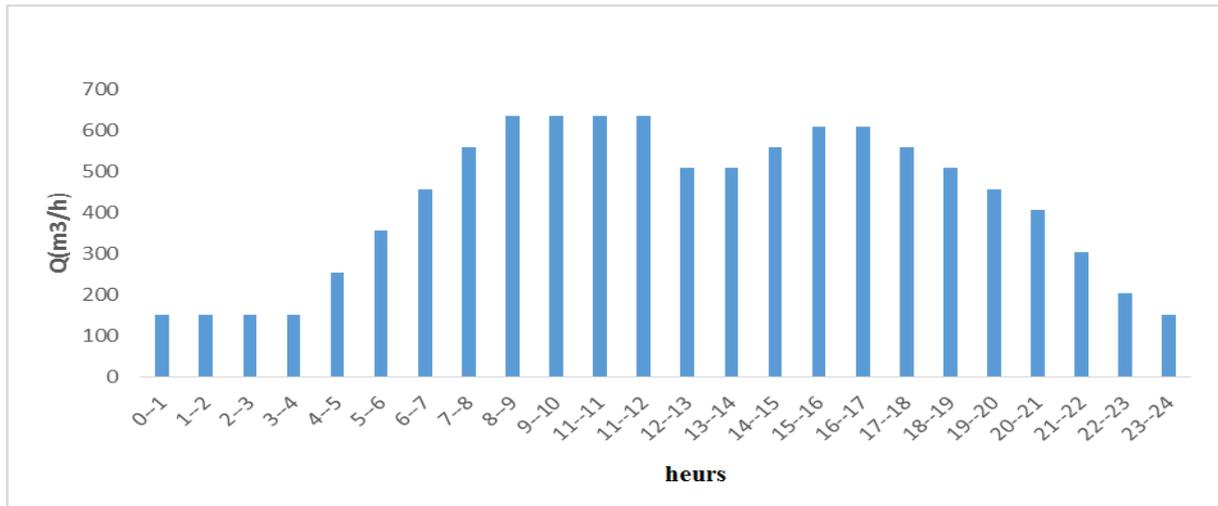


Figure 19: histogramme de consommation de la ville d 'Ain Taya

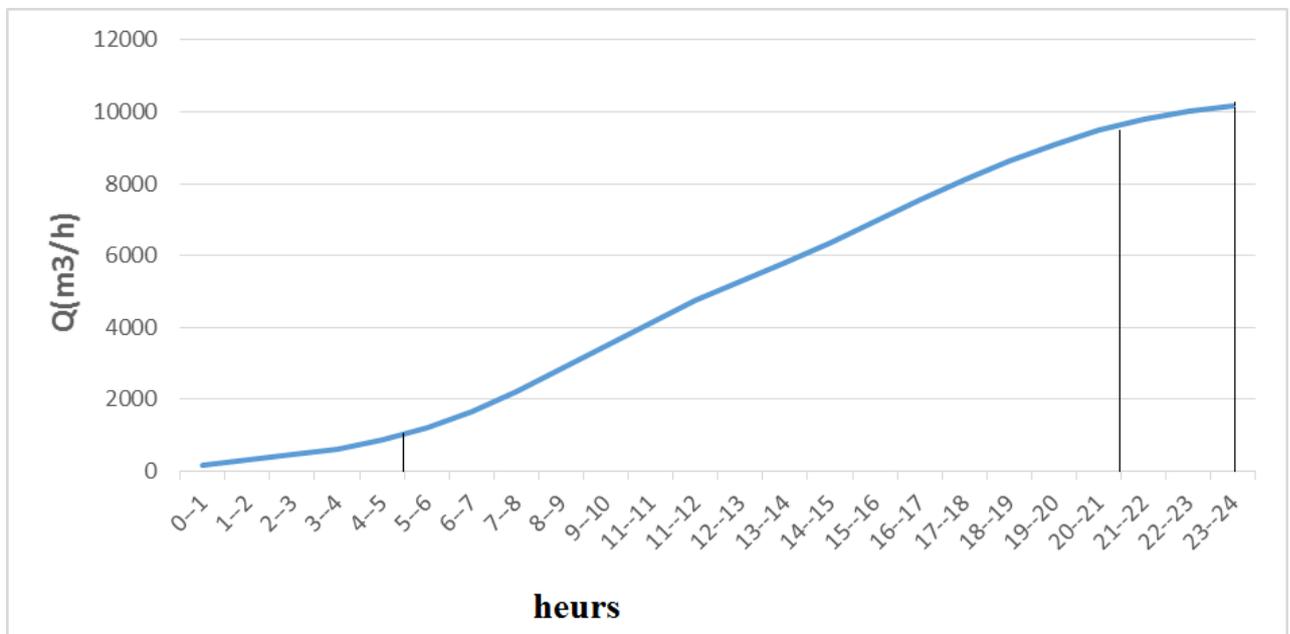


Figure 20: courbe de consommation cumulée

Le graphique de consommation cumulée est formé de trois pentes différentes :

La consommation est légèrement faible de [00-06 h], juste après 06 :00h on remarque un changement de pente important de [06 :00 – 22 :00h], donc le volume consommé dans cette période est le plus important dans la journée

Une baisse de consommation dans l'intervalle horaires de [22 :00- 24 :00], le volume maximum journalier est de l'ordre de 10000 m³/j

3.2.3 Calcule du débit aux nœuds :

- Débit spécifique : Après avoir calculé les longueurs de chaque tronçon, nous avons déterminé le débit spécifique qui est un débit par unité de longueur et se calcul comme suit :

$$Q.s = Q_{route} / \sum L_i \quad (10)$$

$\sum L_i$: représente la somme des tronçons assurant un service en route uniquement

$$Q_{route} = Q_{max\ h} - C_{concentrés} \quad (11) \quad \text{dans notre cas } Q_{concentrés} = 0$$

$$Q.s = 176.35 / 2700 = 0,006531481 \text{ l/s/m}$$

Débites route : Il représente le débit véhiculé par le tronçon et se calcul de cette façon :

$$Q_{route} = q_s * L_i \quad (11)$$

- **Débites aux nodaux** : Au niveau d'un nœud on admet que le débit en route d'un tronçon est divisé en deux et chaque moitié est attribuée à un nœud :

$$Q_n = q_s * \sum L_i / 2 \quad (12)$$

Les résultats de calcul sont représenté le tableau (voir annexe 02)

3.2.4 Simulation sur les 24h :

Après avoir déterminé la demande en eau pour chaque nœuds, on va lancer une simulation sur les 24h, pour cela il faut établir les courbe de modulations, pour le pompage c'est la même courbe du cas de simulation réel

La courbe de modulation de l'agglomération ce détermine de la même façon que le cas précédent, le seul paramétré qui change c'est le régime de consommation

Les résultats de calcul sont représenter dans le tableau ci-dessous :

Tableau 17: coefficient de la courbe de modulation pour le cas idéal

Horaires	régime de consommation	Coefficient de la courbe de modulation
0--1	1,5	0,36
1--2	1,5	0,36
2--3	1,5	0,36
3--4	1,5	0,36
4--5	2,5	0,6
5--6	3,5	0,84
6--7	4,5	1,08
7--8	5,5	1,32
8--9	6,25	1,5
9--10	6,25	1,5
11--11	6,25	1,5
11--12	6,25	1,5
12--13	5	1,2
13--14	5	1,2
14--15	5,5	1,32
15--16	6	1,44
16--17	6	1,44
17--18	5,5	1,32
18--19	5	1,2
19--20	4,5	1,08
20--21	4	0,96
21--22	3	0,72
22--23	2	0,48
23--24	1,5	0,36
totale	100%	24

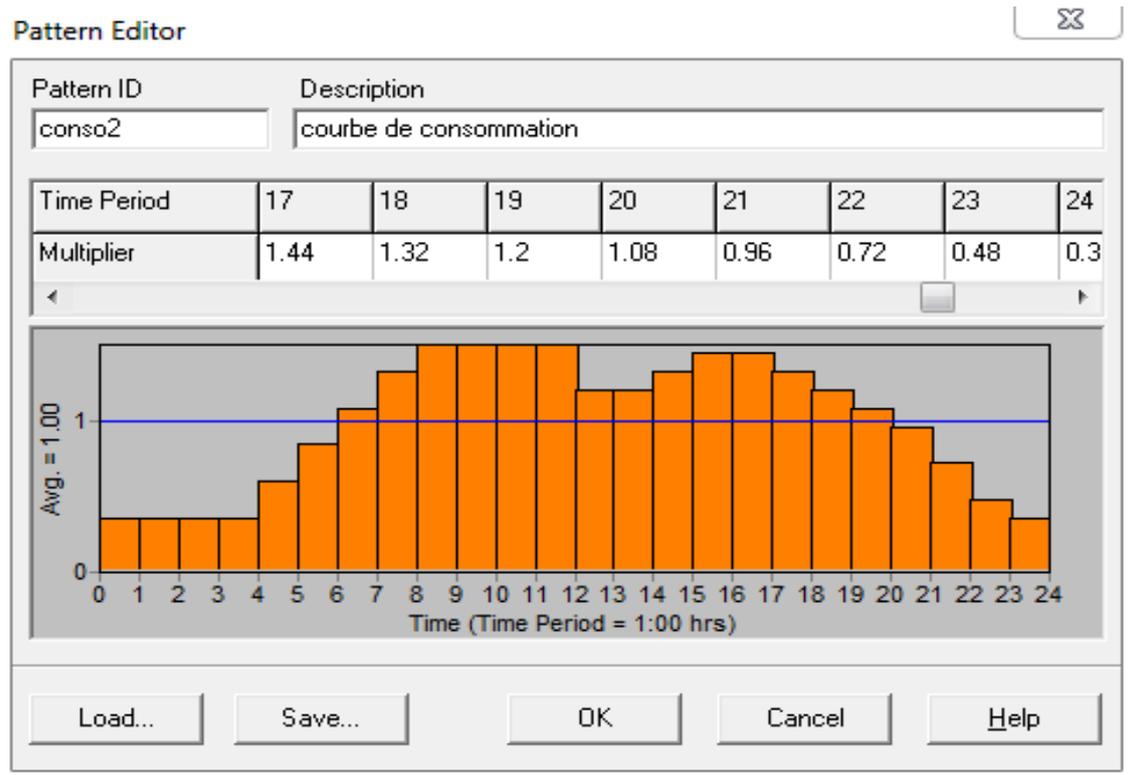


Figure 21 : capture d'écran : courbe de modulation (EPANET)

3.2.5 Interprétation des résultats après la simulation :

Après la simulation, on remarque que le problème de surpression de secteur des falaises est toujours existant, la seule différence entre le cas réel c'est la variation des valeurs de pression sur les 24h, cette variation est due au régime de consommation est de l'influence de la répartition spatial des abonnés.

La figure ci-dessous montre les profils des pressions sur les 24h dans quelque nœuds dans le secteur des falaises :

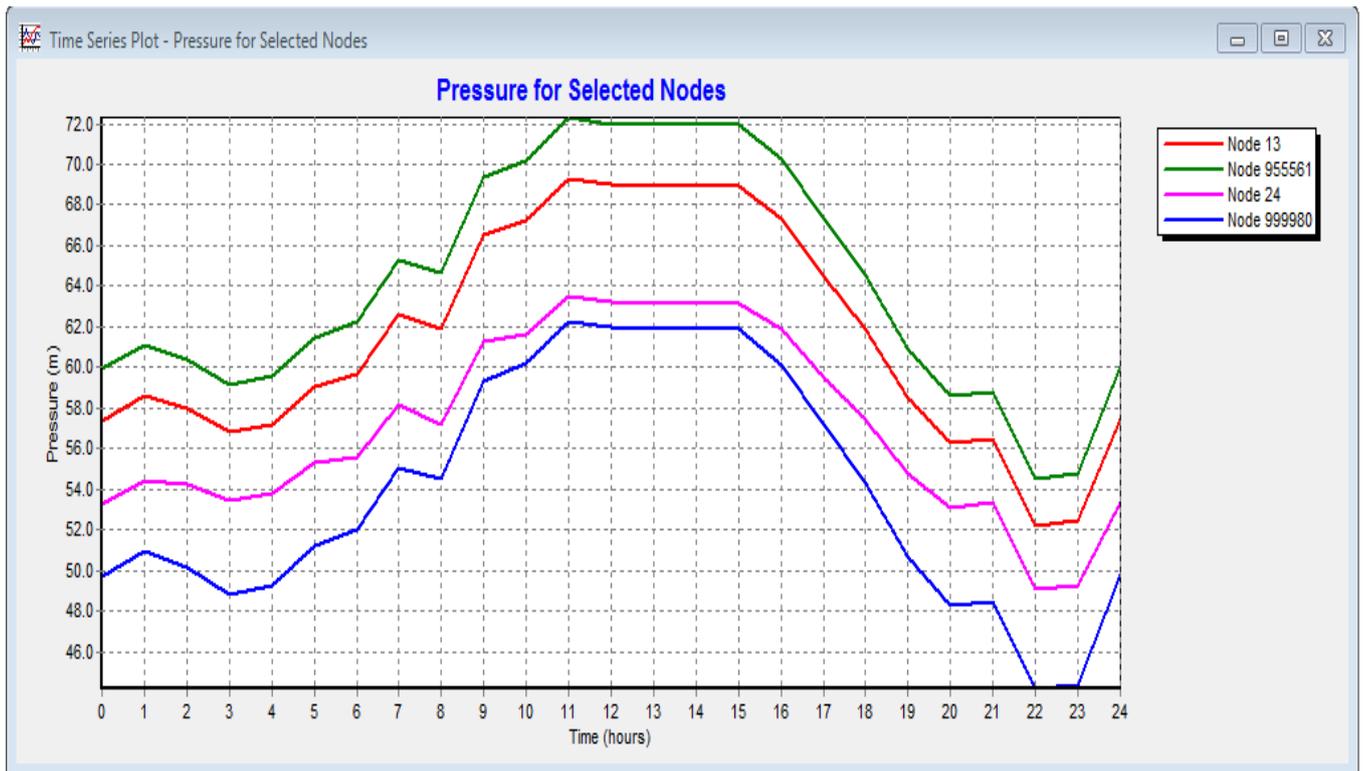


Figure 22: capture d'écran : profils de pression sur les 24h (secteurs des falaises)

On remarque que la variation de pression est de 5 à 7.2 bars, pour les cinq nœuds choisis on remarque qu'entre [11 :00h -16 :00h] la pression atteint la valeur maximale pour les toutes les profiles, une chutes de pression est remarquer entre [22 :00h-23 :00h]

La figure ci-dessous montre les courbes de distribution de pression après simulation pour le cas idéal :

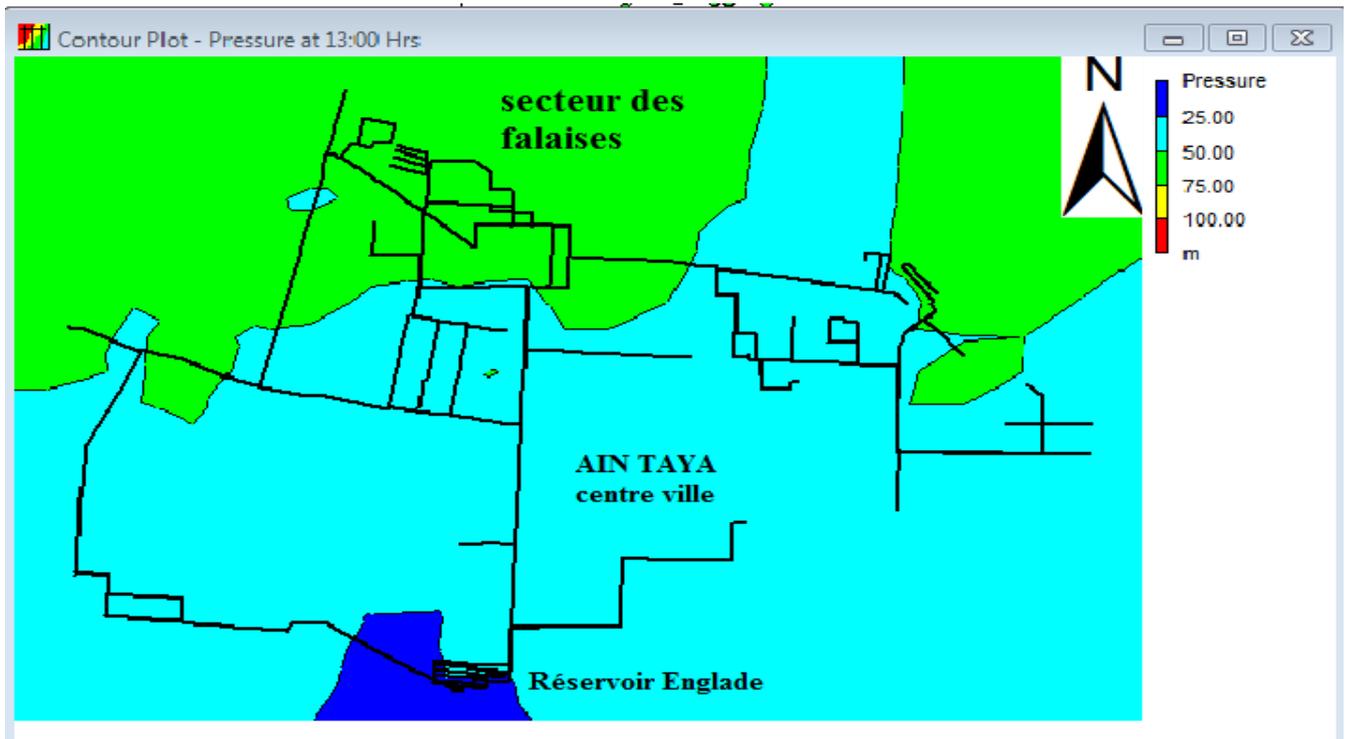


Figure 23: capture d'écran : courbe de distribution de pression instantanée pour l'étage d'Englade

A partir des courbes de distribution de pression on remarque qu'il y a un problème de surpression dans le secteur des falaises. La pression entre 50 à 75 m.c.e

Pour le centre de la ville on remarque que les valeurs de pression sont acceptables, la variation est entre 25 à 50 m.c.e

La seule différence entre les courbes de distribution de pression pour le cas idéal et le cas réel c'est la variation de pression sur les 24 h, et cela est dû à la différence entre les régimes de consommation ainsi que la répartition spatiale des abonnés

3.3 Conclusion :

D'après l'étude comparative entre le cas de simulation réel et idéal, on peut dire que le modèle réel est le plus représentative pour le cadre de la gestion du réseau, car la conception de ce dernier est basée sur des données réelles est des mesures sur terrain.

L'Object d'étudier le cas de simulation idéal. C'est de valider le cas réel mais pas dans la superposition des résultats de simulation car les donner de base ne sont pas les même, mais dont la fiabilité du model réel par rapport au modèle théorique.

Dans le chapitre qui se suit on va voir comment caler le model hydraulique par rapport à des mesures réel sur terrain et comment régler le problème de pression de secteurs des falaises.

CHAPITRE 4 :
CALAGE ET MODULATION DE
PRESSION DE L'ETAGE
D'ENGLADE

CHAPITRE 4 : Calage et modulation de pression de l'étage d'Englade

Introduction :

Les modèles hydrauliques sont des outils de base qui nous aident à la prise de décision, dans le cadre de la gestion des réseaux d'eau potable, cependant un modèle avec des hypothèses qui ne se confirment pas sur terrain (diamètre des conduites mal connus, rugosité évaluée sans l'avoir vérifiée, topographie estimée, fonctionnement hydraulique non permanent...etc.) non seulement inutile mais conduira à des erreurs, voire un non fonctionnement complet du projet.

Pour cela un calage de l'étage d'Englade est nécessaire, pour pouvoir régler le problème de pression dans le secteur des falaises

4.1 Principe de calage d'un modèle hydraulique :

Le principe de calage d'un réseau d'eau potable : c'est de lancer une campagne de mesures et comparer les valeurs simulées à travers l'outil de simulation et les valeurs mesurées sur terrain.

Dans le cas où il y a une différence entre ces deux valeurs, on essaie de rendre les valeurs simulées égales aux valeurs mesurées, pour que le modèle soit fiable et avoir une représentation beaucoup plus réaliste

Le calage du réseau se fait suivant paramètres :

- Un calage sur le débit
- Un calage sur la pression

Un calage sur le débit se fait en changeant les valeurs des coefficients de la courbe de modulation pour les différents consommateurs, de telle sorte à avoir l'égalité.

Un calage sur la pression se fait en changeant les valeurs de la rugosité hydraulique des conduites pour calibrer la pression simulée par rapport aux mesures réelles

Pour le cas de l'étage d'Englade et vu l'absence des mesures des débits, on va procéder juste par un calage sur la pression.

4.2 Procédure du calage pour l'étage d'Englade :

4.2.1 Repérer Les points de mesures :

Pour caler le réseau sur la pression, des manomètres sont installés sur 5 points de mesures dans la ville d'Ain Taya pour une période de 4 jours, des enregistrements des valeurs de pression sont reliés à la BDLT (base de données à long terme)

Vu que le modèle est conçu pour une durée de 24h, on va caler le modèle par rapport à la journée où les pressions sont maximums

Les résultats de mesures sont représentés dans le tableau ci-dessous :



Figure 24: les 05 points de mesures pour l'étage d'Englade

Tableau 18: mesures de pression sur les 24h pour les 05 points de mesure

360		361		362		363		364	
Heurs	Pression (m)								
00 :00	53	00 :00	56	00 :00	54	00 :00	45	00 :00	41
01:00	56	01:00	58	01:00	55	01:00	47	01:00	44
02:00	56	02:00	59	02:00	56	02:00	47	02:00	44
03:00	57	03:00	59	03:00	56	03:00	48	03:00	45
04:00	57	04:00	60	04:00	57	04:00	49	04:00	45
05:00	57	05:00	60	05:00	57	05:00	49	05:00	45
06:00	56	06:00	59	06:00	56	06:00	49	06:00	44
07:00	52	07:00	57	07:00	54	07:00	48	07:00	41
08:00	46	08:00	55	08:00	50	08:00	44	08:00	30
09:00	45	09:00	53	09:00	50	09:00	43	09:00	29
10:00	37	10:00	49	10:00	46	10:00	40	10:00	22
11:00	30	11:00	48	11:00	45	11:00	37	11:00	21
12:00	32	12:00	48	12:00	46	12:00	36	12:00	21
13:00	33	13:00	50	13:00	46	13:00	38	13:00	25
14:00	41	14:00	49	14:00	46	14:00	39	14:00	26
15:00	40	15:00	50	15:00	48	15:00	39	15:00	30
16:00	42	16:00	51	16:00	48	16:00	40	16:00	30
17:00	45	17:00	52	17:00	49	17:00	41	17:00	31
18:00	41	18:00	52	18:00	47	18:00	40	18:00	33
19:00	43	19:00	51	19:00	48	19:00	41	19:00	25
20:00	36	20:00	52	20:00	46	20:00	40	20:00	22
21:00	35	21:00	51	21:00	50	21:00	40	21:00	27
22:00	40	22:00	52	22:00	50	22:00	42	22:00	34
23:00	46	23:00	55	23:00	53	23:00	44	23:00	38
00 :00	53	00 :00	56	00 :00	54	00 :00	46	00 :00	41

4.2.2 Introduire les données de mesures au model hydraulique :

Epanet permet de de comparer les résultats d'une simulation avec les mesures faites sur terrain, le logiciel permet d'étalonnage des résultats avec le graphe d'évolution au coures du temps dans quelque point données, au coures du temps avec les rapports calages, ce dernier ne peut utiliser les données de calage si sont structuré dans un fichier texte avec une syntaxe bien déterminer.

La figure ci-dessous montre la structure d'un fichier de calage :

```

: les mesures de pression etage de ENGLADE
: localisation date valeur
:-----
360 0:00 53
 01:00 56
 02:00 56
 03:00 57
 04:00 57
 05:00 57
 06:00 56
 07:00 52
 08:00 46
 09:00 45
 10:00 37
 11:00 30
 12:00 32
 13:00 33
 14:00 41
 15:00 40
 16:00 42
 17:00 45
 18:00 41
 19:00 43
 20:00 36
 21:00 35
 22:00 40
 23:00 46
    
```

Figure 25: structure d'un fichier de calage

4.2.3 Rapport de calage

Après avoir introduire le fichier de calage, le rapport donné par Epanet est présente comme suit :

Tableau 19: rapport de calage Epanet

point de mesures	nombre observé	moyenne observé (m)	moyenne simule (m)	erreur moyen	Erreur quadratique Moyen
360	24	44,83	65,99	21,15	23,02
364	24	42,75	57,99	15,24	15,94
361	24	53,58	58,38	5,69	6,82
362	24	50,54	49,77	4,42	4,94
réseau	96	47,93	58,03	11,63	14,62
coefficient de corrélation = -0,443					

Les figures ci-dessous montrent les profils de pression simulé et mesurer avant le calage

CHAPITRE 4 : Calage et modulation de pression de l'étage d'Englade

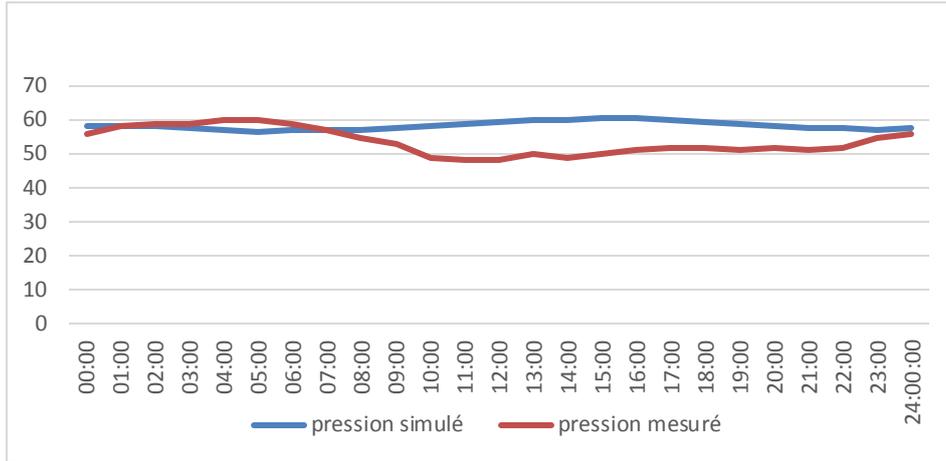


Figure 26: profile de pression dans le point de mesure 361

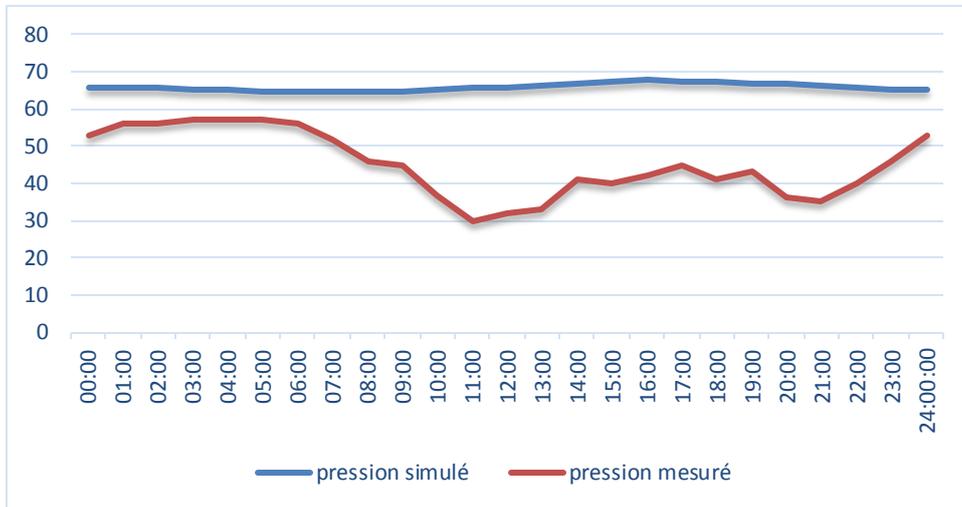


Figure 27: profile de pression point de mesure 360

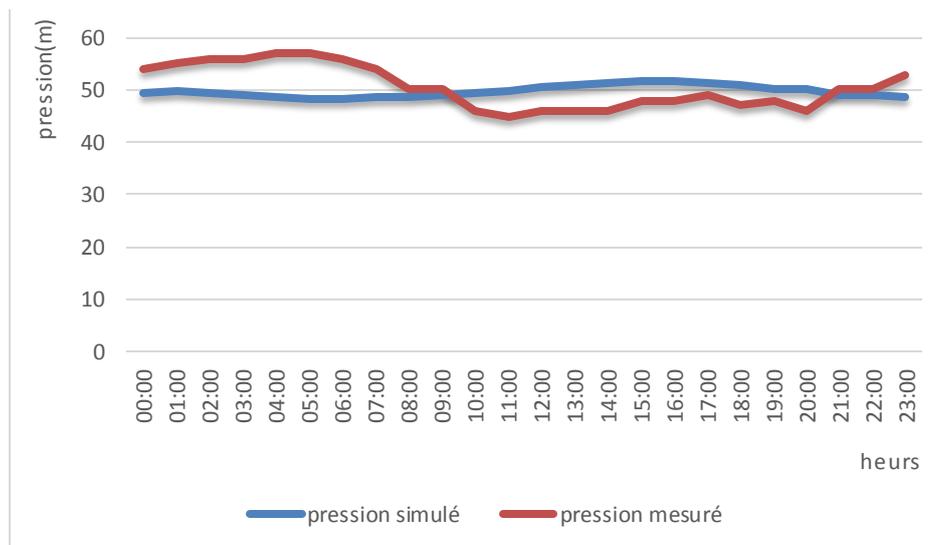


Figure 28 : profile de pression point de mesure 362

CHAPITRE 4 : Calage et modulation de pression de l'étage d'Englade

On remarque qu'il y a une différence entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées sur terrain, cette différence est due à l'estimation des paramètres hydraulique de calcul en majeure partie. Pour cela on va procéder par un calage sur la rugosité, le principe est de jouer sur les valeurs de la rugosité des conduites jusqu'à avoir les pressions simulées égales aux pressions mesurées.

On changeant les valeurs de la rugosité, les pertes de charges vont changer dans les conduites est de cette façon-là qu'on peut calibrer les pressions simulées par rapport aux mesures réelles sur terrain.

L'objectif c'est d'avoir un coefficient de corrélation proche de 1, ce coefficient nous renseigne sur le degré de liaison entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées.

Le rapport de calage après les modifications avec les résultats est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 20: rapport de calage (Epanet) après modification

point de mesures	nombre observé	moyenne observé (m)	moyenne simulé (m)	erreur moyen	Erreur quadratique Moyen
360	24	44.83	40.89	12.088	13.956
364	24	42.75	39.90	9.665	11.285
361	24	53.85	53.99	4.458	4.959
362	24	50.54	49.53	4.501	5.040
réseau	96	47.93	46.08	7.678	9.645
Coefficient de corrélation égale : 0.994					

(Simulation EPANET)

Après calage nous avons pu obtenir un coefficient de corrélation égale 0.99 qui est proche de 1, le calage se fait sur les valeurs moyennes on changeant la rugosité hydraulique des conduites de façon arbitraires, on vérifiant à chaque fois la valeur de coefficient de corrélation la figure ci-dessous montre le diagramme de corrélation :

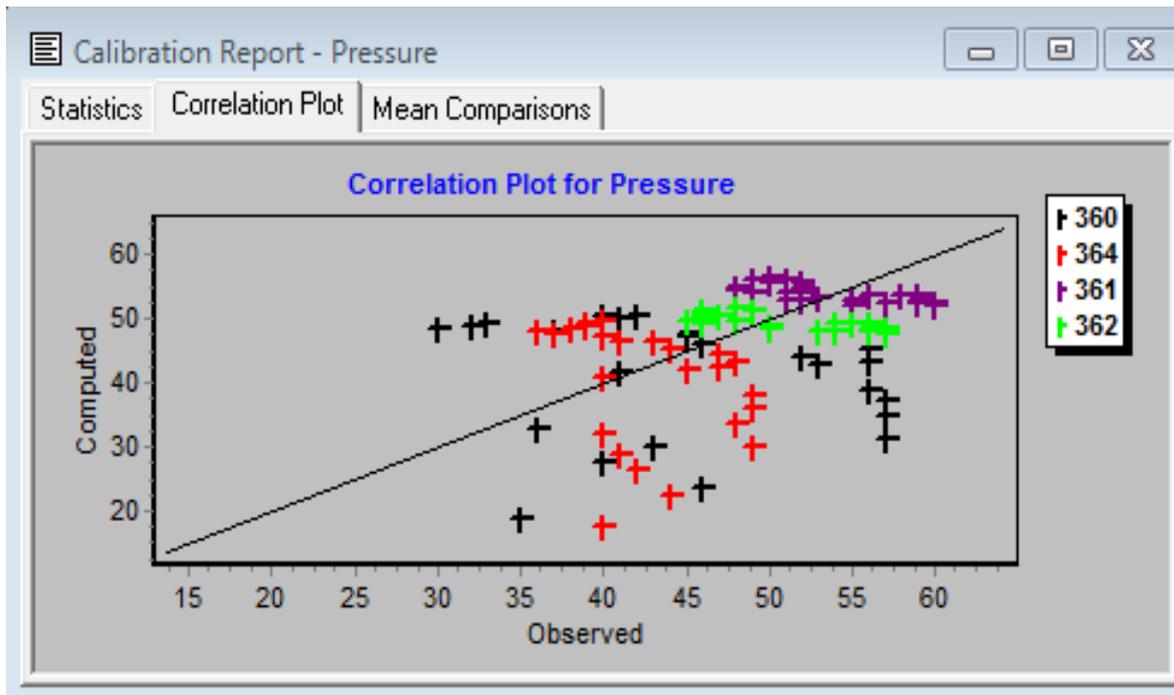


Figure 29: capture d'écran : diagramme de corrélation pour les pressions

Pour un calage parfait on doit avoir plusieurs point de mesure, le calage ne se fait pas manuellement mais à travers un programme de calcul, le programme donne des valeurs de rugosité en comparant à chaque fois la valeur du coefficient de corrélation, la figure ci-dessous montre la comparaison entre les valeurs moyenne de pression pour le cas d'étude :

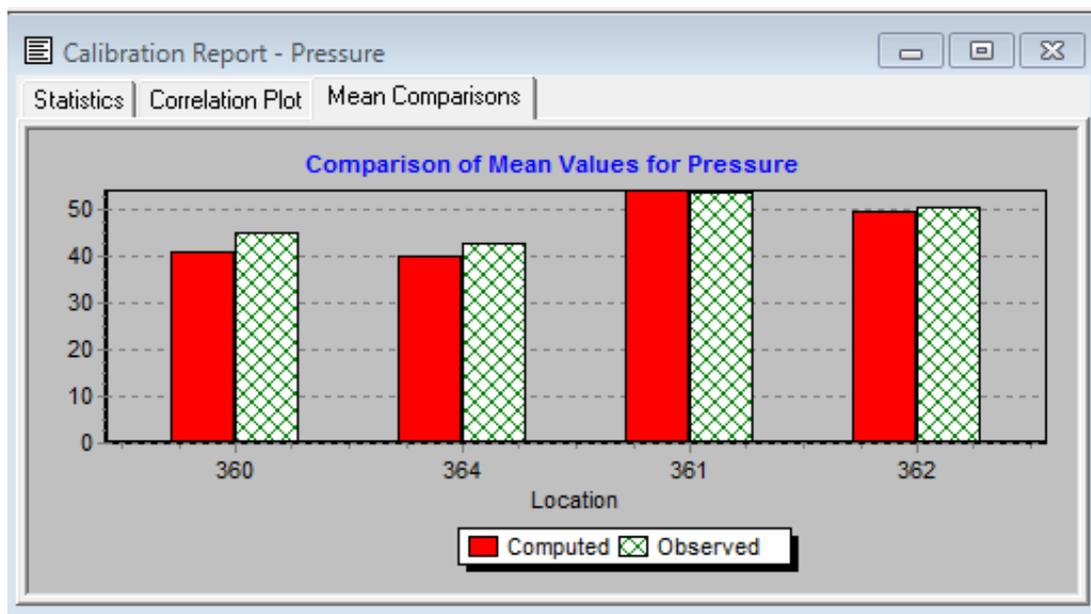


Figure 30: capture d'écran : comparaison des valeurs moyennes pour les pressions

CHAPITRE 4 : Calage et modulation de pression de l'étage d'Englade

Comme le calage est fait manuellement sur la rugosité, les profils de pressions des valeurs mesurées et des valeurs simulés, ne superpose pas dans les 24 h la figure ci-dessous montre les profils de pression après calage :

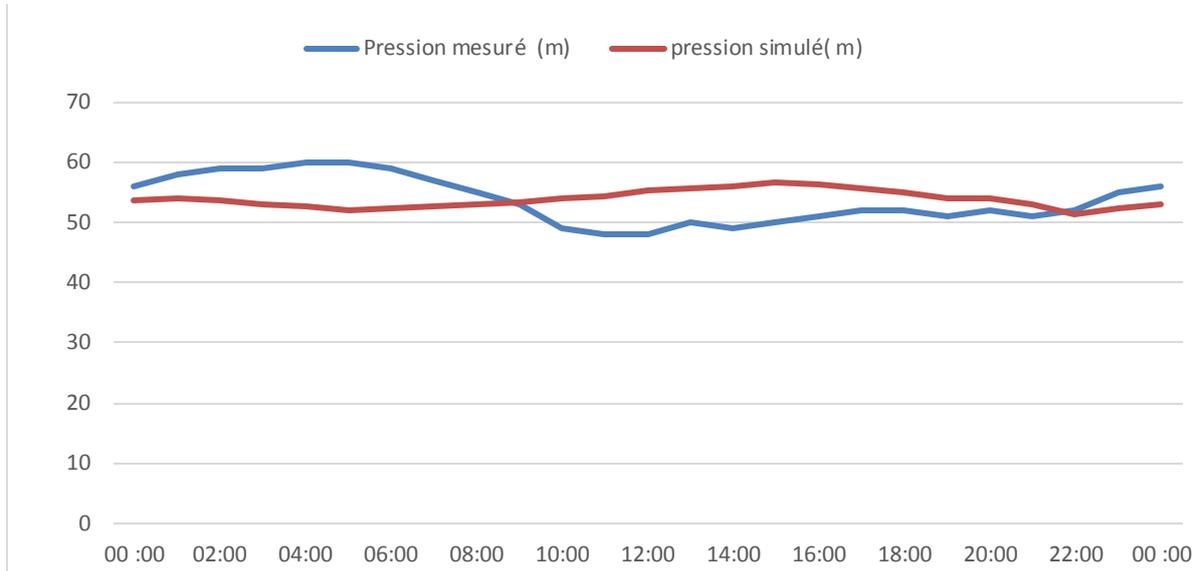


Figure 32 profile de pression après calage point de mesure 361

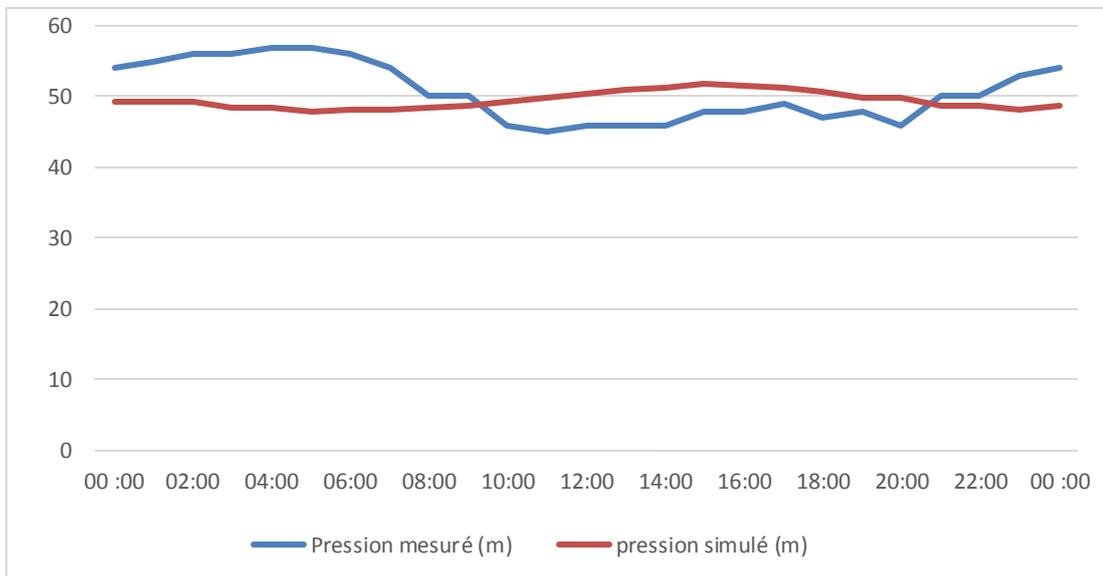


Figure 31 profile de pression après calage 361

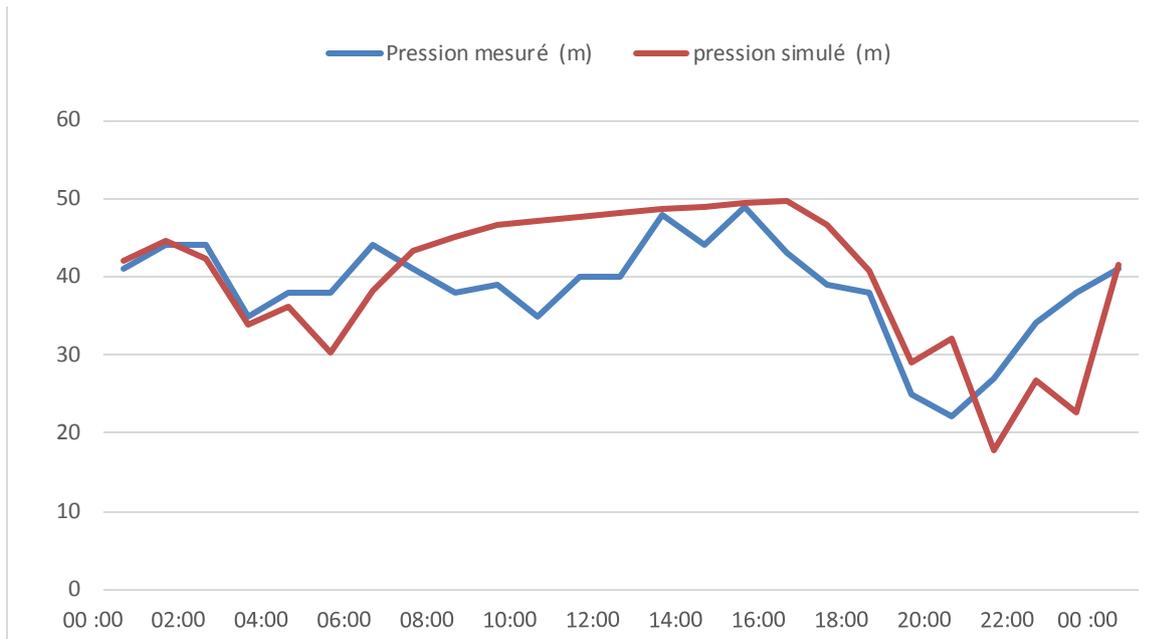


Figure 33: profile de pression après calage point de mesure 364

4.3 Problème de pression pour le secteur des falaises :

Après la simulation et le calage du modèle par rapport aux mesures réelles sur terrain, on remarque toujours qu'il y a toujours le problème de surpression pour le secteur des falaises, la pression au sol est entre 5 à 6.5 bars

Théoriquement c'est des valeurs acceptables, mais sur le plan pratique on 'accepte des valeurs entre 4 à 4.5 bars. Si la pression dépasse cette gamme de pression toutes les accessoires qui ne supportent pas cette pression seront endommagés par le temps, c'est pour cela qu'on va procéder par une réduction de pression dans le secteur des falaises par installations des vannes de réductions de pression.

4.3.1 Vannes de réduction de pression :

4.3.1.1 Définition :

Les vannes sont des arcs qui permettent de contrôler la pression ou le débit en un point du réseau. Leurs principaux paramètres d'entrée sont :

- Les nœuds d'entrée et de sortie.
- Le diamètre.
- La consigne de fonctionnement.
- L'état de la vanne (ouvert ou fermé)

4.3.1.2 types des vannes fournies par l'outil de simulation Epanet :

- **Vannes stabilisatrice aval** : limite la pression aux nœuds aval, on peut voir l'état de la vanne à chaque instant dans la simulation, on peut avoir trois cas possible :

- ❖ partiellement ouverte : maintenir une pression aval correspondante à la consigne donné quand la pression en amont est supérieur à la consigne donner
- ❖ Entièrement ouvert : si la pression en amont est en dessous à la consigne donner
- ❖ Fermer : si la pression en amont est supérieur à la pression aval (la vanne ne permet pas de l'inversion du sens d'écoulement)

- **Vannes stabilisatrice amont** : maintient une pression prédéterminée au nœud en amont.

Epanet calcule à chaque instant de la simulation dans quel état la vanne stabilisatrice amont se trouve. Il y a trois états possibles :

- ❖ Partiellement ouvert (c'est-à-dire, en régulation) pour maintenir une pression en amont qui corresponde à la consigne voulue, quand la pression en aval est plus basse que la pression de la consigne
- ❖ Entièrement ouvert si la pression en aval est au-dessus de la consigne souhaitée
- ❖ Fermé, si la pression en aval excède celle du côté amont

- **Vanne réductrice de pression** : provoque une perte de pression spécifique au passage de la vanne. L'écoulement à travers la vanne peut s'effectuer dans les deux sens. Les vannes réductrices de pression peuvent être utilisées pour modéliser des situations dans lesquelles on sait qu'il se produit une chute de pression.

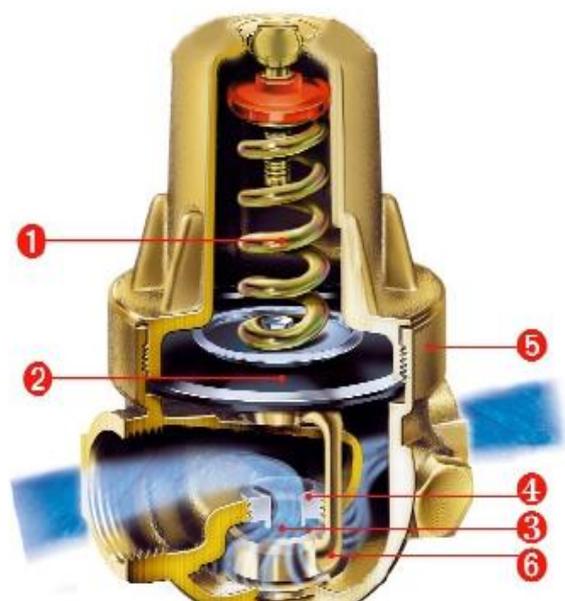
- **Vanne régulatrice de débit**

-vanne diaphragme

-vanne d'usage général

Pour régler le problème de pression concernant le secteur des falaises, on va installer des réducteur de pression, Le principe est assez simple : l'appareil est composé d'une membrane qui est montée sur un ressort et qui bouche le passage. Lorsque l'eau passe dans le réducteur de pression avec un débit important, sa force vient s'opposer à celle du ressort pour pousser la membrane et libérer le passage. Ainsi, plus la pression exercée au niveau du ressort sera importante, moins le débit sera élevé à la sortie.

La figure ci-dessous montre le principe de fonctionnement :



- 1-ressort inoxydable à grandes spires et haute sensibilité
- 2- membrane
- 3-clapet à haute température
- 4-siege en acier inox
- 5- corps mono-bloque
- 6- Un ensemble étrier/clapet

Figure 34; réducteur de pression

Les caractéristiques des vannes installer est représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21: caractéristiques des vannes de réduction de pression

Identifiant des vannes	Identifiant Nœuds de départ	Identifiant Nœuds d'arriver	Consigne (m)	Les cordonnées spatial dans le SIG
13	28	7	10	X= 524900.90 m Y= 4071373.41
14	955538	999989	10	X= 525441.57 Y= 4071583.67
15	999951	955704	10	X=526001.12 Y=4071774.09
16	35	13	10	X=525118.22 Y= 4072192.90

4.3.2 Interprétation des résultats :

Après avoir installé les 04 vannes de réduction de pression, on remarque qu'il y a une baisse de pression dans le secteur des falaises, la variation de pression sur les 24h varie entre 20 et 45 m, les figures ci-dessous montre la variation de pression dans le secteur des falaises :

CHAPITRE 4 : Calage et modulation de pression de l'étage d'Englade

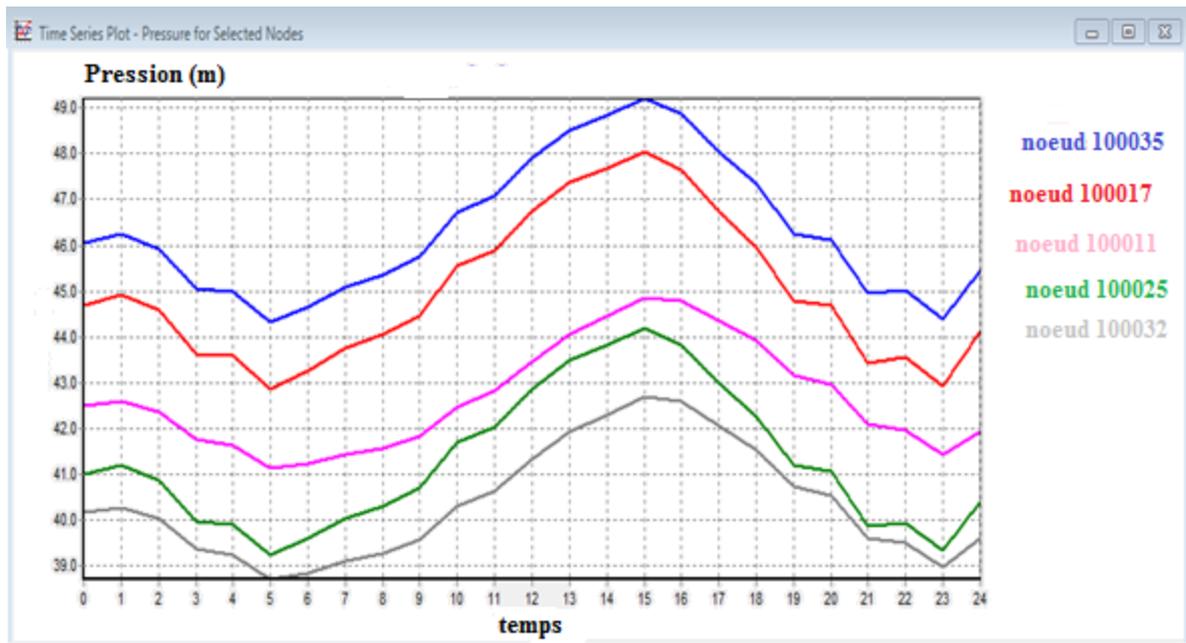


Figure 35: profile de pression après l'installation des vannes

Après l'installation des vannes de réduction de pression on remarque une baisse de pression dans la majorité des nœuds dans le secteur des falaises, la chute de pression est d'environ de 20 mètre, avant l'installation des vannes la pression est de l'ordre de 60 à 70 mètre, juste après l'installation des vannes de réduction, on remarque des valeurs de pression de l'ordre de 40 à 49 m,

Les profils des pressions n'a pas changer après l'installation des vannes, tel qu'on remarque toujours des valeurs de pressions maximales a 15 : 00h avec une pression minimales a 05 : 00h

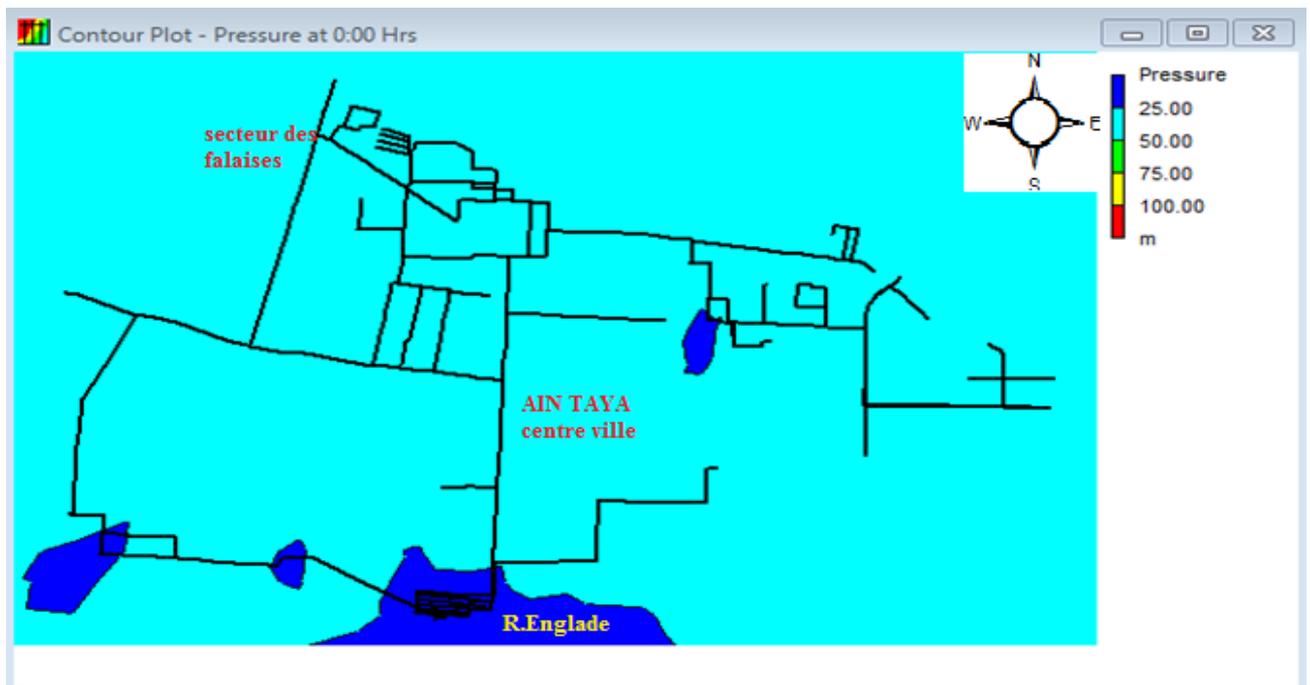


Figure 36: capture d'écran : courbe de distributions de pression après l'installation des vannes

4.4 Conclusion

Le calage des réseaux par rapport aux mesures réelles est une phase importante dans la conception d'un modèle hydraulique de gestion, ce modèle doit être calé par rapport aux deux paramètres (débit et pression) pour qu'il soit représentatif du comportement réel hydraulique, dans notre cas le calage nous a permis de faire le choix des vannes et régler le problème de pression concerné le secteur des falaises.

Pour qu'on peut régler les problèmes techniques dans les réseaux de distributions, le modèle hydraulique doit être couplé avec d'autres outils de gestion, pour prendre en considération toutes les conditions en charges, on a vu l'influence des SIG dans la conception des modèles hydrauliques dans les chapitres précédents, dans le chapitre qui se suit on va voir qu'elle est le rôle de la télégestion dans le cadre de la gestion des réseaux d'eau potable.

CHAPITRE 5 : CONCEPTION D'UN SYSTEME DE TELEGESTION

Introduction

Dans le cadre de la gestion des réseaux d'eaux potables, la conception d'un système de télégestion est parmi les solutions techniques qui répond aux besoins des gestionnaires. L'automatisation des tâches est la rapidité dans l'exécution pour résoudre les problèmes techniques dans les réseaux de distributions favorise l'installation de ces systèmes par rapport à l'intervention humaine.

Dans ce chapitre on s'intéresse à intégrer la télégestion comme outil pour :

- le comptage intelligent des paramètres hydrauliques (débit et pression)
- le contrôle et le suivi du réseau à distance
- protection des accessoires

Le couplage des systèmes de télégestion avec Le SIG nous permet de mieux contrôler le réseau et avoir des informations au temps réels et géoréférencier par rapport à l'espace

5.1 Présentation d'un système de télégestion :

5.1.1 Définition :

La télégestion désigne l'ensemble des produits qui mettent en œuvre les technologies de l'informatique, de l'électronique et des télécommunications, afin de permettre un contrôle à distance des installations techniques géographiquement réparties ou isolées.

Dans les réseaux d'eaux, le système permet de surveiller depuis un poste de contrôle centralisé le fonctionnement du réseau et de détecter très rapidement d'éventuels dysfonctionnements, en cas de panne ou défaut, l'alerte est automatiquement et immédiatement transmise au personnel de maintenance.

La possibilité d'établir un diagnostic immédiat et de pouvoir agir à distance nous permet de réduire le temps d'interruption de service. Sur apparition d'une panne, le personnel de maintenance intervient sur l'installation en connaissant l'origine de l'incident. Il peut alors prévoir le matériel de rechange adéquat.

5.1.2 Les ouvrages reliés à la télégestion dans les réseaux d'eau potable :

Les ouvrages hydrauliques qui peuvent être connectés au système de télégestion dans les réseaux de distribution d'eau potable sont :

- ✓ Les stations de pompes
- ✓ Les bâches et les réservoirs
- ✓ Stations de traitements
- ✓ Les vannes et les canalisations

CHAPITRE 5 : Conception d'un système de télégestion

✓ Les supresseurs

L'objectif de relier les équipements à ce système c'est de limiter le déplacement et l'intervention humaine, en plus on peut assurer une continuité de contrôle et de service et optimiser le fonctionnement du réseau ainsi que d'intervenir rapidement en cas de problème.

5.1.3 Les apports de la télégestion dans les réseaux d'eau potable

- ❖ Contrôler en permanence les installations et le réseau
- ❖ Agir à distance sur les équipements contrôlés
- ❖ Automatiser le fonctionnement des installations
- ❖ Optimiser l'exploitation du réseau :
 - Gestion optimale des ressources
 - Economie d'énergie
 - Réduction des coûts d'intervention et de déplacements
 - Réduction des fuites et de l'eau non facturée
- ❖ Disposer d'une base de données sur le réseau
- ❖ Faciliter la maintenance des équipements
- ❖ Améliorer le service des abonnés
- ❖ Respecter des normes environnementales (éviter les sanctions)
- ❖ Réduction du temps de rupture des services
- ❖ Améliorer le rendement des réseaux d'eau potable
- ❖ Mémorisation des courbes de débits et de pression

5.2 Télégestion dans la production d'eau potable :

Intégrer la télégestion dans les réseaux de production nous permettront de réduire les pertes d'eaux physiques et contrôler le système à distance, l'installation des équipements de comptage et de contrôle doit être dans :

✓ Les forages

On peut contrôler un forage de production à travers un système de télégestion par :

- mesure de niveau et débit des forages
- contrôle de marche des pompes
- commande et automatisme de pompage
- contrôle de disjonctions, des défauts dans le pompage

✓ Les stations de traitement :

- mesure de niveaux d'eaux, débit, pression
- mesure de la qualité de l'eau (PH, la turbidité)

CHAPITRE 5 : Conception d'un système de télégestion

- commande des pompes et des vannes
- contrôle de processus et l'automatisme
- suivre les temps de fonctionnement
- comptage de volume d'eaux traité

✓ les réservoirs et les châteaux d'eaux :

- Mesure de niveau d'eaux et pression
- Alarme de débordement du réservoir
- Comptage de volume d'eau distribué à partir du réservoir
- Intrusion et contrôle d'accès

5.3 Télégestion dans les réseaux de distribution :

Dans les réseaux de distribution d'eau potable on fait appliquer le principe de sectorisation, ce dernier nous permet de contrôler le réseau et avoir une vision globale sur la consommation

Le suivi de la variation des paramètres hydrauliques (débit et pression) au temps réel nous renseigne sur le comportement hydraulique du réseau, pour cela on s'intéresse à installer :

5.3.1 Les regards du comptage pour chaque secteur :

A l'entrée de chaque secteur on va installer un appareil de mesure, à partir des mesures on peut :

- Télérelève des compteurs de sectorisation
- Calcule et enregistrement des débits moyens journaliers et nocturnes
- Contrôle de seuil d'alerte
- Mesures de pression
- Détection des fuites

5.3.2 Compteurs clients (gros consommateurs) :

Dans le cas des grands consommateurs existants dans le réseau de distributions, suivre la consommation de ces derniers est important, surtout dans le cas de la recherche des fuites

Le principe de la recherche des fuites est basé sur les mesures du débit nocturne à travers des mesures de débit de fuite (SETP TEST), dans le cas d'un gros consommateur qui n'est pas décaler ou classifier, on peut confondre entre le débit nocturne et le débit de consommation pour le gros consommateur, c'est pour cela qu'un système de télégestion doit être installé pour ce dernier dans l'objectif de :

- Télérelève des compteurs des gros consommateurs
- Mesures de pression

- Contrôle de seuil de consommation
- Enregistrement des régimes de consommation et le débit moyen journalier

5.4 Structure d'un système de télégestion :

5.4.1. Présentation d'un système SCADA :

SCADA (**Supervisory Control And Data Acquisition**) est une plateforme matérielle et logiciel de commande et de contrôle des processus industriels surtout ceux qui présentent une grande complexité du point de vue processus de production ou d'implantation géographique

Dans les procédés de production modernes, privés, la télémétrie est souvent nécessaire pour connecter des équipements et systèmes séparés par de grandes distances, Cela peut aller de quelques mètres à des milliers de kilomètres.

La télémétrie est utilisée pour envoyer des commandes, des programmes et recevoir des informations de surveillance de ces sites distants

SCADA se réfère à la combinaison d'acquisition de données et de télémétrie. SCADA englobe la collecte de l'information, et le transfert des données vers le site central

La réalisation de toutes les analyses de contrôle nécessaires et puis l'affichage de ces informations sur un ou plusieurs écrans opérateur. Les actions de contrôle nécessaires sont ensuite acheminées vers le processus par le biais d'un réseau de terrain

La figure ci-dessous montre la structure d'un système SCADA :

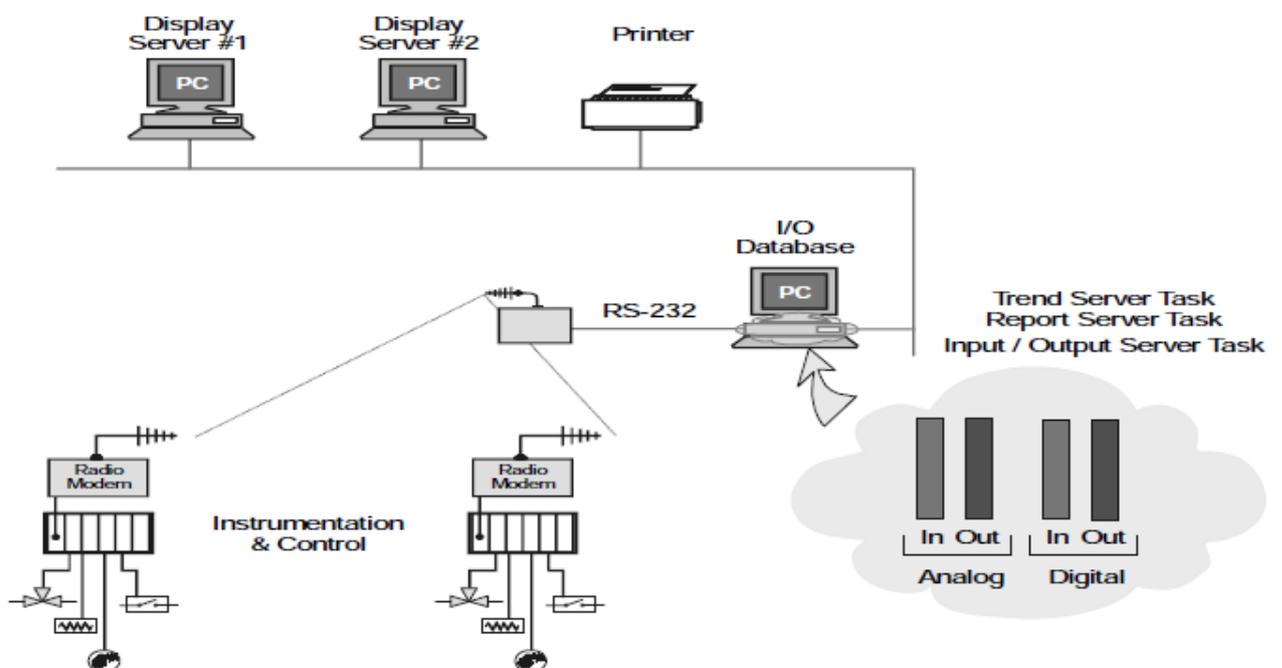


Figure 37: système SCADA typique (BOUNNAH.Y 2014)

5.4.2 Les équipements de la télégestion :

5.4.2.1 Les postes locaux de la télégestion (RTU et Data loggers) :

C'est des boîtiers électroniques raccordées aux éléments à contrôler, ces derniers contrôlent et enregistrent les informations surveillées pour les transmettre vers un poste centrale ou des agents d'astreintes, ainsi qu'automatisent le fonctionnement des éléments à contrôlés

5.4.2.2 Les postes centraux de la télégestion (SCADA) :

Ont pour rôle de tenir informé l'opérateur du bon fonctionnement des équipements auxquels ils sont reliés à travers des logiciels qui assurent la centralisation et le traitement des informations provenant des postes locaux.

Dans ces postes on fait le traitement des informations selon le besoins, par exemple :

- L'archivage des informations pour établir des bilans pour la gestion
- Transfert des données et la construction des courbes
- Gestion d'alarme en cas de problème signalé

5.4.3 Réseau de communication dans les systèmes de télégestion :

La transmission de l'information des postes locaux vers les postes centraux ce fait à travers :

- Les réseaux basés sur Ethernet : (réseau câblé)
- Des puces GSM
- Fréquence radio
- GPRS, les fibres optiques, WIFI

5.4.4 Interface homme - machine :

Les avantages d'un logiciel de contrôle d'un system automatisé pour la gestion sont :

- Vision globale de l'état du réseau
- Valeurs actualisées de façon permanente
- Modification des paramètres de fonctionnement et forçages manuels
- Forçages manuels clairement signalés
- Affichage des alarmes
- Quittance des alarmes
- Accès aux images secondaires (détails et paramètres) en un clic
- Impression
- Intégration de caméras

5.5. Système de télégestion cas de l'étage d'Englade (ville d'Ain Taya) :

5.5.1 contrôle du niveau d'eau dans le réservoir d'Englade :

Les communications inter-sites mettent en relation le réservoir et la station de pompage qui l'alimente en eau. Chacun de ces ouvrages est équipé de postes locaux ou data loggers chargés du contrôle du site. Les équipements communiquent automatiquement entre eux le plus souvent par liaison radio, GSM/GPRS. Le poste situé au réservoir contrôle le niveau d'eau par des interrupteurs à flotteur ou via une sonde analogique. Il établit la communication et transmet les commandes de pompage à la station en fonction du niveau d'eau.

Le poste local de la station pilote la marche/arrêt des pompes selon les indications reçues depuis le réservoir. En plus de l'asservissement, la télégestion inter-sites permet d'optimiser le remplissage du réservoir et le temps de marche des pompes en fonction des tranches de tarification électriques les plus économiques.

La figure ci-dessous montre un exemple d'un réservoir connecté à un système de télégestion :

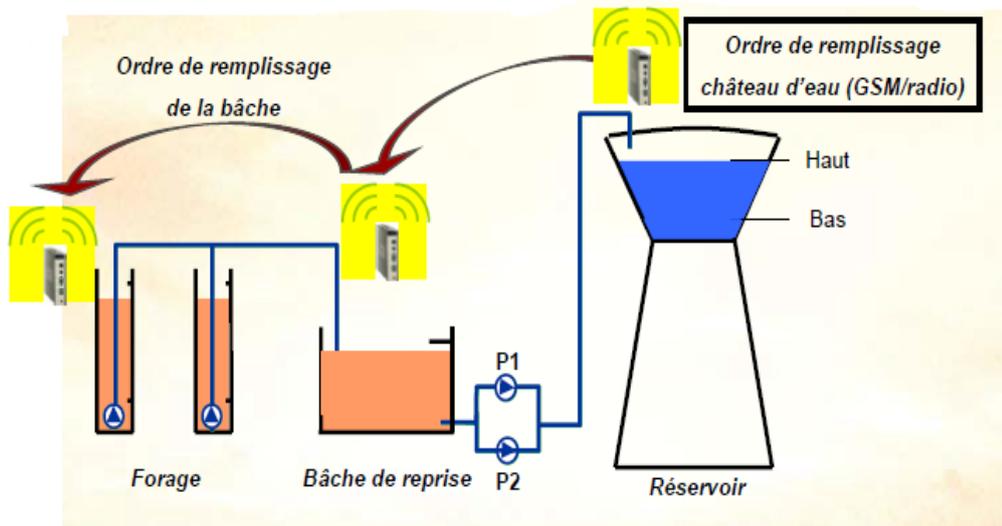


Figure 38: système d'adduction contrôlé avec un système de télégestion

5.5.2 mesure de débit et de pression dans le réseau :

Pour contrôler la consommation des abonnés dans l'étage d'Englade, on va installer des regards de comptages pour chaque secteur d'alimentation, ses regards sont reliés directement à la BDLT (base de données à long terme) ce qui permet de visualiser la variation de le débit et la pression au temps réel pour chaque secteur.

L'intérêt de la sectorisation c'est la détection et la survivance des fuites, même aux plus faibles débits. Il est donc nécessaire d'avoir une excellente performance métrologique au

CHAPITRE 5 : Conception d'un système de télégestion

niveau du comptage du volume d'eau pour mesurer et comptabiliser les fuites, Rappelons qu'un débit de 15 litres par heure correspond à du goutte à goutte.

Dans le cadre de ce genre de montage il convient donc d'utiliser des débitmètres électromagnétiques ou à ultrason .les figures ci-dessous montrent les deux types de débitmètres :



Figure 40: débitmètre électromagnétique



Figure 39 : débitmètre à ultrason

Chaque regard doit être aussi équipé avec un capteur de pression, pour visualiser la variation de pression dans le réseau de distribution, le tableau ci-dessous présente la localisation des regards de comptage par rapport aux secteurs :

Tableau 22: les regards de comptages pour l'étages d'Englade

Le secteur	Nom de secteur	La codification des regards de comptage
SS1	Domaine chamouni	01
SS2	Centre-ville	02
SS3	Les falaises	03
SS4	L'arbi Abdeslam	04
SS5	Hai Rmel	05
SS6	Si houasse	06

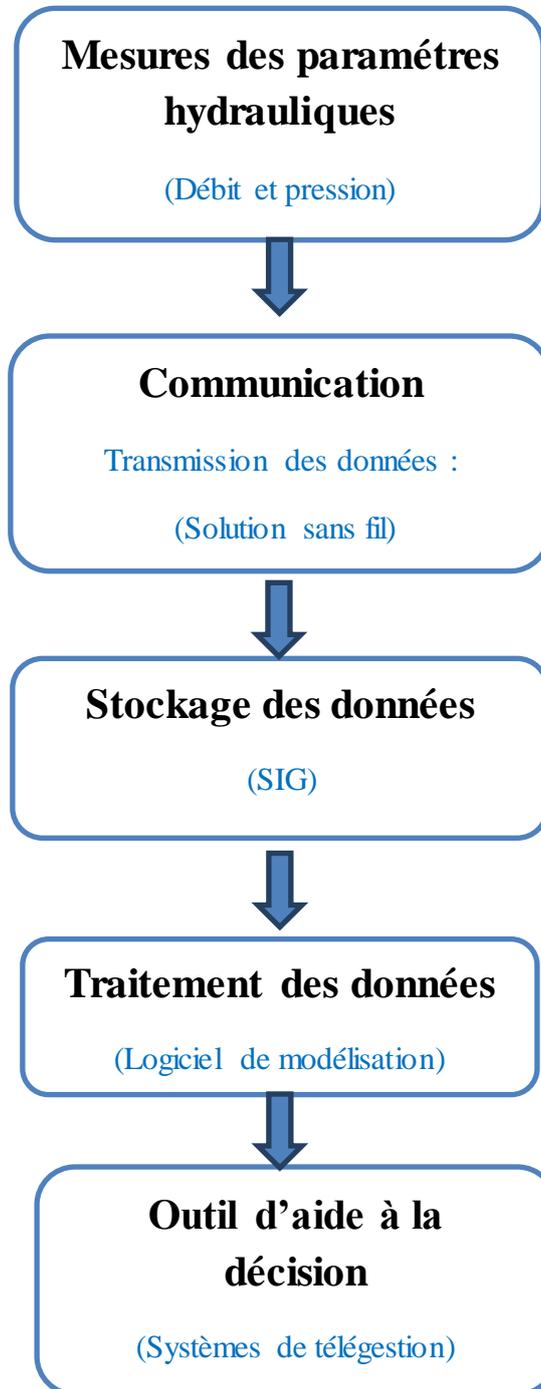
5.6. Les réseaux d'eaux intelligents :

Munir le serveur central d'un modèle de calcul réactif capable de moduler les paramètres du réseau et lancer les alarmes s'il y a nécessité d'une intervention humaine

Les cinq fonctionnalités qui doivent être interconnectées pour la conception des réseaux d'eau intelligentes sont :

1. **Les appareils de mesures et de détection** : comme les compteurs d'eau évolués, sont les outils physiques sur le réseau de distribution d'eau qui collectent les données sur les débits d'eau, la pression, la qualité et l'ensemble des autres paramètres déterminants. Cette couche de base inclut les capteurs acoustiques et électromagnétiques qui peuvent aider à détecter de potentielles fuites et anomalies sur le réseau. L'ensemble de ces appareils permet d'améliorer la connaissance de l'état physique des réseaux, via le recueil de données très concrètes : caractéristiques, localisation, maintenance, etc.
2. **Les canaux de communication en temps réel** : permettent aux distributeurs de rassembler de façon automatique et continue les données des appareils de mesure et de détection. Il s'agit de canaux de communication bidirectionnelle pour donner des ordres aux appareils sur les données à collecter ou sur les actions à exécuter (par exemple, extinction à distance).
1. **Les logiciels de gestion des données (SIG)** : permettent aux distributeurs de collecter les données et les stocker dans une base de données, le logiciel permet de structurer les données pour répondre au besoin désire
3. **les logiciels d'analyse et la modélisation** : permettent aux distributeurs de pouvoir exploiter les données issues du réseau, les outils de modélisation du réseau peuvent aider les opérateurs à comprendre les impacts potentiels d'un changement dans le réseau et à analyser les différentes réponses.
4. **Les outils de contrôle et d'automatisation (SCADA)** : permettent aux distributeurs de mettre en œuvre à distance et automatiquement les tâches de gestion du réseau. Cette étape fournit des outils qui s'interfacent avec les logiciels d'analyse et de modélisation des données en temps réel. De nombreux opérateurs sont déjà dotés de systèmes SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), de systèmes d'information géographique, de systèmes d'informations client, qui peuvent être intégrés aux réseaux d'eau intelligents pour augmenter davantage leur contrôle sur le système de distribution.

Organigramme de conception d'un réseau de distribution intelligente



5.7 Conclusion :

Dans le cadre de gestion des réseaux de distribution d'eau potable, la télégestion est parmi les outils de base qui aide à la prise de décision, le contrôle des accessoires à distance et le comptage permet de mieux gérer le réseau et palier a toutes anomalie de façon rapide et efficace.

Le couplage des SIG avec les systèmes de télégestion et comptage nous permettons de visualiser la variation des paramètres hydrauliques, ainsi que former une base de données sur le réseau et les consommations des abonnés.

Equipé le réseau de la ville d'Ain Taya avec un système de télégestion est nécessaire pour améliorer le rendement et protéger la source en eau par la détection des fuites.

En absence des systèmes de télégestion dans la ville d'Ain Taya environ de 50% du volume distribuer sera perdu soit par les fuites visibles due à l'état physique du réseau, soit par les fuites invisible et les branchements illicites.

Donc on peut considérer la télégestion comme une solution technico-économique pour le cas de la ville d'Ain Taya qui nous permettons à la fois de protéger la source en eau et régler les problèmes technique pour les abonnés

CONCLUSION GENERAL

Conclusion général

La structure de base d'un modèle hydraulique adopté dans cette étude, faisant appel à différents outils de modélisation, chacun d'eux s'inscrivant dans une classe particulière, il reste difficile d'établir le lien selon les objectifs désirés. En effet le passage d'un SIG de cartographie vers un SIG de modélisation nécessite une structure particulière de la base de données qui répond aux exigences des outils de modélisations. Le problème majeur dans le passage vers un SIG dynamique c'est la structure des données (le problème de topologie) et la connectivité des tronçons dans le réseau. Le développement des paramètres nécessaires pour lancer des simulations se fait dans le SIG. La demande en eau pour les abonnés sera répartie par rapport à la répartition spatiale des abonnés dans le SIG.

Vue l'existence des outils de mesures comme la BDLT (base de données à long terme), on peut extraire le régime de consommation réel de la ville d'Ain Taya pour établir une simulation sur les 24h. La BDLT permet de donner une représentation réelle mieux qu'un régime de consommation théorique. Pour le cas de simulation on a fait une étude comparative entre deux scénarios possibles : (i) simulation pour le cas réel : basé sur des mesures et des conditions réelles, (ii) simulation pour le cas théoriques (idéal) : on se base sur des hypothèses théorique tel que le régime de consommation et la répartition uniforme des abonnés. L'Object de cette étude comparative c'est de vérifier la fiabilité du model réel par rapport aux modèles théoriques. Après les simulations pour les deux cas, on a remarqué un problème de suppression dans le secteur des falaises, la seule différence entre les simulations c'est les courbes de distribution de pression et la variation dans les 24h.

Un modèle hydraulique est considéré comme un outil qui aide à la prise de décision, cependant il doit être représentatif par rapport aux comportements réels sur terrain. Un modèle qui ne se confirme pas sur terrain peut conduire à des erreurs. Donc le calage avec des mesures réelles est une étape importante pour la conception d'un modèle de gestion. Le calage se fait sur deux paramètres : le débit et la pression, dans cette étude on a procédé par un calage manuel sur les pressions avec un coefficient de corrélation de 0.994 sur les valeurs moyennes. Pour un calage idéal on doit établir un programme de calcul pour avoir des profils de débits et de pressions qui superposent aux profils mesurés sur terrain. Du point de vue comptage, la télégestion est parmi les outils efficace pour la télémétrie et la recherche des fuites .à travers la télégestion on peut augmenter le rendement surtout pour le cas de la ville d'AIN TAYA. A travers cette étude on peut dire qu'améliorer la gestion dans les réseaux de distributions cela veut dire augmenter le rendement et donc protéger la ressources en eau qui est dans nos jours en dégradation

LES REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Abdelbaki Chérifa, 2014**, «modélisation du réseau d'alimentation en eau potable Et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG –cas du groupement urbain TELEMEN », THESE DOCTORAT.
- **MOUILAH Cheikh, 2013** « Les méta-heuristiques et le Système d'Information Géographique (S.I.G) »THESE De Magistère
- **BOUNAH.Y 2014**, «système SCADA, introduction à la supervision et aux diagnostics des processus industriel » cours de télégestion ENSH
- **BOUTEBBA K.et A.L Décembre 2014**. «aide à la décision pour l'optimisation en eau potable». Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°20, pp. 279-296
- **Christophe SCHWAAR et Paulo De Souza JUIN 2009** «Système d'information des réseaux d'eaux (SIRE) : Modélisation, contrôle topologique et export pour simulation hydraulique»
<https://www.esrifrance.fr/sig2009/vaud.htm>.
- Office national des statistiques : http://www.ons.dz/collections/w16_p1.pdf
- Automatisation et télégestion : DPE ELECTROTECHNIQUES <http://www.dpe.ch.pdf>
- Réducteur de pression :
http://conseils.xpair.com/consulter_savoir_faire/reduction_pression/reducteur_de_pression.htm#part-1335

LES ANNEXES

heurs	moins de 10000 habitants	de 10001 à 50000 habitants	de 50001 à 100 000 habitants	plus de 100000 habitants
0--1	1	1,5	3	3,35
1--2	1	1,5	3,2	3,25
2--3	1	1,5	2,5	3,3
3--4	1	1,5	2,6	3,2
4--5	2	2,5	3,5	3,25
5--6	3	3,5	4,1	3,4
6--7	5	4,5	4,5	3,85
7--8	6,5	5,5	4,9	4,45
8--9	6,5	6,25	4,9	5,2
9--10	5,5	6,25	5,6	5,05
11--11	4,5	6,25	4,8	4,85
11--12	5,5	6,25	4,7	4,6
12--13	7	5	4,4	4,6
13--14	7	5	4,1	4,55
14--15	5,5	5,5	4,2	4,75
15--16	4,5	6	4,4	4,7
16--17	5	6	4,3	4,65
17--18	6,5	5,5	4,1	4,35
18--19	6,5	5	4,5	4,4
19--20	5	4,5	4,5	4,3
20--21	4,5	4	4,5	4,3
21--22	3	3	4,8	4,2
22--23	2	2	4,6	3,75
23--24	1	1,5	3,3	3,7
/	100 %	100 %	100 %	100 %

Annexe 1 : les coefficients de consommation horaires

FID nœuds	ID_NODE	les tronçons	longueur (m)	débit route (l/s)	Débit aux nœuds (l/s)
0	955563	0--1	49,71	0,324679921	0,806833848
		0--49	197,35	1,288987775	
1	955561	1--0	49,71	0,324679921	0,955620985
		1--44	242,91	1,58656205	
2	1000018	2--121	2,11	0,013781425	0,615102223
		2--123	36,07	0,23559052	
		2--28	150,17	0,980832502	
3	955694	3--30	124,42	0,812646866	0,406323433
4	975466	4--8	3,095	0,020214934	0,516199272
		4--33	154,97	1,012183611	
5	323862	5--11	189,12	1,235233687	0,617616843
7	1000347	7--14	53,7	0,35074053	1,621211556
		7--89	442,73	2,891682583	
8	999680	8--4	3,095	0,020214934	1,184271806
		8--81	112,69	0,736032594	
		8--58	246,85	1,612296085	
9	985444	9--100	220,26	1,438624005	0,719312003
10	955538	10--95	132,877	0,867883601	1,82191417
		10--88	138,2	0,902650674	
		10--124	286,81	1,873294066	
11	323863	11--5	189,12	1,235233687	1,679015163
		11--90	135,89	0,887562953	
		11--58	189,12	1,235233687	
12	905868	12--39	282,18	1,843053309	2,523274397
		12--31	263,29	1,719673632	
		12--48	227,18	1,483821854	
13	1024538	13--41	93,92	0,613436696	2,421481266
		13--16	647,56	4,229525836	
14	323553	14--7	53,7	0,35074053	0,988637622
		14--53	74,56	0,486987223	
		14--82	174,47	1,13954749	
15	962007	15--116	204,61	1,336406327	0,668203164
16	946354	16--56	197,7	1,291273794	3,934792756
		16--71	453,53	2,962222578	
		16--13	553,64	3,616089141	
17	323403	17--88	100,25	0,65478097	1,546948617
		17--31	118,13	0,771563851	
		17--83	255,31	1,667552414	
18	323511	18--37	27,912	0,182306698	1,411067687

		18--47	110,97	0,724798447	
		18--43	293,2	1,915030229	
19	999707	19--47	254,27	1,660759674	1,623378375
		19--85	166,0205	1,084359741	
		19--70	76,803	0,501637335	
20	323540	20--51	156,25	1,020543906	2,641984065
		20--107	34,96	0,228340576	
		20--77	617,79	4,035083647	
21	985429	21--63	102,18	0,667386729	1,316093422
		21--100	300,82	1,964800114	
22	940741	22--99	268,18	1,751612575	3,379159668
		22--122	230,81	1,50753113	
		22--39	535,74	3,499175631	
23	324014	23--87	21,33	0,13931649	0,159041562
		23--116	27,37	0,178766635	
		23--66	277,66	1,813531014	
24	955555	24--118	160,15	1,046016682	0,523008341
25	1000006	25--79	135,92	0,887758898	1,276153415
		25--69	254,85	1,664547933	
26	1000035	26--97	189,28	1,236278724	1,45240543
		26--45	255,46	1,668532136	
27	955537	27--30	74,55	0,486921909	1,176518938
		27--124	144,83	0,945954393	
		27--67	140,881	0,920161575	
28	1000017	28--2	150,17	0,980832502	0,490416251
29	961977	29--r	29,94	0,195552541	8,713256913
		29--95	2070,59	13,52401924	
		29--106	567,55	3,706942042	
30	955535	30--27	74,55	0,486921909	0,772021054
		30--50	37,43	0,244473334	
		30--3	124,42	0,812646866	
31	955520	31--17	118,13	0,771563851	1,766700296
		31--101	159,56	1,042163108	
		31--12	263,29	1,719673632	
32	955705	32--61	128,53	0,839491253	0,419745626
33	975485	33--4	154,97	1,012183611	1,238009566
		33--85	224,12	1,463835522	
34	323864	34--59	74,63	0,487444427	0,243722214
35	945733	35--112	19,02	0,124228769	0,419647654
		35--120	109,48	0,71506654	
36	1000020	36--114	147,71	0,964765059	1,000328973
		36--84	127,42	0,832241309	
		36--123	31,18	0,203651578	
37	962516	37--18	27,91	0,182293635	0,718201651
		37--120	192,01	1,254109667	

38	1000190	38--87	25,37	0,165703673	0,882001397
		38--40	244,707	1,598299121	
39	936234	39--57	334,88	2,187262357	3,778918962
		39--22	540,08	3,527522258	
		39--12	282,18	1,843053309	
40	905854	40--38	244,707	1,598299121	0,799149561
41	1024551	41--13	93,92	0,613436696	0,306718348
		41--62	361,9	2,363742974	
42	1026909	42--118	83,44	0,544986775	1,149050795
		42--74	268,41	1,753114815	
43	999719	43--18	293,2	1,915030229	0,957515115
44	955557	44--1	242,91	1,58656205	1,03912597
		44--72	75,28	0,49168989	
45	1000032	45--97	109,14	0,712845836	1,190688986
		45--26	255,46	1,668532136	
46	955504	46--71	1376,94	8,993457448	4,496728724
47	968966	47--109	191,52	1,250909241	1,817907107
		47--19	254,27	1,660759674	
		47--18	110,87	0,724145298	
48	905871	48--71	517,83	3,382196806	3,824704644
		48--88	426,15	2,783390628	
		48--12	227,18	1,483821854	
49	955566	49--0	197,35	1,288987775	1,050033543
		49--110	32,11	0,209725855	
		49--91	92,07	0,601353456	
50	997705	50--64	140,58	0,918195599	0,581334466
		50--30	37,43	0,244473334	
51	324381	51--20	156,25	1,020543906	0,955990994
		51--80	37,5033	0,244952091	
		51--104	98,98	0,646485989	
52	959631	52--119	60,522	0,395298293	1,206534359
		52--70	308,93	2,017770425	
53	323547	53--78	50,081	0,3271031	0,712805668
		53--85	168,1867	1,098508236	
54	982051	54--57	638,25	4,168717748	2,084358874
55	946340	55--83	129,67	0,846937141	0,423468571
56	920534	56--16	314,59	2,054738608	1,027369304
57	938532	57--67	137,199	0,896112662	3,63489654
		57--39	335,26	2,18974432	
		57--54	640,58	4,183936099	
58	975470	58--8	246,86	1,6123614	2,157609434
		58--60	413,82	2,702857467	
59	323865	59--34	74,63	0,487444427	0,645245008
		59--90	122,95	0,803045589	
60	975467	60--58	413,82	2,702857467	1,351428734

61	955704	61--64	210,25	1,37324388	1,613373779
		61--32	128,53	0,839491253	
		61--113	155,25	1,014012425	
62	999943	62--41	361,9	2,363742974	1,181871487
63	985427	63--21	102,18	0,667386729	3,001607408
		63--100	400,24	2,614159955	
		63--93	416,7	2,721668133	
64	1026897	64--61	210,25	1,37324388	3,049548479
		64--50	140,58	0,918195599	
		64--77	582,97	3,807657479	
65	323875	65--90	135,61	0,885734138	0,442867069
66	905858	66--23	277,66	1,813531014	0,906765507
67	938475	67--57	113,19	0,739298334	0,829726689
		67--27	140,88	0,920155043	
68	955565	68--72	125,74	0,821268421	1,36632051
		68--79	42,13	0,275171295	
		68--91	250,51	1,636201305	
69	1000029	69--97	189,28	1,236278724	1,680648034
		69--117	70,5	0,460469411	
		69--25	254,85	1,664547933	
70	955901	70--19	76,8	0,501617741	1,535551183
		70--119	84,47	0,5517142	
		70--52	308,93	2,017770425	
71	905876	71--48	517,83	3,382196806	7,668938416
		71--16	453,53	2,962222578	
		71--46	1376,94	8,993457448	
72	1000016	72--44	75,28	0,49168989	0,656479155
		72--68	125,74	0,821268421	
73	999670	73--81	137,05	0,895139471	0,447569736
74	323360	74--79	5,65	0,036902868	1,549071349
		74--42	268,41	1,753114815	
		74--95	200,28	1,308125015	
75	323516	75--107	116,13	0,758500889	0,379250444
76	962918	76--102	108,75	0,710298559	0,431045089
		76--92	23,24	0,151791618	
77	961490	77--20	617,79	4,035083647	5,124469363
		77--64	582,97	3,807657479	
		77--120	368,4	2,4061976	
78	323485	78--53	50,08	0,327096568	0,163548284
79	955716	79--68	42,13	0,275171295	0,581465096
		79--25	135,92	0,887758898	
80	324383	80--51	37,5	0,244930538	0,627642667
		80--107	154,69	1,010354796	
81	999677	81--8	112,69	0,736032594	0,815586032
		81--73	137,05	0,895139471	

82	323548	82--14	174,47	1,13954749	0,569773745
83	955915	83--55	129,67	0,846937141	1,257244778
		83--17	255,31	1,667552414	
84	1000021	84--36	127,42	0,832241309	0,416120655
85	975464	85--19	166,02	1,084356476	1,274095999
		85--33	224,12	1,463835522	
86	961983	86--87	272,51	1,779893887	0,889946944
87	324011	87--38	25,37	0,165703673	0,152510081
		87--23	21,33	0,13931649	
88	955514	88--10	138,2	0,902650674	0,778715822
		88--17	100,25	0,65478097	
89	323554	89--7	442,73	2,891682583	1,445841292
90	323876	90--65	135,61	0,885734138	1,753604676
		90--94	142,52	0,930866672	
		90--59	122,95	0,803045589	
		90--11	135,89	0,887562953	
91	955906	91--68	250,51	1,636201305	1,488246932
		91--98	113,135	0,738939103	
		91--49	92,07	0,601353456	
92	323447	92-112	18,4609	0,120577018	0,136184318
		92--76	23,24	0,151791618	
93	963706	93--63	416,7	2,721668133	3,280240388
		93--108	587,74	3,838812643	
94	323877	94--90	142,52	0,930866672	0,465433336
95	999989	95--10	132,87	0,86783788	2,192977403
		95--115	338,36	2,209991911	
		95--74	200,28	1,308125015	
96	936461	96--29	2070,89	13,52597869	6,762989344
97	1000034	97--45	109,14	0,712845836	1,592701642
		97--69	189,28	1,236278724	
		97--26	189,28	1,236278724	
98	955907	98--91	113,35	0,740343371	0,370171686
99	1000244	99--111	435,97	2,847529772	2,299571173
		99-22	268,18	1,751612575	
100	985430	100--21	300,82	1,964800114	3,008792037
		100-9	220,26	1,438624005	
		100--63	400,24	2,614159955	
101	981497	101--31	159,56	1,042163108	0,521081554
102	999714	102--76	108,75	0,710298559	0,355149279
104	910749	104--51	98,98	0,646485989	0,323242995
105	324386	105--110	116,97	0,763987333	0,381993666
106	955652	106--29	567,55	3,706942042	1,853471021
107	324041	107--80	154,69	1,010354796	0,99859813
	323538	107--75	116,13	0,758500889	
		107--20	34,96	0,228340576	

108	1000049	108--r	182,44	1,191603394	2,515208018
		108--93	587,74	3,838812643	
109	968958	109--47	191,52	1,250909241	0,625454621
110	955651	110--113	43,12	0,281637461	0,627675324
		110--105	116,97	0,763987333	
		110--49	32,11	0,209725855	
111	1000220	111--r	124,01	0,809968959	1,828749365
		111--99	435,97	2,847529772	
112	963718	112--92	18,46	0,120571139	0,122399954
		112--35	19,02	0,124228769	
113	955650	113--110	43,12	0,281637461	0,647824943
		113--61	155,25	1,014012425	
114	1000019	114--36	147,71	0,964765059	0,482382529
115	999995	115--95	338,36	2,209991911	1,104995956
116	324017	116--23	27,37	0,178766635	1,190362412
		116--15	204,61	1,336406327	
		116--r	132,52	0,865551862	
117	323332	117--69	70,5	0,460469411	0,230234705
118	999971	118--42	83,44	0,544986775	0,795501728
		118--24	160,15	1,046016682	
119	959931	119--52	60,52	0,39528523	0,473499715
		119--70	84,47	0,5517142	
120	961491	120--35	109,48	0,71506654	2,187686904
		120--37	192,01	1,254109667	
		120--77	368,4	2,4061976	
121	1000024	121--2	2,11	0,013781425	0,006890712
122	324026	122--22	230,81	1,50753113	0,753765565
123	1000022	123--125	135,94	0,887889527	0,663565812
		123--36	31,18	0,203651578	
		123--2	36,07	0,23559052	
124	955545	124--10	286,81	1,873294066	1,409624229
		124--27	144,83	0,945954393	
125	1000023	125--123	135,94	0,887889527	0,443944764

Annexe 2 : calcul de débit aux nœuds (cas idéal)

