

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Hydraulique

Spécialité : Hydro-informatique

Par : KADAOUI Nassima & ZIRAR Asma

Sujet

**Contribution à l'étude de la qualité des eaux dans un réseau
d'alimentation en eau potable
- Cas du chef lieu de Chetouane -**

Soutenu publiquement le 11 juin 2017, devant le jury composé de :

Mr BENADDA Lotfi

Mme BOUKLI HACENE Chérifa

Mr BOUMEDIENNE Maamar

Mme MAROK Imene

Mme ADJIM Fouzia

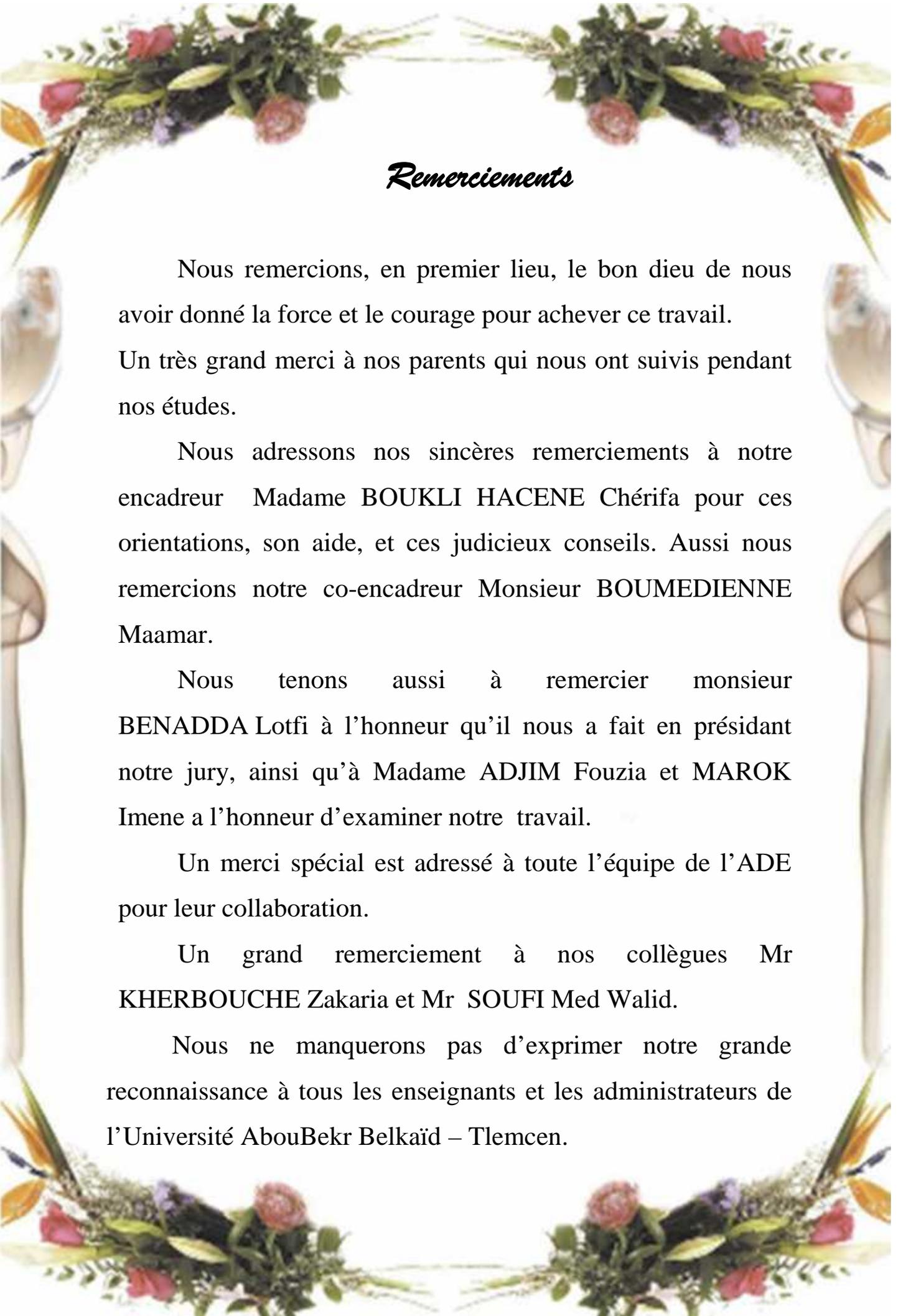
Président

Directrice de mémoire

Co-Directeur de mémoire

Examinatrice

Examinatrice



Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, le bon dieu de nous avoir donné la force et le courage pour achever ce travail.

Un très grand merci à nos parents qui nous ont suivis pendant nos études.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur Madame BOUKLI HACENE Chérifa pour ces orientations, son aide, et ces judicieux conseils. Aussi nous remercions notre co-encadreur Monsieur BOUMEDIENNE Maamar.

Nous tenons aussi à remercier monsieur BENADDA Lotfi à l'honneur qu'il nous a fait en présidant notre jury, ainsi qu'à Madame ADJIM Fouzia et MAROK Imene a l'honneur d'examiner notre travail.

Un merci spécial est adressé à toute l'équipe de l'ADE pour leur collaboration.

Un grand remerciement à nos collègues Mr KHERBOUCHE Zakaria et Mr SOUFI Med Walid.

Nous ne manquerons pas d'exprimer notre grande reconnaissance à tous les enseignants et les administrateurs de l'Université AbouBekr Belkaïd – Tlemcen.

Résumé

Ce travail consiste à étudier la qualité de l'eau dans le réseau d'alimentation en eau potable du chef lieu de Chetouane à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). En se basant sur une connaissance poussée des paramètres influençant la dégradation de la qualité de l'eau et une étude du réseau d'alimentation en eau potable du chef lieu de Chetouane, une base de données incluant les paramètres de qualité du réseau a été mise en place à partir des informations disponibles. Ce travail peut servir comme un outil important développé sous SIG qui permet la visualisation de l'ensemble des paramètres étudiés (pH, température, chlore.....) sous forme de cartes thématiques. Enfin un passage vers le logiciel de simulation hydraulique (Epanet) est fait pour simuler le dosage du chlore dans le réseau du chef lieu de Chetouane. Les résultats sont intéressants.

Mot clés : Qualité, SIG, Epanet, Simulation, Chef-lieu de Chetouane.

دراسة نوعية المياه في شبكة إمدادات مياه الشرب من	يهدف هذا
معرفة وافية من	الجغرافية (SIG).
التي تؤثر على تدهور نوعية المياه و	مياه الشرب من
قاعدة بيانات	المتاحة. هذا العمل يمكن أ
بما في ذلك معايير جودة الشبكة	pH)
تطوير هام في نظم المعلومات الجغرافية التي تسمح بعرض جميع	(Epanet)
كل خرائط موضوعية. وأخيرا يتم	
المحصل عليها مهمة.	
Epanet	المفتاحية: نظام المعلومات الجغرافية

Abstract

This work consists of studying the quality of the water in the drinking water supply network of the Chetouane chief town using a geographical information system (GIS). Based on a thorough knowledge of the parameters influencing the degradation of the water quality and a study of the drinking water supply network of the chief town of Chetouane, a database including the quality parameters of the network was set in place on the basis of available information. This work can serve as an important tool developed under GIS that allows the visualization of all the studied parameters (pH, temperature, chlorine) in the form of thematic maps. Finally, a passage to the hydraulic simulation software (Epanet) is made to simulate the dosage of chlorine in the Chetouane network. The results are interesting.

Key words: Quality, GIS, Epanet, Simulation, Chief town of Chetouane.

Liste des abréviations

°C :	Degré Celsius
ADE :	Algérienne Des Eau
AEP :	Alimentation en Eau Potable
AT :	Aluminium Total
ANAT :	Agence Nationale d'Aménagement du Territoire.
CAO :	Conception Assistée par Ordinateur
Cd :	Cadmium
CODB :	Carbone Organique Dissous Biodégradable
COT :	Carbone organique total
Cu :	Cuivre
DAO :	Dessin Assisté par Ordinateur
DPD :	Diéthyl-p-phénylènediamine
E. coli :	Escherichia coli
EPA :	Agence de Protection de l'Environnement
Fe :	Fer
GUT :	Groupement Urbain Tlemcen
hab/km² :	habitant par kilomètre carré
m :	mètre
m/h :	mètre par heure
m/s :	mètre par seconde
mg/L :	milligramme par Litre
n :	nombre d'année considéré
NFU :	Formazine Néphélocimétric Unit
NTU :	Unité Nationale de Turbidité
O₂ :	oxygène soluble dans l'eau
OMS :	Organisation Mondiale de la santé
P₀ :	Population de l'année 0 de référence,
Pb :	Plomb
PDAU :	plans directeur d'aménagement et d'urbanisme
pH :	Potentielle Hydrique

Liste des abréviations

P_n :	La population à l'horizon de l'année <i>n</i> .
ppm :	partie par million.
Pt :	phosphore total
PVC :	Polychlorure de vinyle
SIG :	Système d'Information Géographique
TAB :	Table
THM :	Trihalométhanés
UTM :	Universal Transverse Mercator
WGS :	Système Géodésique Mondial
Zn :	Zinc
 :	Le taux de croissance de population.
µg/L :	Microgramme par Litre
µS/cm :	Microsiemens par centimètre

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Relation entre le Log de la densité bactérienne et la concentration en matière organique biodégradée.	11
Figure I.2: Structure d'un Système d'Information Géographique.	29
Figure I.3 : Modèle de représentation des données géographiques.	30
Figure I.4: Acquisition de l'information géographique	32
Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.	46
Figure II. 2: Communes limitrophes de Chetouane	47
Figure III.1 : Choix du référentiel de calage de la zone d'étude sur Mapinfo	55
Figure III.2 : Réseau d'AEP du chef-lieu Chetouane modélisé sous Mapinfo.	56
Figure III.3: Description de la structure de la table de dosage de chlore.	57
Figure III.4: Structure de la table du dosage de chlore	58
Figure III.5 : dosage de chlore avec l'analyse thématique sur Mapinfo	59
Figure III.6 : Analyse thématique de la répartition des points de chlore du mois de septembre 2016.	60
Figure III.7 : Analyse thématique selon le paramètre bactériologique coliformes-totaux du mois de Février 2016.	61
Figure III.8 : Analyse thématique selon le paramètre bactériologique coliformes-fécaux du mois de Février 2016.	62
Figure III.9 : Analyse thématique selon le paramètre bactériologique streptocoques-fécaux du mois de Février 2016.	63
Figure III.10 : Analyse thématique selon le paramètre physico- chimique nitrite du mois de Février 2016.	64
Figure III.11 : Analyse thématique de la répartition des points de chlore du mois de Février 2016.	65
Figure III.12 : Analyse thématique selon le paramètre physico- chimique ammonium du mois de Février 2016.	66
Figure III.13 : Analyse thématique selon le paramètre physico- chimique conductivité du mois de Février 2016.	67
Figure III.14 : Analyse thématique selon le paramètre physico- chimique pH du mois de Février 2016.	68
Figure III.15: Analyse thématique selon le paramètre physico- chimique	69

Liste des figures

température du mois de Février 2016.

Figure III.16 : Analyse thématique selon le paramètre physico- chimique turbidité du mois de Février 2016.	69
Figure III.17: Le réseau d'AEP d'une partie du chef-lieu Chetouane importé sous Epanet.	73
Figure III.18 : la diffusion du chlore après deux heures de l'injection du 0.4 mg/L de chlore	74
Figure III.19 : Figure III.19: L'emplacement de la pompe doseuse proposée.	75
Figure III.20 : Diffusion du chlore après une heure de l'injection du 0.6 mg/L de chlore	76
Figure III.21 : Diffusion du chlore après deux heures de l'injection du 0.6 mg/L de chlore	77
Figure III.22 : la diffusion du chlore après quatre heures de l'injection du 0.6 mg/L de chlore	77
Figure III.23 : la diffusion du chlore après cinq heures de l'injection du 0.6 mg/L de chlore	78
Figure III.24: L'emplacement de la pompe doseuse proposée	78
Figure III.25 Diffusion du chlore après une heure de l'injection du 0.8 mg/L	79
Figure III.26 : Diffusion du chlore après deux heures de l'injection du 0.8 mg/L de chlore	80
Figure III.27 : Diffusion du chlore après trois heures de l'injection du 0.8 mg/L de chlore	80
Figure III.28 : la diffusion du chlore après trois heures de l'injection de 1mg/L de chlore.	81

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux.	6
Tableau I.2 : Facteurs microbiologiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau	7
Tableau I.3 : Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau	12
Tableau I.4 : Les normes de la qualité des eaux d'AEP selon l'OMS	15
Tableau I.5 : Problèmes organoleptique et d'origines physico-chimiques	17
Tableau I.6 : Origines des altérations de la qualité de l'eau potable dans les réseaux et conséquences.	21
Tableau II. 1: Estimation de la population urbaine de Chetouane	48
Tableau II .2: Production des eaux souterraines au niveau de la zone Chetouane	49
Tableau II .3: Ouvrages de stockage de la commune de Chetouane	50

Remerciement	I
Résumé	II
Liste des Abréviations	III
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	2
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de la qualité des eaux	3
I.3 Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux	3
I.3.1 Les phénomènes biologiques	3
I. 3.1.1 D'où viennent les microorganismes ?	3
I. 3.1.2 Les principaux organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux	4
I.3.1.2.1 Les bactéries	7
I.3.1.2.2 Organismes indicateurs	7
I. 3.2 Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau	8
I. 3.2.1 pH et minéralisation	8
I.3.2.2 Température	9
I.3.2.3 Oxygène dissous	10
I. 3.2.4 Turbidité	10
I.3.2.5 Ammonium	10
I. 3.2.6 Matières organiques	11
I.3.2.7 Désinfectant résiduel	17
I. 3.2.8 Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité	17
I. 3.2.9 Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau	18
I. 3.3 Facteurs de dégradation liés à la conception ou à la gestion du réseau	18
I.3.3.1 L'hydraulique du réseau	18
I.3.3.2 Influence du choix des matériaux	19
I. 3.3.3 Origine des altérations de la qualité de l'eau potable	20
I. 3.3.4 Diamètre des conduites	23

I.3.3.5 Âge des conduites	23
I. 3.3.6 Bris de conduites et importance des procédures de désinfection après intervention	23
I.3.4 Influence des paramètres hydrauliques d'un réseau sur la qualité de l'eau	24
I. 3.4.1 Vitesse d'écoulement dans les conduites	24
I.3.4.2 Pression de l'eau à différents points du réseau	24
I. 3.4.3 Configuration et mode d'opération des réservoirs	25
I. 4 Consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité	25
I.4.1 La qualité de l'eau produite	25
I.4.1.1 Traitements de désinfection	25
I. 5 Système d'information géographique	27
I. 5.1 Définitions	28
I.5.2 Mode de représentation des données géographiques	30
I.5.2.1. Mode de représentation raster	30
I.5.2.2 Mode de représentation vecteur	31
I.5.3 Saisie de l'information géographique	31
I.5.3.1 Entrée des données spatialement référencées	31
I.5.4 Structure et composantes d'un SIG	33
I.6 Gestion informatisée des réseaux	34
I.6.1 Cartographie des réseaux	34
I.6.1.1 Mise à jour des plans	35
I.6.1.2 Fonds de plans	35
I.6.1.3 Cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable à l'aide d'un SIG	36
I. 7 Modélisation de la qualité de l'eau dans un réseau d'AEP	37
I. 7.1 Le modèle hydraulique	38
I.7.2 Le modèle qualité	39
I.7.3 Les logiciels de modélisation de la qualité de l'eau dans un réseau d'AEP	40
I.7.4 Intérêts de la modélisation des réseaux d'AEP	43
I.8. Conclusion	44

Chapitre II : présentation de la zone d'étude	45
II.1 Introduction	46
II.2 Situation géographique	46
II.3 Climatologie	47
II.4 Cadre topographique	47
II.5 Cadre démographique	48
II.6 Les ressources hydrauliques	48
II.6.1 Les eaux souterraines	48
II.6.2 Le dessalement de l'eau de mer	49
II.6.3 Ouvrages de stockage	50
II.7 Qualité des eaux alimentant la commune de Chetouane	50
II.8. Conclusion	51
Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane	52
III.1 Introduction	53
III.2 Mise en place du SIG de la qualité du réseau	53
III.2.1 Choix du SIG	53
III.2.2 Stage et campagne d'échantillonnage	53
III.2.3 Acquisition des données	55
III.2.4 Constitution des tables de données	56
III.3. Résultats de l'étude sous SIG MapInfo	59
III.3.1 Analyses thématiques	59
III.3.1.1 La répartition des points selon le dosage de chlore résiduaire	60
III.3.1.2 Répartition des points de prélèvement selon les paramètres physico-chimiques et bactériologiques	61
III.4 Le logiciel utilisé : EPANET 2.0	70
III.4.1 Présentation	70
III.4.2 Capacités pour la Modélisation Hydraulique	71
III.4.3 Capacités pour la Modélisation de la Qualité de l'Eau	71
III.4.4 Choix du modèle de calcul	72
III.5 Modélisation de la qualité de l'eau dans le réseau du chef lieu Chetouane sous Epanet	73
III.5.1 Le premier scénario	74

III.5.2 Le deuxième scénario	76
III.5.3 Le troisième scénario	79
III.5.4 Quatrième scénario	81
III.6 Conclusion	82
Conclusion générale	83
Bibliographie	85
Webographie	87
Annexes	88

Introduction générale

Depuis longtemps, les êtres humains ont été très sensibles à la quantité et la qualité de l'eau, c'est l'un des besoins les plus fondamentaux de notre physiologie. C'est pour cette raison que l'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas faire courir des risques directs ou indirects pour la santé; pour le producteur d'eau et le distributeur.

L'étude de la qualité de l'eau dans un réseau d'alimentation en eau potable a pour principal objectif de livrer aux consommateurs une eau qui répond aux normes de potabilité, pour protéger la santé de la population.

Avec le progrès des outils informatiques, les méthodes de gestion ont évolué et l'étude quantitative et qualitative de l'eau dans les réseaux de distribution est rendue possible grâce aux modèles hydrauliques et aux systèmes d'information géographique. L'intérêt de telles études n'est plus à démontrer ; elles constituent des axes de recherche d'actualité.

En Algérie, beaucoup de problèmes sont rencontrés dans la gestion des réseaux d'AEP que ce soit quantitativement (satisfaction des besoins en eau, problèmes de pression, fuites....) ou qualitativement (faux branchements, eaux turbides.....), ce qui impose une bonne prise en charge de ce problème.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui vise à étudier la qualité de l'eau dans le réseau d'alimentation en eau potable du chef-lieu Chetouane en utilisant les systèmes d'information géographique et le modèle de calcul Epanet.

Des cartes thématiques sont réalisées pour les paramètres étudiés et des scénarios de simulations sont proposés pour le dosage du Chlore au niveau du réseau de distribution du chef lieu de Chetouane.

Notre travail est organisé en trois chapitres:

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les facteurs influençant la dégradation de l'eau de distribution et la modélisation de la qualité de l'eau dans les réseaux d'AEP.

Le deuxième chapitre fait l'objet d'une présentation de la zone d'étude et d'une évaluation des différentes ressources alimentant le chef-lieu de Chetouane.

Le troisième chapitre comporte deux parties, la première contient la gestion de la qualité de l'eau dans un réseau d'AEP par un SIG, et la deuxième partie traite la simulation de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef-lieu Chetouane par le logiciel Epanet. Enfin, une conclusion qui met l'accent sur une telle étude avec quelques recommandations.

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1 Introduction

L'objet de ce chapitre s'articule sur quelques définitions nécessaires que l'on rencontrera au cours de ce travail, telles que la définition de la qualité des eaux, les différents facteurs influençant la qualité de l'eau dans les réseaux, la modélisation et la gestion de la qualité des eaux dans les réseaux d'AEP.

On donnera également les différentes contraintes rencontrées dans le domaine de la gestion de la qualité des eaux dans les réseaux d'AEP.

I.2 Définition de la qualité des eaux

Aptitude de l'eau, déterminée par ses caractéristiques physiques, chimiques, biotiques ou organoleptiques, à servir à un usage défini ou à permettre le fonctionnement d'un milieu aquatique donné. [1]

I.3 Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux :

Le réseau de distribution de l'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur, où l'eau et son contenant (conduite, ...) sont le siège d'interactions physicochimiques et biologiques. L'eau du robinet peut avoir une qualité très éloignée de celle issue de l'usine de production. Les conditions qui contrôlent l'évolution de la qualité de l'eau dans le réseau sont complexes et ont fait l'objet ces dernières années d'une recherche approfondie.

Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réseaux est indispensable pour les services d'exploitation (en usine de production ou sur le réseau) afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels.

I.3.1 Les phénomènes biologiques

I.3.1.1 D'où viennent les microorganismes ?

L'eau traitée produite dans les stations de traitement d'eau potable par le réseau jusqu'aux usagers n'est jamais stérile. C'est d'ailleurs pourquoi on parle de désinfection et non de stérilisation.

L'usine de production d'eau potable doit éliminer la plus grande partie des germes présents dans l'eau brute et notamment tous ceux qui sont pathogènes. Lors de l'étape de la désinfection, le traitement d'eau s'appuie sur l'élimination des germes pathogènes.

Chapitre I : Etude bibliographique

Si le contrôle d'autres types de germes, tels que les germes totaux (flore hétérotrophe aérobie revivifiable) est assuré en sortie d'usine, il n'en est pas moins vrai qu'un certain nombre de microorganismes est introduit dans le réseau (pour les germes totaux, le niveau guide est par exemple de 10 germes / ml pour un dénombrement à 37° C), parce que les procédés physico-chimiques classiques de traitement ne permettent pas d'assurer en effet, avec fiabilité une élimination totale des micro-organismes. Par ailleurs, diverses situations d'exploitation en usine peuvent conduire à des relargages. Par exemple un mauvais rinçage des filtres au sein de l'usine peut permettre le relargage de germes ou de spores en sortie de station ainsi que la distribution des premières eaux produites par la filtration après lavage.

La flore bactérienne identifiée par les techniques classiques de comptage sur gélose n'est pas forcément représentative des bactéries effectivement présentes dans l'eau produite. Il est ainsi possible que des bactéries blessées ou stressées à la sortie des traitements de filtration et de désinfection soient rendues temporairement inaptes à la croissance sur des milieux de culture standard suivant les conditions types fixées.

A l'intérieur du réseau, ces bactéries blessées ou stressées, peuvent se réanimer ou se réparer, fonction de paramètres tels que la température, les nutriments présents et bien sûr le temps.

Dans le réseau, certains points offrent des voies d'entrée à la contamination par des microorganismes. C'est le cas des réservoirs où l'eau est en contact avec l'air, et où les orifices mal protégés peuvent permettre le passage de poussières ou d'insectes apportant des contaminations.

Les interventions sur le réseau (réparations, branchements), les fuites (en cas de dépression) et les accidents tels que des retours d'eau ou des cassures peuvent également être responsables de l'introduction de microorganismes dans le réseau. [2]

I.3.1.2 Les principaux micro-organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux

Les organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux de distribution couvrent une large partie de la classification des êtres vivants, incluant les bactéries, virus, champignons, et organismes pluricellulaires.

Les tableaux I.1 et I.2 donnent quelques microorganismes pouvant être rencontrés dans les eaux potables.

Chapitre I : Etude bibliographique

On peut notamment considérer :

- Les virus, identifiés à partir d'échantillons de l'ordre de 1 000 litres provenant le plus souvent des matières en suspension auxquels ils sont adsorbés et sont rarement libres. On les retrouve si l'oxydation par le chlore et ses dérivés, ou par l'ozone ne sont pas appliquées dans de bonnes conditions.
- Les bactéries forment un ensemble abondant et hétérogène. Les bactéries recherchées le plus souvent sont en général aérobies. [2]

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.1 : Organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux.[2]

Organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux	Présentation
Les Levures	telles que <i>Rhodotorula rubra</i> ou <i>glutinis</i> , quelquefois associée aux <i>Pseudomonas</i> , et susceptible de se maintenir dans des conditions de désinfectant éliminant les <i>Pseudomonas</i> .
Les Champignons inférieurs	Caractérisés par des spores abondants et des membranes de cellules épaisses, ils sont suspectés d'être à l'origine de problèmes de goût, réactions allergiques, voire toxiques (par voie d'inhalation uniquement). Notons la possibilité de formation de trichloranisole par certains champignons.
Les Algues	Caractérisées par une forte variation saisonnière dans certaines eaux superficielles, elles parviennent à franchir parfois les filières de traitement notamment lorsque la charge dans la ressource est très élevée, elles apportent des teneurs élevées en matières organiques et génèrent une sapidité de l'eau.
Les Autres Eucaryotes	Citons les rotifères, les protozoaires ciliés, flagellés qui sont difficiles à éradiquer par les produits bactéricides classiques et dont certains sont pathogènes avec par exemple des amibes, <i>Cryptosporidium</i> (quelques occurrences récentes aux Etats Unis et en Grande Bretagne), <i>Giardia</i> (kystes résistants à désinfection par le chlore et l'ozonation).
Les Vers	Les Nématodes peuvent mesurer plusieurs millimètres et ont une remarquable capacité de survie; Les Oligochètes se multiplient par scissiparité, surtout dans les matériaux filtrants et ont aussi une résistance aux désinfectants.
Les Crustacés	Ils sont considérés comme non dangereux mais sont suspectés de fournir une protection pour les bactéries dans leur tube digestif. Ils peuvent atteindre une longueur de plusieurs centimètres. Citons <i>Asellus aquaticus</i> et <i>Gammarus pulex</i> .
Les Mollusques et les Insectes	Peuvent être aussi présents sous forme de larves ou d'oeufs (cas des chironomes pour les insectes) si elles franchissent les matériaux filtrants dans les filières de traitement. Bien qu'elles ne trouvent pas un milieu favorable à leur développement dans le réseau, il est nécessaire de les réduire au maximum pour limiter l'apport de matière organique au réseau.

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.2 : Facteurs microbiologiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau [3]

Paramètres	Limites de qualité	Unité
Escherichia coli (E. coli)	0	/100 ml
Entérocoques	0	/100 ml
Bactéries coliformes.	0	/100 ml
Bactéries sulfito-réductrices y compris spores.	0	/100 ml

I.3.1.2.1 Les bactéries

Les bactéries sont sans doute le plus connu des trois groupes de microorganismes. La majorité des gens ont entendu parler des bactéries et, peut-être, de différents types de bactéries. Les bactéries sont des organismes unicellulaires dont la grosseur varie d'environ 0,5 micromètre à plusieurs micromètres. Pour illustrer à quel point elles sont petites, rappelons qu'un micromètre équivaut à un millième de millimètre. Autrement dit, si l'on parle de bactéries dont la longueur se situe entre 1 et 2 micromètres, il faudrait en joindre entre 500 et 1 000 de bout en bout pour obtenir une longueur d'un seul millimètre.

I.3.1.2.2 Organismes indicateurs

Bien que les techniques microbiologiques modernes aient rendu possible la détection des bactéries, virus et protozoaires pathogènes, tenter de les isoler de façon régulière dans l'eau potable n'est pas vraiment possible à l'heure actuelle. Il est préférable d'utiliser des indicateurs dont la surveillance est moins difficile et moins coûteuse en temps et en argent. Cette stratégie permet d'analyser un plus grand nombre d'échantillons et fournit un portrait global de la qualité de l'eau, ce qui assure une meilleure protection de la santé publique. Parmi les contaminants que l'on peut trouver couramment dans les sources d'eau de surface et souterraine, les microorganismes pathogènes provenant des matières fécales humaines et animales posent le plus grand danger pour la santé publique; c'est pourquoi la capacité de détection d'une contamination fécale de l'eau potable est essentielle à la protection de la population.

Coliformes totaux : Les coliformes sont un groupe de bactéries étroitement apparentées qui sont généralement libres dans l'environnement; leur présence dans l'eau peut être signe de contamination du système d'approvisionnement en eau. En effet, la présence de coliformes dans un échantillon d'eau traitée peut révéler une croissance biologique dans le système de distribution ou à un autre point de contamination. Les épreuves de détection des

coliformes totaux font partie des pratiques exemplaires à employer, et la présence de ces organismes peut signifier que d'autres bactéries pathogènes sont présentes.

) **Les bactéries Escherichia coli (E. coli)** sont des microorganismes courants que l'on trouve dans l'intestin des humains et des animaux, où elles aident à la décomposition et à la fermentation des aliments. On compte des centaines de souches d'E. coli, dont la plupart sont inoffensives pour la santé humaine. Parmi les organismes coliformes, les bactéries E. coli sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale, et on a élaboré des épreuves qui permettent d'en faire la détection rapidement et facilement dans l'eau.

E. coli provient de matières fécales pouvant s'introduire dans l'eau sous l'effet de la pluie, de la fonte des neiges et d'autres formes de précipitations. À ce titre, il s'agit d'un coliforme fécal, et sa présence dans l'eau révèle une contamination par les eaux usées ou les déchets d'origine animale. Ce type de contamination peut également résulter d'une contamination naturelle de l'eau d'approvisionnement associée aux animaux, au ruissellement agricole ou aux eaux usées, ou être causée par le mélange accidentel des eaux usées et de l'eau potable dans le système de distribution résultant d'une jonction fautive ou d'un problème lié à l'intégrité du système de distribution (par exemple, bris d'une conduite). Règle générale, les eaux souterraines présentent des concentrations plus faibles d'E. coli que les eaux de surface, ce qui s'explique par l'action filtrante des sols et des roches. [4]

) **Les streptocoques fécaux** sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale, et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. [5]

I.3.2 Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau

I.3.2.1 pH et minéralisation

Dans le réseau, le pH et la minéralisation sont importants pour le contrôle de la corrosion, l'agressivité de l'eau, l'action du désinfectant et la précipitation des éléments dissous. Mais le pH peut varier le long de la distribution du fait d'une évolution de

concentration de CO₂ dissous, ou bien parce que l'eau traitée n'était pas forcément à l'équilibre calco-carbonique en sortie de station.

Une aération dans un réservoir peut rendre une eau dure et incrustante par une perte de CO₂, ce qui risque alors d'obturer les conduites par dépôt de tartre. La solution est l'addition de CO₂ et/ou l'extraction de CaCO₃, qui sert à restaurer l'équilibre.

Inversement, une eau chargée CO₂ agressive (avec un pH bas) a tendance à attaquer les matériaux qu'elle rencontre avec des conséquences importantes: dissolution de ciments, attaque des métaux ferreux (corrosion) ou attaque de métaux toxiques tels que le plomb.

Des solutions envisageables sont l'élimination de CO₂ agressive, l'addition de chaux pour la mise à l'équilibre calco-carbonique ou un traitement de reminéralisations.

Avec une composition judicieuse, l'eau permet de développer à la surface des matériaux une couche protectrice composée en partie de carbonate de calcium. Il convient de distribuer une eau légèrement sursaturée en carbonate de calcium pour favoriser la formation de ce dépôt protecteur.

I.3.2.2 Température

La température des eaux peut varier de plusieurs degrés pendant le transit en réseau.

Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont d'origine superficielle.

Une température élevée peut favoriser des goûts ou odeurs désagréables. De plus, elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biologiques dans le réseau, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel en agissant sur les constantes d'équilibre et accélère la corrosion. Sur certains réseaux en climat tempéré le nombre de conformes dans des réseaux de distribution variait de façon saisonnière, les plus hauts niveaux se produisant durant les mois d'été. L'activité bactérienne s'accroît nettement lorsque la température dépasse 15°C.

La température joue aussi un rôle notable lorsque l'on fait des mélanges entre des eaux de composition différentes ; la couche protectrice formée par l'eau légèrement entartrant sur les parois peut ainsi changer de structure et diminuer en épaisseur ce qui n'est pas favorable. La température est aussi un des facteurs le plus important pour la dissolution des éléments tels que le plomb. Sa solubilité, par exemple, augmente de l'ordre de deux fois entre 12° C et 25° C.

Chapitre I : Etude bibliographique

Les services des eaux peuvent difficilement agir sur la température de l'eau. Les efforts doivent donc se porter sur d'autres paramètres qui évoluent en fonction de la température.

I.3.2.3 Oxygène dissous

De l'état de saturation à l'entrée du réseau, l'oxygène dissous peut considérablement diminuer en cours de distribution avec des réactions d'oxydation ou une prolifération bactérienne. Toute baisse de la teneur en oxygène dissous détectée sur le réseau peut alors être interprétée comme un signe de croissance biologique.

Dans le cas où le réseau est correctement entretenu, une anaérobiose répandue ne se produit qu'avec des temps de séjour très longs. En revanche, le développement de zones anoxiques est possible localement. Il en résulte des phénomènes de fermentation et bio-éducation (transformation de nitrate en nitrite), à l'origine de saveurs désagréables ou de corrosion. De tels problèmes nécessitent une révision des pratiques d'entretien dans le réseau. La sursaturation en oxygène reste rare.

I.3.2.4 Turbidité

Si la turbidité de l'eau est supérieure à 0.4 NTU, l'action des bactéricides est ralentie, voire annulée. Les colloïdes responsables de la turbidité peuvent protéger les bactéries des oxydants. Ainsi, un traitement de chlore libre à 0.4 ppm pendant une heure, qui donne normalement une garantie bactériologique à l'eau, n'est actif que si la turbidité est inférieure à 0.4 NTU.

Dans le réseau, une turbidité élevée de l'eau révèle les problèmes suivants :

- précipitation de fer, aluminium ou manganèse, due à une oxydation dans le réseau,
- précipitation lente de CaCO_3 (ou parfois hydroxydes de magnésium), due à un mauvais ajustement du pH à l'usine de traitement,
- une corrosion importante,
- des précipités formés par l'effet de post-floculation dans le réseau (effort persistant du floculant et polymérisation non achevée) dégradent la qualité organoleptique de l'eau et conditionnent la prolifération de microorganismes.

I.3.2.5 Ammonium

Il est important d'éliminer l'ammonium avant l'introduction de l'eau dans le réseau parce que l'ammonium réagit avec le chlore pour produire des chlora-mines, qui sont des

désinfectants 19 moins efficaces et peuvent provoquer des goûts désagréables. Certaines bactéries prolifèrent aussi en transformant l'ammonium en nitrites puis en nitrates.

I.3.2.6 Matières organiques

Source nutritive essentielle pour la prolifération bactérienne, le contenu en éléments organiques carbonés est aujourd'hui considéré comme un facteur primordial dans la maîtrise de la qualité microbiologique de l'eau dans le réseau, une consommation de la matière organique s'accompagne d'un accroissement de la densité bactérienne présente au niveau du biofilm, tout comme dans l'eau circulant (Figure I.1). [2]

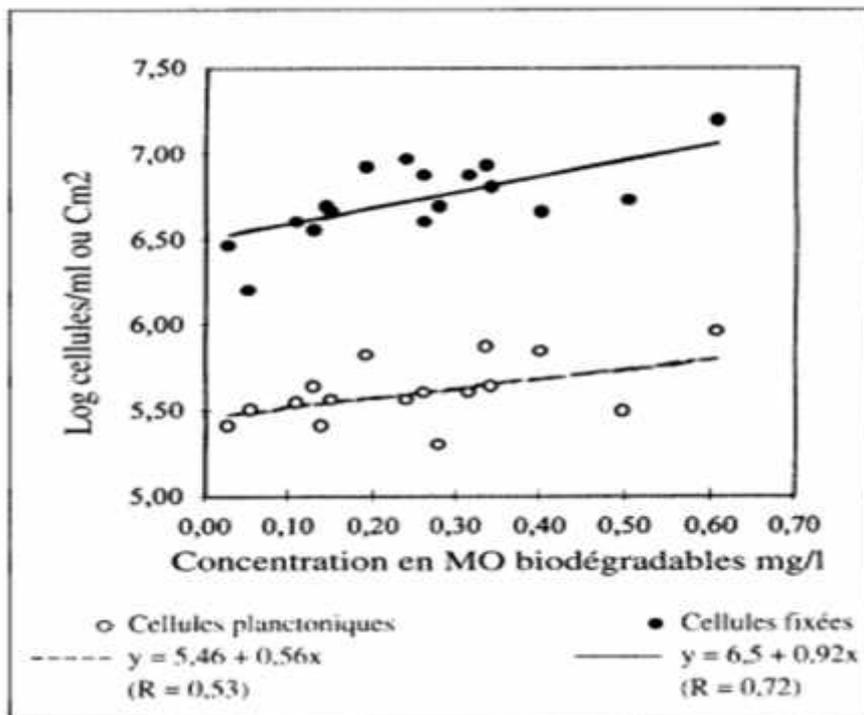


Figure I.1 : Relation entre le Log de la densité bactérienne et la concentration en matière organique biodégradée.

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.3 : Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau [3]

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ	UNITÉ	NOTES
Aluminium Total.	200	µg /L	À l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude pour lesquelles la valeur de 500 µg/L (AT) ne doit pas être dépassée.
Ammonium (NH ₄ ⁺).	0,10	mg/L	S'il est démontré que l'ammonium a une origine naturelle, la valeur à respecter est de 0,50 mg/L pour les eaux souterraines.
Carbone organique total (COT).	2,0 et aucun Changement anormal	mg/L	
Oxydabilité au permanganate de potassium mesuré après 10 minutes en milieu acide.	5,0	mg/L O ₂	
Chlore libre et total.			Absence d'odeur ou de saveur désagréable et pas de changement anormal.
Chlorites.	0,20	mg/L	Sans compromettre la désinfection, la valeur la plus faible possible doit être visée.
Chlorures.	250	mg/L	Les eaux ne doivent pas être corrosives
Cuivre.	1,0	mg/L	
Equilibre calcocarbonique.	Les eaux doivent être à l'équilibre calcocarbonique ou légèrement incrustantes.		
Fer total	200	µg/L	

Chapitre I : Etude bibliographique

Manganèse.	50	µg/L	
Couleur.	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal notamment une couleur inférieure ou égale à 15	mg/L (Pt)	
Odeur.	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal, notamment pas d'odeur détectée pour un taux de dilution de 3 à 25°C		
Saveur.	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal, notamment pas de saveur détectée pour un taux de dilution de 3 à 25°C		
Sodium.	200	mg/L	
Sulfates	250	mg/L	Les eaux ne doivent pas être corrosives
Conductivité.	180 et 1 000 ou 200 et 1 100	µS/cm à 20°C µS/cm à 25°C	Les eaux ne doivent pas être corrosives.

Chapitre I : Etude bibliographique

Température	25	°C	À l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude. Cette valeur ne s'applique pas dans les départements d'Outre-mer.
Turbidité	0,5	NFU	La référence de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2,0 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la référence de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement.
	2	NFU	La référence de qualité s'applique aux robinets normalement utilisés pour la consommation humaine.

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.4 : Les normes de la qualité des eaux d'AEP selon l'OMS [6]

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ⁴⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l

Chapitre I : Etude bibliographique

Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

I.3.2.7 Désinfectant résiduel

Si une baisse du désinfectant résiduel peut entraîner une croissance bactérienne dans le réseau, l'expérience montre que le maintien du désinfectant résiduel n'assure pas totalement la prévention d'une telle reviviscence.

I.3.2.8 Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité

Le consommateur est très sensible à toute dégradation organoleptique de l'eau dans le réseau. Malheureusement, le goût et l'odeur sont les caractéristiques les plus difficiles à maîtriser en raison des multiples causes et interactions, telles que:

-) La nature de la ressource : les composés présents dans la ressource prélevée et la variation temporelle de qualité (surtout dans les eaux superficielles).
-) Le traitement : le type et dosage de désinfectant et le passage du désinfectant résiduel dans le réseau.

)Le réseau : les matériaux rencontrés dans le réseau et les conditions chimiques présentes (corrosion, perméation à travers le revêtement, relargage, etc.).

)La microbiologie : la bio-production et la bio conversion des composés par des microorganismes.

De plus, le problème organoleptique est assez subjectif : par exemple, le chlore peut être considéré comme indésirable « chez soi » ou une assurance de la qualité de l'eau «A l'étranger».

Quelques problèmes causés par certains microorganismes ou d'origine physicochimique sont présentés dans le Tableau I.5.

Tableau I.5 : Problèmes organoleptique et d'origines physico-chimiques [2]

Type	Cause	Reconnaissance
Fer	Corrosion Traitement de coagulation (sels de fer utilisés)	3 mg/L seuil de reconnaissance moyen 40 µg/L pour les personnes sensibles
Cuivre	Corrosion	7 mg/L seuil de reconnaissance moyen 3 mg/L pour les personnes sensibles
Zinc	Corrosion	20 mg/L seuil de reconnaissance moyen 5 mg/L pour les personnes sensibles
Revêtement	Plusieurs types	Goûts « pharmaceutique/médicamenteux » ou « solvant/chimique »
Chlore	Chlore résiduel Réactions de chlore avec les matières organiques	Odeurs de chlore pour les consommateurs en tête du réseau Goûts « pharmaceutique/médicamenteux »

La couleur de l'eau peut être directement liée à la présence d'acides humiques dans l'eau. Ceux-ci réagissent, par ailleurs, avec le chlore pour donner des composés organo-halogénés indésirables. L'élimination de couleur devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau.

Les plaintes du consommateur seront considérées comme un signal d'alarme de la dégradation de l'eau. Ces «dégustateurs sentinelles» peuvent permettre de détecter des anomalies inhérentes au système de distribution qui auraient pu échapper à la vigilance du distributeur ne serait-ce que des problèmes de réseaux intérieurs.

I.3.2.9 Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau

Les corrosions sont souvent responsables de la présence des métaux lourds (fer, plomb, cuivre, cadmium ou zinc) dans les eaux. Elles fournissent un abri contre l'arrachage hydraulique pour les microorganismes, ralentissent l'écoulement et peuvent le modifier localement.

La corrosion est causée par des phénomènes électrochimiques localisés très variés (différents mécanismes de corrosion) ; par exemple à pH faible ou lorsque le taux d'oxygène est élevé, elle est souvent aggravée par des bactéries qui accélèrent les réactions.

La prévention de la corrosion doit se faire par des précautions au niveau du traitement de l'eau et un entretien adéquat du réseau.

I.3.3 Facteurs de dégradation liés à la conception ou à la gestion du réseau

I.3.3.1 L'hydraulique du réseau

La conservation de la qualité de l'eau est facilitée par une réduction du temps de séjour dans le réseau. Dans les réseaux urbains, il y a souvent un maillage élevé, ce qui assure la sécurité quantitative, impératifs de la sécurité incendie, permet de parer aux heures de pointes et facilite les arrêts d'eau s'il y a lieu. Il accroît cependant le temps de séjour de l'eau dans le réseau. Dans les réservoirs, le temps de séjour de l'eau peut augmenter en fonction de contraintes d'exploitation, ou même résulter d'erreurs de conception pour la conception de points singuliers sur le réseau.

Le temps de séjour n'est pas une seule valeur pour le réseau, mais est représenté par une distribution statistique. Le temps de séjour moyen dans le réseau peut être de l'ordre de quelques jours mais certains volumes d'eau peuvent stagner plus d'une dizaine de jours dans

des zones du réseau où l'écoulement est faible ou bien la demande en eau quasiment nulle (en périodes de vacances par exemple).

Des études ont montré que les problèmes de stagnation favorisant corrosion et dépôts apparaissent dès que la vitesse de l'eau est inférieure à 0.01 m/s et disparaissent au-delà de 0.1 m/s

Lors de la conception de réseaux, le diamètre des canalisations est ainsi calculé à partir des débits de pointes horaires. Il est conseillé des valeurs guides d'écoulement entre 0,5 et 1,5m/s. On a vu que l'écoulement de l'eau limite la croissance bactérienne par un effet d'arrachage du biofilm. Ainsi, la qualité microbiologique de l'eau peut se dégrader avec une augmentation de la vitesse d'écoulement, surtout lorsque celle-ci est brusque, par exemple lors de la mise en marche d'une bouche d'incendie. Une demande élevée de l'eau en été (arrosage, piscines, etc.) peut aussi entraîner une dégradation de la qualité de l'eau pour la même raison.

I.3.3 .2 Influence du choix des matériaux

Les interactions entre l'eau et les matériaux du réseau de distribution, c'est-à-dire le contenant, peuvent être à l'origine de dégradation de la qualité de l'eau distribuée.

- Comme on l'a présenté antérieurement, il faut éviter le contact direct entre l'eau et le métal de façon à lutter contre tout phénomène de corrosion.

Dans les anciens réseaux constitués majoritairement de fonte grise non revêtue intérieurement, des campagnes de nettoyage ont montré que les dépôts recueillis par décantation sont essentiellement constitués de 40 % en poids de fer.

Pour tout matériau métallique, la migration de micropolluants dans l'eau liée fondamentalement à des réactions électrochimiques de corrosion, existe aussi bien pour le cuivre (eaux à pH bas, effet tampon faible), le plomb (eaux à pH inférieur à 7, teneur en O₂ dissous non négligeable, faible minéralisation), les canalisations en acier galvanisé (après corrosion, on observe la migration de zinc parfois contaminé par le plomb, l'arsenic et le cadmium), et des alliages métalliques qui peuvent relarguer certains éléments les constituant suivant la qualité de l'eau en contact.

- Pour les matériaux à base de ciment (béton notamment), avec une eau agressive (sous-entendu au carbonate de calcium), la chaux du liant se dissoudra progressivement en entraînant une élévation de la porosité du matériau et une élévation du pH de l'eau sans autre conséquence majeure sur la qualité.

Chapitre I : Etude bibliographique

- Les joints des réseaux qui constituent aussi le contenant, sont soupçonnés, dans certains cas, de relarguer des substances nutritives dans l'eau pouvant stimuler la croissance bactérienne.
- Certains matériaux de revêtement interne de grosses conduites ou de réservoirs relargueront pour leur part des polymères, des adjuvants ou des solvants ce qui se traduira par l'apparition de saveurs désagréables.

Pour la mise en œuvre de ces matériaux dans les revêtements d'étanchéité, il convient d'être particulièrement attentif aux critères suivants :

- contraintes de mise en œuvre sur les chantiers,
- adhérence au support maçonné,
- compatibilité du produit avec les modalités de nettoyage des ouvrages.

Certains matériaux sont aussi le support de prolifération bactérienne.

- Les tuyauteries ou matières plastiques qui ont l'avantage de supprimer les risques de corrosion, et de réduire dans certains cas le nombre de joints, donc de fuites, peuvent dans des situations d'emploi particulières entraîner une dégradation de la qualité de l'eau, par exemple dans des zones à risque de pollution par hydrocarbures ou les solvants (stations-services, teintureries, industrie à chimie organique, ...)

En effet, les matériaux plastiques sont, pour certains, perméables à ces produits organiques, qui migrent alors en phase gazeuse ou liquide à travers la paroi des tuyaux. Outre des risques de contamination chimique de la qualité de l'eau, ces contaminants constituent parfois, suivant leur biodégradabilité, des nutriments pour la flore bactérienne.

I.3.3.3 Origine des altérations de la qualité de l'eau potable

Le Tableau I.6 décrit de façon récapitulative les différentes origines des altérations de la qualité de l'eau en cours de distribution.

L'eau potable produite dans l'usine doit en effet conserver sa qualité depuis la sortie de l'usine jusqu'au robinet de l'utilisateur. Une bonne distribution résulte donc d'un transit de l'eau sans aléas tout au long du réseau.

Cette énumération ne traite pas de cas liés à la contamination de l'eau brute ou de défauts de fonctionnement dans l'unité de production.

Les causes d'altération situées dans les installations privées sont citées à titre d'information puisque ne faisant pas partie intégrante de cette étude. [2]

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.6 : Origines des altérations de la qualité de l'eau potable dans les réseaux et conséquences.[2]

Origines	Causes	Conséquences	Dangers
Réservoirs	Mauvaise étanchéité de l'ouvrage	Infiltration de l'eau de pluie	Contamination microbiologique
	Orifices de ventilation ou voies d'accès mal protégées	Pénétration d'insectes ou autres animalcules	Altération de l'eau sur le plan organique organoleptique ou microbiologique
	Mauvais entretien (nettoyage notamment)	Apports nutritifs du fait de l'encrassage, ou de sédiments organiques	Développement de germes (clostridium, ...)
	Surdimensionnement, points bas courts-circuits de l'eau entrée-sortie, ...	Stagnation de l'eau	Altération des qualités initiales pour divers paramètres
	Réservoir exposé à la lumière du jour	Croissance d'algues	Apports de matières organiques
	Interventions effectuées en dehors des règles de l'art (désinfection, prélèvements, accès au plan d'eau, ...)	Eau potable souillée	Contamination microbiologique
Retours d'eau	Dépression (pompage intensif sur réseau, rupture de canalisation,...) ou contrepression (mise en pression dans une installation privée, ...)	Siphonnage ou refoulement de substances indésirables ou polluantes	Pollutions toxiques, microbiologiques, ou organoleptique

Chapitre I : Etude bibliographique

Environnement extérieur de la conduite	Fuites, usures au joint et dépression Perméation	Intrusion d'eaux terreuses Introduction de polluants	Pollution microbologique essentiellement Pollution toxique ou organoleptique
Défauts du Réseau	Matériau inadéquat pour l'alimentation en eau potable	Relargage de polluants Apports nutritifs Adhérence trop importante des germes Corrosion	Pollution toxique Favorise le biofilm Contamination microbologique Altération des paramètres métaux (Fe, Zn, Pb, Cu, Cd .)
Interventions sur le réseau Ventouse mal située	Ventouse mal située	Eau potable souillée	
Intrusion de polluants au niveau d'une ventouse (rare)	Matériau inadéquat Juxtaposition de matériaux inadéquats Dysfonctionnement des dispositifs de traitement domestiques (surdosage, cartouches saturées ou colonisées par des bactéries,) Colonisation des zones stagnantes par circuit d'eau chaude Surdimensionnement (faible consommation, longueur, ...)	Corrosion ou relargage Corrosion Stagnation de l'eau	Pollution toxique ou organoleptique Altération des paramètres métaux Relargage de bactéries ou d'éléments minéraux Contamination microbologique (Legionella) Pollution microbologique, chimique (NH ₃), organoleptique

I.3.3.4 Diamètre des conduites

Le diamètre d'une conduite peut indirectement affecter la qualité de l'eau en influençant le rapport surface / volume des canalisations, donc, la surface disponible pour le biofilm et la consommation du chlore aux parois. Plus le diamètre d'une conduite est petit, plus le ratio surface/volume devient élevé entraînant ainsi le contact d'une plus grande surface interne de la conduite avec le chlore. À partir de simulations du chlore résiduel en réseau, illustrent la perte accrue de résiduel de chlore (pour une même vitesse d'écoulement) lorsque le diamètre d'une conduite diminue. Ainsi que les développements microbiologiques s'observent surtout dans les conduites de petits diamètres, aux rapports surface/volume plus importants, où les débits sont souvent plus faibles et les risques d'augmentation de la température plus élevés.

I.3.3.5 Âge des conduites

La mise en service de conduites semble être une étape particulièrement propice à une dégradation de la qualité de l'eau. D'une part, selon les caractéristiques physicochimiques de l'eau et les conditions hydrauliques présentes, la dégradation de certains matériaux peut survenir. D'autres parts, les procédures de mise en service et plus particulièrement la désinfection.

À l'opposé, d'autres types de problèmes peuvent survenir lorsque l'âge des conduites augmente. Le nombre de fuites et de brises dans un réseau augmente sensiblement lorsque l'âge des conduites augmente. Les fuites d'eau sont problématiques au niveau de la qualité de l'eau puisqu'elles représentent une source potentielle d'intrusions.

I.3.3.6 Bris de conduites et importance des procédures de désinfection après intervention

Les bris de conduites sont problématiques au niveau de la structure et du fonctionnement hydraulique du réseau mais également au niveau de la qualité de l'eau, puisque qu'ils peuvent entraîner une contamination de l'eau transportée. En guise d'exemple, la vitesse d'écoulement de l'eau lors du nettoyage d'une conduite réparée n'est pas toujours adéquate et qu'une vitesse trop faible ne peut enlever tous les débris contaminés. Après toute intervention sur le réseau, il est impératif d'effectuer un nettoyage et une désinfection dont les principaux objectifs sont: éliminer les matières étrangères présentes dans la conduite, éliminer la contamination microbiologique présente dans les canalisations et appareils venant en contact avec l'eau distribuée, éviter de contaminer le réseau de distribution existant et

finalement, éviter les plaintes causées par les travaux de pose ou d'entretien des canalisations et ouvrages.

Le vieillissement des réseaux influence à la hausse le nombre de bris et réparations de conduites effectuées, ce qui a pour effet d'augmenter la probabilité d'intrusion de contaminant dans le réseau.

I.3.4 Influence des paramètres hydrauliques d'un réseau sur la qualité de l'eau

Le fonctionnement hydraulique d'un réseau de distribution est un élément indispensable à considérer lors de l'apparition de problèmes de qualité d'eau. Des paramètres tels que le temps de séjour de l'eau dans le réseau, la vitesse d'écoulement de l'eau dans les canalisations et la pression d'eau disponible en différents points du réseau peuvent affecter la qualité de l'eau traitée. La configuration des réservoirs (emplacement, capacité...) Ainsi que leur mode d'opération peuvent également avoir un effet négatif sur la qualité de l'eau s'ils ne sont pas optimisés. Tous ces paramètres peuvent engendrer des modifications à l'eau traitée tant au niveau chimique que biologique.

I.3.4.1 Vitesse d'écoulement dans les conduites

La vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite peut influencer la croissance du biofilm attache aux parois de la conduite en exerçant un effet sur le transport des nutriments et du désinfectant et sur les forces de cisaillement aux parois. Des vitesses élevées favorisent une plus grande turbulence, ce qui permet une diffusion accrue des nutriments et du désinfectant dans le biofilm. Un tel phénomène peut être bénéfique au biofilm (si les nutriments sont prédominants) ou néfaste (si le désinfectant est prédominant) .Toutefois, les forces de cisaillement exercées sur les parois étant également plus élevées, la capacité des cellules microbiennes à s'attacher aux parois est grandement diminuée.

I.3.4.2 Pression de l'eau à différents points du réseau

Dans un réseau de distribution, Les pressions très faibles ou très élevées ne sont pas souhaitables. Des eaux de qualité douteuse, usées ou contenant tout autre contaminant peuvent alors être introduites dans le réseau d'eau potable suite à un changement de direction de l'écoulement cause par des phénomènes de pressions négatives (pressions supérieures chez l'utilisateur que dans le réseau) ou de siphonage. À l'opposé, des pressions trop élevées peuvent augmenter les taux de fuites et de bris sur les conduites, augmentant ainsi la probabilité d'intrusions de contaminants dans le réseau.

I.3.4.3 Configuration et mode d'opération des réservoirs

Les réservoirs présents dans les réseaux de distribution d'eau sont généralement utilisés afin de satisfaire les fluctuations au niveau de la demande en eau, fournir les réserves d'eau nécessaires en cas d'incendie ou autres urgences et équilibrer les pressions et débits sur leur zone d'influence. Comme la plupart des réservoirs ont été conçus avec l'objectif premier de pouvoir assurer une alimentation hydraulique adéquate autant en situation de routine qu'en situation d'urgence, des ouvrages pouvant contenir des réserves de grande capacité ont donc été incorporés aux réseaux de distribution.

En général, moins de 25 % de la capacité des réservoirs est activement utilisée pour les opérations de routine du réseau, le reste étant réservé en cas d'incendie. Une telle philosophie de conception résulte en des temps de séjour élevés de l'eau dans les réservoirs ce qui peut entraîner un effet significatif sur la qualité de l'eau. La détérioration de la qualité de l'eau dans les réservoirs peut s'exprimer par une perte majeure de résiduel de désinfectant pouvant entraîner par la suite des phénomènes tels que la recroissance bactérienne.

Le dimensionnement des réservoirs, leur localisation dans le réseau ainsi que leur mode d'opération peuvent avoir un impact significatif sur le temps de séjour de l'eau. La maximisation du volume d'eau renouvelé lors d'un cycle remplissage - drainage d'un réservoir permet de réduire au minimum le temps de séjour de l'eau dans ces structures. [7]

I.4 Consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité

I.4.1 La qualité de l'eau produite

Pour assurer la stabilité de la qualité de l'eau distribuée et faire en sorte qu'elle « reste potable ». L'eau devra être parfaitement désinfectée, exempte de particules, avoir un faible excès d'oxydant et un taux aussi faible que possible de matières organiques biodégradables ; tous les équilibres seront ajustés et régulés de manière à éviter l'entartrage excessif, la corrosion et la dissolution de matériaux. [2]

I.4.2 Traitements de désinfection

La désinfection a pour objectif d'éliminer les organismes pathogènes et de maintenir un résiduel bactériostatique dans les réseaux de distribution, de manière à éviter la dégradation de l'eau; en particulier par reviviscence bactérienne. Son efficacité dépend du pouvoir létal du désinfectant utilisé, du temps de contact avec l'eau, des conditions physicochimiques

(pH, température, turbidité) et de la qualité du traitement en amont.

Les réactifs mis en œuvre pour la désinfection des eaux alimentaires sont identiques à ceux de l'oxydation. Néanmoins, l'oxydation et la désinfection restent deux étapes bien distinctes:

- ✓ L'oxydation intervient au début de la chaîne de traitement – entre le traitement physique et la clarification – on parle généralement de « préoxydation ».
- ✓ La désinfection intervient en toute fin de traitement – avant la mise en distribution de l'eau on parle souvent de « post chloration ».

➤ **La désinfection au chlore – chlore gazeux ou à l'hypochlorite de sodium** – est simple à mettre en œuvre (injection directe à partir d'une bouteille de chlore ou d'une pompe doseuse). Les agents désinfectants sont l'acide hypochloreux (HOCl) et l'ion hypochlorite (OCl⁻). La forme prédominante est l'acide hypochloreux (HOCl) aux pH < 7,4 et l'ion hypochlorite (OCl⁻) aux pH > 7,4. L'acide hypochloreux (HOCl) étant un désinfectant plus efficace que l'ion hypochlorite (OCl⁻), la désinfection doit être mise en œuvre en milieu acide. Une correction du pH est ensuite nécessaire avant mise en distribution de l'eau. La désinfection est assurée, s'il reste dans l'eau une quantité résiduelle de « chlore libre » (HOCl + OCl⁻) de l'ordre de 0,1 à 0,2 mg/l après un temps de contact de l'ordre de 30 minutes. Si le traitement amont est insuffisant, le chlore réagit avec les composés oxydables encore présents dans l'eau: il est consommé au détriment de la désinfection. Si le résiduel est trop important, il faut le neutraliser avec du bisulfite de sodium: c'est la déchloration. La désinfection au chlore a l'inconvénient de former des composés organiques chlorés tels que les trihalométhanes (THM) et de générer des mauvais goûts.

Le chlore a par ailleurs l'avantage d'être un désinfectant à pouvoir rémanent: une fois que les réactions d'oxydation ont eu lieu, il ne disparaît que lentement. Ce pouvoir est mis à profit dans les réseaux de distribution, où on laisse après traitement une certaine quantité de chlore libre dite « chlore résiduel », de manière à obtenir un effet bactériostatique qui évite la reviviscence bactérienne et permet de préserver la qualité de l'eau.

➤ **Le dioxyde de chlore (ClO₂)**: est également un bon désinfectant. Son pouvoir rémanent est plus important que celui du chlore. Il persiste donc plus longtemps dans les réseaux de distribution. Le pH a peu d'effet sur son efficacité et il ne forme pas de composés indésirables comme les THM. Il peut par contre former d'autres sous-produits: les chlorites et

les chlorates, également visés par la réglementation Sa mise en œuvre est assez délicate: c'est un gaz très toxique qui doit être fabriqué sur place.

➤ **L'ozone:** est un désinfectant puissant, capable notamment d'éliminer les virus (avec résiduel de 0,4 mg/L d'ozone pendant 4 mm). IL a l'inconvénient de ne pas être rémanent. Son pouvoir désinfectant important permet néanmoins de limiter la chloration de l'eau avant sa mise en distribution; ce qui a pour conséquence d'améliorer sa qualité gustative. [8]

➤ Filtration lente de l'eau

Ce traitement « biologique » ne nécessite aucun réactif chimique, son principe est basé sur le passage de l'eau à très faible vitesse (0.1 à 0.5 m/h) au vitesse d'un massif sableux sur une épaisseur de 0.6 à 1 m. Le film biologique (algues, bactéries, zooplancton) qui se développe en surface après quelques semaines contribue à l'élimination du COT et des matières humiques, mais aussi des microorganismes (bactéries, protozoaires, virus).

Ce procédé présente des avantages par sa simplicité mais aussi des risques de dysfonctionnement (colmatage par les algues, difficulté de lavage du sable, ...).

Les inconvénients des désinfectants classiques appliqués en fin de traitement a poussé plusieurs organismes distributeurs de l'eau à adopter des approches alternatives, en supprimant l'étape finale de désinfection par oxydant chimique et en investissant davantage la filtration lente sur la réduction des matières organiques. [2]

I.5 Système d'information géographique

Le concept de systèmes d'information géographique (SIG) est apparu dans les années 1960-1970 avec un premier essai par [Tomlinson (1967)]. Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition [Burroughs(1986)]; [Fischer et Nijdam, (1993)]; [Gagnon et Coleman, (1990)]; [Goodchild et Kemp, (1990)]; [Laurini et Milleret- Raffort, (1993)]; [Maguire, (1991)]; [Star et Estes, (1990)]; [Tomlin, (1990) in (Pouliot, (1999)]. Afin de bien situer le rôle et l'usage du SIG dans ce travail, nous allons également préciser sa définition. [9]

I.5.1 Définitions :

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

La troisième façon de définir un SIG renvoie à l'analyse systémique [Le Moigne, (1990)]. Un SIG englobe en général quatre sous-systèmes (Figure I.2):

-) Un sous-système pour l'acquisition des données géographiques qui peuvent être d'origines diverses (environnement de la conduite avec les caractéristiques des sols, la géologie, la sismique) ;
-) Un sous-système de gestion de données pour le stockage, l'organisation et la recherche de données ;
-) Un sous-système d'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation des données géographiques ;
-) Un système de présentation des résultats, soit sous forme de carte par l'affichage graphique à l'écran ou par sorties cartographiques sur papier, soit sous forme de listes ou de tableaux.

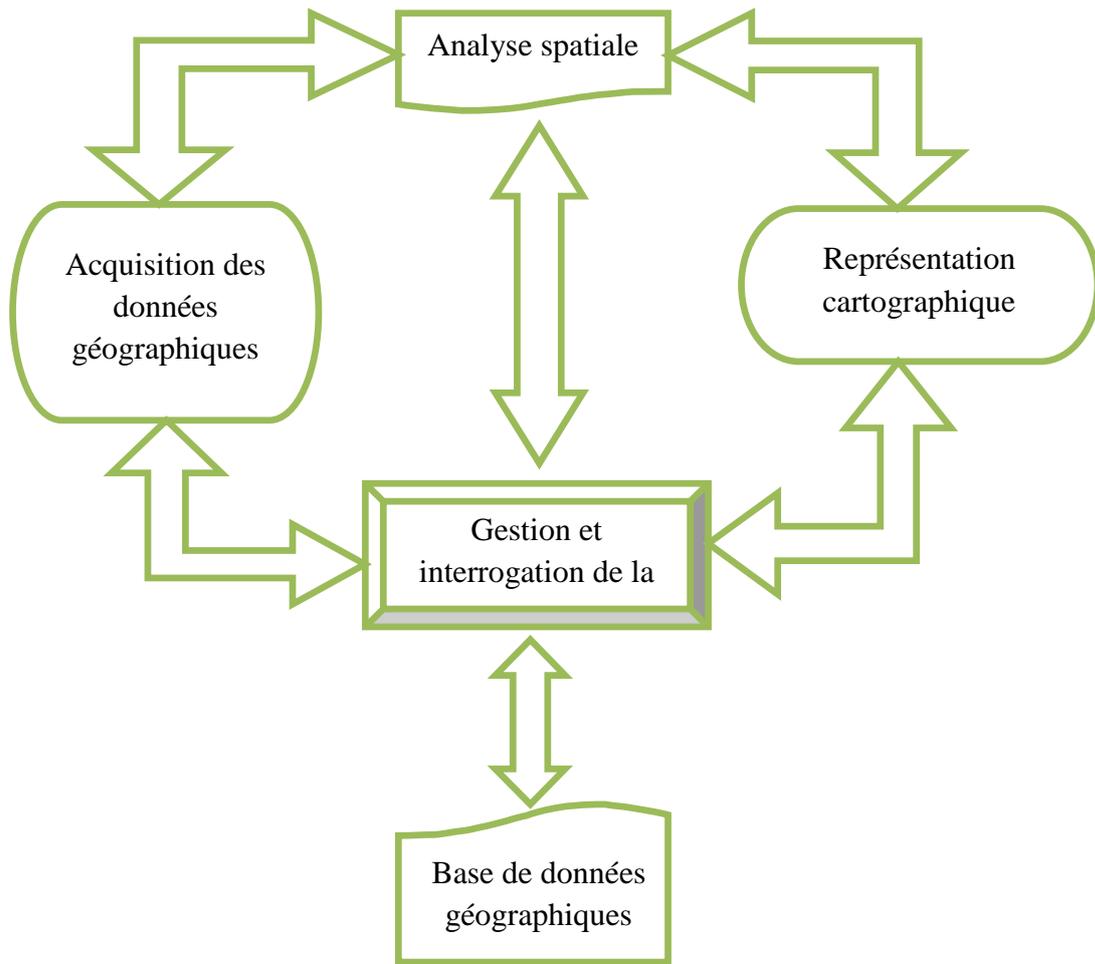


Figure I.2: Structure d'un Système d'Information Géographique.

Un système d'information géographique peut être aussi défini par les questions auxquelles il apporte des réponses:

- Qu'y a-t-il à cet endroit? Exprimant une localisation

Cette localisation peut être une adresse, un nom de rue ou de quartier ;

- Ou est-ce? Exprimant une condition : Elle permet de trouver les localisations correspondantes à certaines conditions: où sont les canalisations en PVC ;

- Qu'est ce qui a changé depuis? Exprimant les tendances ; permet de chercher les changements effectués pour les tronçons du réseau d'AEP ;

- Quelle est la répartition spatiale de ce phénomène? Exprimant une répartition.

Elle permet de savoir la répartition spatiale des réservoirs, des points de piquage, des industries ;

- Qu'est ce qui se passe si? Exprimer une modélisation : Elle permet de savoir les perturbations qui peuvent être provoquées par un piquage sur un réseau existant d'AEP.

I.5.2 Mode de représentation des données géographiques

Il existe deux modes de représentation des données spatiales :

- Le mode raster ;
- Le mode vecteur.

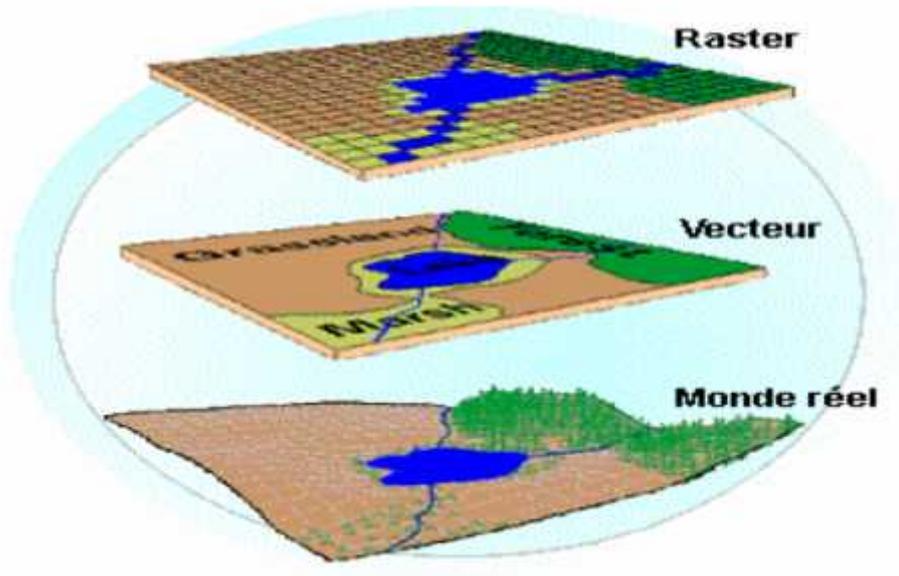


Figure I.3 : Modèle de représentation des données géographiques.

I.5.2 Mode de représentation raster

Le mode raster correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules rectangulaires ou carrées. Il est fortement lié à la notion d'image. Chaque cellule (ou pixel) est référencée en ligne et en colonne. Elle contient une valeur qui correspond à une grandeur numérique (valeur radio métrique par exemple) ou alphanumérique (dans ce cas, on lui attribue un code correspondant à un attribut descriptif).

Il existe deux manières d'attribuer les valeurs aux cellules :

- méthode manuelle :

- Cellule par cellule ;

- Par chaîne de valeurs, quand les valeurs sont identiques, on saisit alors la longueur

Puis la valeur.

- méthode automatique :

- Par scénarisation de document ;
- Par récupération de document numérique telles les images satellites.

I.5.2 Mode de représentation vecteur

Le mode vecteur permet la représentation des objets dans un espace continu, et non pas discrétisé. Les objets et leurs limites sont localisés avec précision dans un référentiel géographique ou cartésien. Cette structure de données est liée à la notion de carte.

En mode vecteur, les objets géographiques se ramènent à trois classes d'entités qui sont :

- Les points (un point d'eau) ;
- Les lignes (cour d'eau) ;
- Les surfaces (un bassin versant).

Le principe de la numérisation du modèle vecteur repose essentiellement sur l'utilisation de la digitalisation, c'est-à-dire on saisit les coordonnées x, y d'un objet graphique (parcelle, route, bâtiment) en parcourant sa forme géométrique à l'aide d'un curseur.

Ces deux modèles sont complémentaires. Le raster est mieux adapté à certains types d'applications qui se contentent de scanner des fonds de plans, et le vecteur pour les types d'applications qui nécessitent des définitions par formes géométriques, la gestion des données localisées et la manipulation des relations entre objets spatiaux. Cependant, il existe des méthodes permettant le passage du modèle vecteur au modèle raster et vice versa.

I.5.3 Saisie de l'information géographique

I.5.3.1 Entrée des données spatialement référencées

L'entrée des informations afin de créer une base de données géographique peut être réalisée par plusieurs méthodes (figure I.4). Les plus courantes et les plus classiques utilisent les cartes existantes. Pour se faire plusieurs moyens sont utilisés pour numériser les papiers existants :

- Digitalisation ;
- Le balayage électronique (scénarisation) ;
- La télédétection.

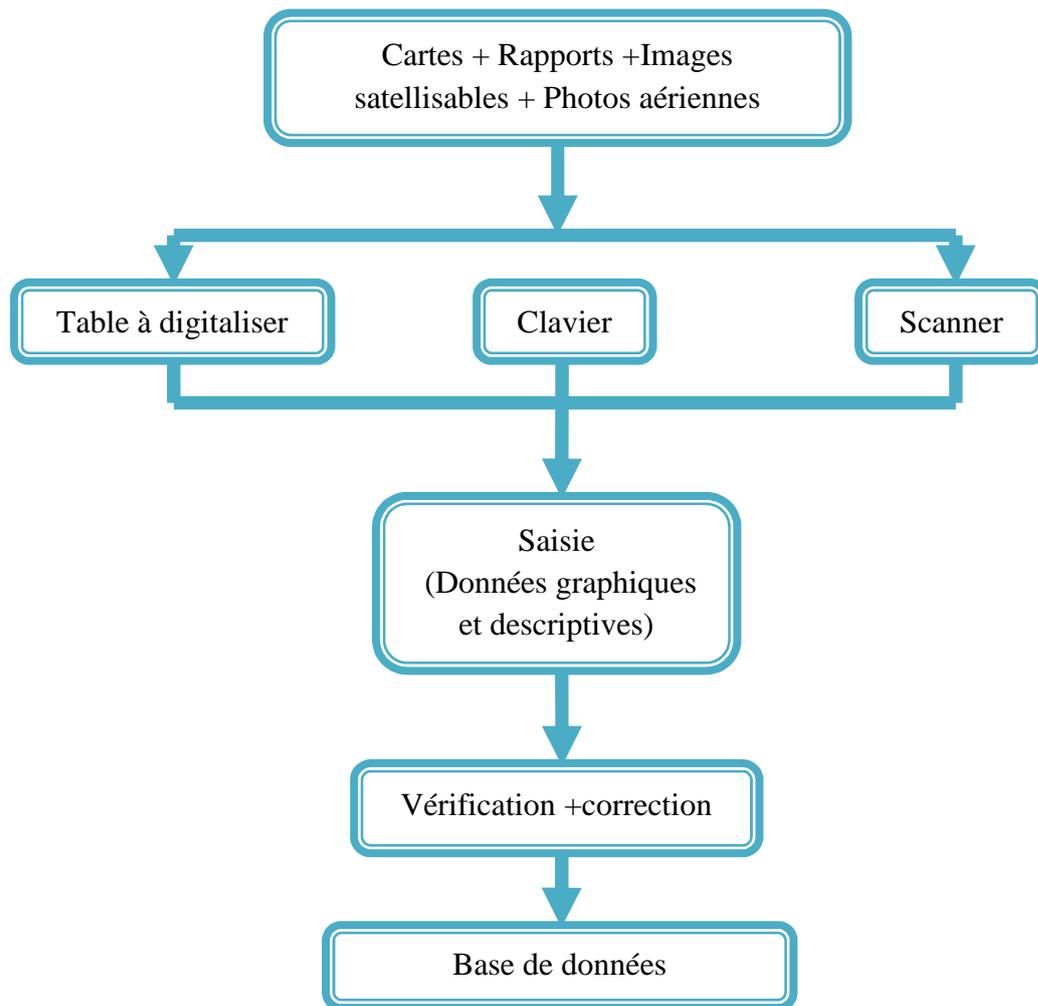


Figure I.4: Acquisition de l'information géographique

a. La digitalisation

La digitalisation permet de récupérer des objets disposés sur un plan ou une carte préexistante. Elle consiste à faire évoluer un curseur sur un plan posé sur une table à digitaliser, et préalablement calée en coordonnées. La carte est réceptive aux signaux électriques émis par le curseur. Chaque objet ainsi digitalisé est introduit avec son code identifiant sa géométrie (point, ligne, surface fermée), le plus généralement à l'aide des boutons du curseur.

b. La scénarisation

Le balayage électrique (réaliser à l'aide d'un scanner) est un autre moyen de saisir une carte ou un plan existant. Il enregistre l'intensité de la réflexion d'un faisceau lumineux venant balayer ligne par ligne le document source. Chaque niveau d'intensité enregistré

concerne une zone du document balayé est désigné par son numéro de ligne et son numéro de colonne.

Le scanner fournit comme résultat une trame, dont la qualité dépend fortement de celle de l'originale.

c. La télédétection

On a plusieurs types de données descriptives (sémantiques) :

- Les attributs associés aux objets ;
- Les données textuelles ;
- Les données graphiques ;
- Les images, vidéo.

L'entrée de ces données peut se faire de plusieurs manières :

- Par saisie manuelle à l'aide du clavier ;
- Par récupération de fichiers de données créés par ailleurs ;
- De manière interactive : l'utilisateur choisit une entité spatiale et y affecte directement des attributs descriptifs.

I.5.4 Structure et composantes d'un SIG

Les éléments d'information nécessaires pour les décideurs comprennent à la fois des données et des traitements. Les données associent une description spatiale et alphanumérique des entités et de leurs interrelations. Les traitements sont plus diversifiés, et correspondent à trois rôles fondamentaux et:

- (i) l'alimentation du système au travers d'une numérisation des données;
- (ii) l'exploitation des données au travers de traitements statistiques, topologiques et géométriques ;
- (iii) la diffusion de l'information, sous forme des cartes graphiques, tableaux, etc [10].

I.6 Gestion informatisée des réseaux

La complexité des réseaux d'eau potable et la difficulté éprouvée par les gestionnaires de prévoir les phénomènes hydrauliques qui s'y déroulent, fait de la gestion informatisée une opération indispensable, rendue possible grâce aux progrès de l'informatique .

Elle permet en effet :

- ✓ D'améliorer la connaissance des réseaux faisant l'objet d'une telle étude ;
- ✓ De détecter et de comprendre les désordres pouvant se produire sur le réseau : on peut par exemple localiser les zones où la pression est anormale et en déduire la présence de fuites ou l'existence d'éléments inconnus, s'apercevoir que les temps théoriques de fonctionnement de pompes sont bien inférieurs aux temps mesurés ou découvrir d'autres indices qui témoignent de dysfonctionnement ;
- ✓ De simuler sur une période d'au moins une journée le comportement du réseau afin d'en optimiser les ressources, les capacités de stockage, les pompages ;
- ✓ D'étudier l'impact de nouvelles consommations ou d'éventuels incidents, de prévoir et adapter les installations pour faire face à de nouvelles contraintes ou à des situations de crises;
- ✓ De dimensionner les extensions, les renforcements ou les aménagements nécessaires pour satisfaire les nouveaux besoins.

I.6.1 Cartographie des réseaux

C'est l'ensemble des études et opérations intervenant à partir d'une connaissance approfondie des réseaux (observations, exploitation ...) et l'établissement des cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que leurs utilisations

Les plans de réseaux sont des outils indispensables à la bonne marche d'un service d'AEP. Ils sont utilisés par de nombreux intervenants tels que les agences d'urbanisme ou autres services publics. On distingue plusieurs plans à des échelles différentes selon leur utilisation.

✓ Plans à petite échelle (de l'ordre de 1/ 10 000): Ils offrent une vue globale de l'ensemble du réseau. Ils sont utilisés par les services chargés de la planification et de l'élaboration des plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU). Cette échelle est souvent employée aussi dans les zones rurales où les réseaux sont étendus avec une basse densité de branchements et équipements

✓ Plans à échelle moyenne (1/ 5000 à 1/ 1000): Ce sont les plans utilisés sur le terrain. par les exploitants. Sur ces plans sont représentés les fonds de plans et les réseaux accompagnés des informations indispensables à l'exploitant.

✓ Plans à grande échelle (1/500 à 1/100): Ils permettent une localisation précise des ouvrages existants. Ces plans sont généralement réalisés rue par rue, et présentent le positionnement des canalisations et des pièces spéciales, les branchements et les côtes exactes du réseau. Ces plans sont très utiles, compte tenu de la masse d'informations qu'ils contiennent.

✓ Plan de recollement: Sur les plans d'exécution qui sont généralement à l'échelle du 1/500 sont reportés tous les réseaux nouvellement construits avec leurs caractéristiques (diamètre, type, nature), sont indiqués aussi les ouvrages annexes, les vannes et les côtes de radiers. [9]

I.6.1.1 Mise à jour des plans

Les services d'eau disposent généralement des informations concernant les réseaux et d'un support cartographique correspondant à la voirie car la mise à jour demande une bonne coordination avec les services en charge des travaux de voirie afin que ceux-ci transmettent au service d'AEP les plans d'exécution des travaux.

I.6.1.2 Fonds de plans

Les données cartographiques correspondantes à la voirie et le bâti sont tenues à jour par les services concernés tels que l'Institut National de Cartographie et de Télédétection ou les services du Cadastre qui sont les principaux fournisseurs des données cartographiques nécessaires aux organismes gestionnaires de réseaux.

Le plan cadastral est le document de référence de l'information cadastrale; c'est-à-dire à partir du plan que sont identifiés tous les biens soumis à impôt.

Le plan cadastral comporte principalement les informations suivantes:

✓ Les limites de commune, de section cadastrale, de lieu – dit, de parcelle et de subdivision fiscale, avec mention du toponyme ou du numéro.

✓ Les bâtiments (hachurés), les hangars, les mosquées, les cimetières, les calvaires, les moulins, les cheminées d'usine, les gazomètres, les gazoducs, les lignes de transport de forces.

✓ Les noms de voie et les numéros de police des immeubles bordant ces voies.

Les repères géodésiques, les points de triangulation et de polygonation cadastrale, les repères de nivellement, les bornes de propriétés.

✓ Les murs, les clôtures, les haies, les fossés, les cours d'eau, les lacs, les étangs, les ouvrages (quais, ponts), les bordures de chemins et de trottoirs...

Afin de mieux évaluer ce que peut apporter la cartographie informatisée, il convient de mettre en évidence les principaux inconvénients de la cartographie « papier » :

✓ la quantité d'information que peut contenir une carte est limitée, principalement pour des raisons de lisibilité ;

✓ une fois produite, la carte « papier » est un document figé. Il peut même arriver que des cartes soient périmées dès leur parution ;

✓ il est difficile d'extraire une information exacte (coordonnées géographiques d'un point situé en mer) ;

✓ aucune analyse quantitative ne peut être conduite entre deux cartes thématiques;

✓ toute analyse spatiale à partir de plusieurs cartes est difficile, voire impossible.

1.6.1.3 Cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable à l'aide d'un SIG

La cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable doit être fondée sur une parfaite connaissance de ces derniers et de tous leurs éléments constitutifs et leurs son fonctionnement.

Les cartes et plans des réseaux, tenus à jour, avec l'indication des différents points singuliers constituent le document de base de l'exploitant.

Ce document de base tend à se développer sur support informatique et constitue un système d'information géographique, véritable base de données fondée sur la représentation géographique des réseaux et de l'ensemble des informations qui y sont associées.

✓ La constitution d'un SIG dans l'élaboration des cartes réside dans la facilité de:

) Mettre en place une cartographie numérique détaillée facile à mettre à jour.

) Permettre des analyses spatiales en croisant les couches d'information stockées dans la base de données.

) Permettre des études statistiques en procédant à des requêtes multiples.

) Elaborer diverses cartes thématiques en croisant les différentes couches d'informations intéressant le thème.

✓ Les spécificités de cette cartographie sont liées :

-) A la mise en œuvre d'un projet de gestion technique.
-) A l'absence d'un projet global de bases de données urbaines dont il faut préserver la faisabilité.
-) Au fait que plusieurs collectivités indépendantes gèrent des réseaux de même nature, complémentaires les uns des autres, sur un espace géographique commun.

Les difficultés que rencontrent les services techniques dans la gestion et l'exploitation spatiotemporelle des réseaux d'eau potable nécessitent la mise en place d'une nouvelle dynamique et sens de gestion moyennant des dispositifs adéquats, structurés et planifiés pour qu'ils puissent connaître, apprécier et gérer ces dits réseaux, tels que les SIG en général et les applicatifs métiers dédiés à la gestion d'eau potable en particulier (SIG eau potable).

De tels outils permettront de :

-) Acquérir une connaissance descriptive et fiable du réseau
-) Géo localiser les différents ouvrages constituant le réseau,
-) Visualiser les réseaux d'eau potable avec différentes configurations et à différente échelle,
-) Cartographier et analyser géographiquement les données du réseau,
-) Disposer d'un véritable système d'aide à la décision, implantation d'ouvrages, interventions sur les réseaux
-) Lancer des requêtes de recherches et des analyses thématiques
-) Générer des statistiques et des plans à échelles voulues....
-) Faire le suivi des dysfonctionnements du réseau,
-) Programmer la distribution d'eau potable selon les résultats de calcul et les différents scénarios de distribution..... [9]

I.7 Modélisation de la qualité de l'eau dans un réseau d'AEP:

La modélisation est une représentation logique et mathématique du comportement du système réel dans un contexte donnée et une problématique donnée, le modèle prend dans la majorité des cas la forme d'une série d'hypothèse concernant le fonctionnement du système et qui sont exprimés à l'aide de relations mathématiques, logiques ou symboliques entre les entités. Ces modèles sont dits analytiques. Lorsque le système est assez complexe à modéliser de manière analytique, les praticiens utilisent un modèle descriptif qui détaille les différents événements et actions décrivant son comportement. [11]

La mise en place d'une politique de maintien de la qualité de l'eau demande une connaissance la plus fine possible du comportement hydraulique du réseau.

Avec les logiciels de modélisation actuellement disponibles sur le marché, les différents intervenants (concepteur, gestionnaire, exploitant) disposent d'outils d'aide à la décision permettant d'optimiser le fonctionnement des installations en améliorant le service rendu aux usagers tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Leurs applications à la gestion de l'alimentation en eau sont nombreuses :

-) diagnostic des insuffisances et anomalies du réseau en localisant les zones à risque pour la dégradation de la qualité,
-) conception et dimensionnement des canalisations et des ouvrages,
-) exploitation du réseau (entretien, incidents, défense incendie, ...),
-) suivi de la qualité de l'eau,
-) gestion du réseau en temps réel (associée à un système de Gestion Technique

Centralisé).

On distingue deux régimes de modélisation :

- ✓ **Modélisation en régime statique** : c'est la représentation d'une situation stationnaire pour des conditions définies déterminées et constantes dans le temps.
- ✓ **Modélisation en régime dynamique** : c'est la représentation dans l'espace et dans le temps du fonctionnement de l'ensemble des éléments du réseau (canalisations, réservoirs, appareils hydrauliques, ...), avec prise en compte ou non des asservissements.

I.7.1 Le modèle hydraulique

Le modèle hydraulique permet de connaître les paramètres de fonctionnement d'un réseau, en particulier le débit, le sens de circulation, et la perte de charge dans les canalisations ainsi que la pression en chaque point. En régime dynamique, il renseigne également sur le marnage des réservoirs et le mode de fonctionnement des pompes, organes de régulation et des singularités.

Les logiciels ont la possibilité de modéliser tous les appareils rencontrés sur un réseau : réservoirs, clapets, régulateurs, pompes, ... La représentativité d'un modèle dépend de la qualité des informations qui lui sont fournies. La phase préalable de collecte des données est donc essentielle. Un bon modèle requiert, en effet, une excellente connaissance de la

structure physique du réseau et de son fonctionnement. Notons que tous les modèles ne permettent pas de prendre en compte les différentes particularités rencontrées sur les réseaux. La réalisation d'une campagne complète de mesures sur le terrain permet ensuite le calage du modèle et donc sa validation.

Dans la phase de conception d'un réseau, le modèle hydraulique s'avère être un excellent outil d'aide au dimensionnement. Il permet en effet de cerner les paramètres directement liés au maintien de la qualité de l'eau essentiellement le temps de séjour de l'eau dans les canalisations et les ouvrages de stockage.

En phase d'exploitation, on pourra acquérir un certain nombre d'informations permettant de mieux appréhender les phénomènes hydrauliques liés à la dégradation de la qualité de l'eau :

- impact des interventions sur le réseau (séparations, maillage, défense incendie, ...),
- localisation des zones de vitesse lente (possibilité de sédimentation) ou rapide (problème d'érosion),
- localisation des zones de forte pression et de faible pression,
- localisation des conduites avec inversion du sens d'écoulement,

I.7.2 Le modèle qualité

En plus de la modélisation purement hydraulique du réseau, plusieurs logiciels proposent actuellement des modules qualité qui permettent de simuler l'évolution de certains paramètres liés à la qualité de l'eau.

En première approche, ces modules qualité permettent de calculer en tous points du réseau des grandeurs significatives de la qualité de l'eau distribuée :

- Le temps de séjour : on peut ainsi repérer les zones de stagnation de l'eau.
- La répartition des origines de l'eau : lorsque le réseau est alimenté par plusieurs ressources, on peut déterminer en tout point et en particulier au niveau des réservoirs, le pourcentage de l'eau provenant des différentes origines (en mode statique seulement).

Sur le plan pratique, ces informations peuvent aider à l'optimisation des campagnes de purges et de nettoyage, et à localiser les meilleurs points de surveillance de la qualité de l'eau. Les modules qualité permettent également de simuler la propagation puis l'évolution de la concentration dans le temps de substances réactives (chlore par exemple) ou conservatives (nitrates par exemple) en fonction des concentrations aux points d'injection du réseau, elles-mêmes pouvant varier dans le temps.

La modélisation de tels phénomènes nécessite une connaissance approfondie des mécanismes chimiques et biochimiques, en estimant leur cinétique de réactions.

A partir de ces éléments, il devient possible de suivre l'évolution du chlore résiduel dans le réseau et d'optimiser la chloration et le positionnement des postes de rechloration en réseau. Une telle approche permet également de définir une stratégie d'échantillonnage ou encore de suivre l'évolution de substances indésirables comme les nitrates, les pesticides ou le comportement d'un polluant non destructif. Pour mener à bien un projet d'étude ou de gestion de la qualité de l'eau, il est indispensable de s'appuyer sur un modèle hydraulique calé et sur une campagne de mesures ou de traçage appropriée.

Dans ce domaine, les développements en cours concernent la modélisation d'autres paramètres liés à la qualité de l'eau en réseau : décroissance bactérienne, ou CODB, consommation d'oxygène dissous, formation des THM, influence de la température, ... [2]

➤ **Autres paramètres de qualité à simuler :**

Les modèles de simulation de la qualité de l'eau peuvent être utilisés à plusieurs fins :

- ✓ Modéliser les concentrations résiduelles de chlore en réseau.
- ✓ Prédire l'évolution de paramètres microbiologiques.
- ✓ Évaluer l'effet des réservoirs sur la qualité de l'eau.
- ✓ Déterminer le degré de mélange d'eau provenant de différentes sources d'approvisionnement dans un réseau.
- ✓ Evaluer les effets sur la qualité de l'eau provenant d'une perturbation du réseau (bris de conduite, vidange de conduite).
- ✓ Localiser les stations d'échantillonnage.
- ✓ Prédire l'évolution des sous-produits de désinfection.
- ✓ La propagation de contaminant en réseau. [7]

I.7.3 Les logiciels de modélisation de la qualité de l'eau dans un réseau d'AEP

De nos jours, les outils de modélisation sont devenus incontournables à la gestion des réseaux d'eau potable. De plus en plus, les gestionnaires des réseaux d'eau potable se dotent d'outils de modélisation pour mieux concevoir, gérer et prévoir l'évolution des ouvrages hydrauliques et la qualité de l'eau distribuée. Actuellement, il existe plusieurs logiciels pour la modélisation et la gestion des eaux, parmi ces logiciels on peut citer :

✓ **EPANET**

Le logiciel EPANET est né suite à une initiative du Congrès des Etats–Unis qui visait à protéger les ressources naturelles du pays. Dès lors, l’EPA (US Environmental Protection Agency) a été chargée de développer des techniques permettant de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l’eau dans un réseau d’adduction d’eau potable. [9]

✓ **PORTEAU**

Porteau est un logiciel de simulation hydraulique et de cinétique adapté aux réseaux d’eau sous pression - eau potable. Il permet une schématisation du réseau, la représentation de son fonctionnement en pointe, sur un horizon de plusieurs heures ou jours, la modélisation de la qualité avec temps de séjour, cinétique et traçage de provenances. Il est utile comme outil de gestion et d’aide au dimensionnement. [12]

✓ **StruMap**

StruMap est une version de Geodesys pour la modélisation hydraulique du progiciel SIG StruMap, en utilisant un moteur de simulation basée sur EPANET intégré au SIG. La modélisation avec StruMap offre une gamme complète de fonctionnalités : modélisation de la qualité de l'eau, évaluation des fuites, etc. [9]

✓ **Water CAD**

Est une application conviviale qui permet de modéliser le comportement hydraulique et la qualité de l’eau dans les réseaux de distribution. Pour gérer leurs infrastructures, de nombreux services publics, services municipaux et bureaux d’étude font confiance à Water CAD, un outil fiable et économique qui facilite la prise de décision. Du contrôle des systèmes de lutte contre les incendies à l’analyse de l’eau, de la consommation énergétique et à la gestion des coûts, Water CAD aide à analyser, concevoir et optimiser les réseaux de distribution d’eau. [9]

✓ **InfoWorks**

Est le successeur de Windows InfoWorks Wallingford Software, basée sur le moteur de simulation WESNet. InfoWorks aussi est un module de simulation hydraulique et la qualité des eaux. Il est fortement basé sur le moteur de simulation WESNet. [9]

✓ **AquaChem**

Le logiciel AquaChem, développé par Schlumberger Water Services et distribué en exclusivité par SDEC France permet de:

- Gérer et interpréter les données de qualité des eaux.
- D'en faire rapidement une présentation claire et efficace en utilisant les graphiques spécifiques à la chimie et à la géochimie, ainsi que des cartes détaillées. [13]

✓ MIKE URBAN

MIKE URBAN est un logiciel professionnel pour la modélisation avancée des réseaux de distribution d'eau potable ainsi que des réseaux de collecte des eaux usées et/ou pluviales, le tout dans la même interface intégrée SIG. Cette interface MIKE URBAN a été baptisée « Gestionnaire de modèles ». Les différentes fonctionnalités de MIKE URBAN en matière de modélisation hydraulique ainsi que son architecture modulaire sont présentées dans la figure ci-dessous.

MIKE URBAN permet d'analyser le comportement hydraulique des réseaux d'eau potable à l'état d'équilibre (simulation hydraulique stationnaire) ou sur une période de temps étendue (simulation hydraulique dynamique). MIKE URBAN peut également analyser la qualité des eaux et notamment la dispersion du chlore ou la progression d'un polluant dans le réseau. [14]

I.7.4 Intérêts de la modélisation des réseaux d'AEP

La modélisation des données est une étape fondamentale dans la conception des bases des données qui seront utiles pour la gestion du réseau d'eau potable elle permet de traduire le monde réel par toute sa complexité, et par des structures de données.

Elle a pour objet d'abstraire la réalité en mettant l'accent sur les phénomènes d'intérêt et en éliminant ce qui ne concerne pas l'objectif poursuivi ce qui permet :

➤ Du point de vue hydraulique

Connaître le fonctionnement hydraulique du réseau sur les différents horizons actuel et futurs et aussi d'estimer les besoins en renforcement et en extension du réseau existant et d'infrastructure

D'obtenir une vision du fonctionnement du réseau en toute condition au degré de précision désiré.

Permet de déterminer les défaillances et les points noirs non apparents sur notre réseau qui serait la base pour l'établissement des plannings de gestion et de renforcement à court et long termes.

➤ Du point de vue économique

Coté exploitation, elle permet d'étudier les situations critiques liées à l'indisponibilité des ressources, d'ouvrages de stockages ou de pompages ou d'une canalisation maitresse, ou de rechercher les dépositions les mieux adaptées pour les couts d'exploitation

Un outil d'aide à la décision pour l'établissement des programmes de d'développement durable et des projets de mobilisation à l'échelle sectorielle.

➤ Du point de vue sécurité

Elle permet d'intervenir plus rapidement, et limiter les dégâts qui peuvent être rencontré en cas d'incendier ou de contamination. .

Elle permet aussi de classer, d'identifier les zones selon leurs degrés de risque, et de planifier les méthodes d'intervention à l'avance.

D'autre part de concevoir, de dimensionner, et planifier les aménagements rendus nécessaires par l'évolution des consommations ou de réglementation en matière de sécurité

Les modèles

Les modèles mathématiques, d'une façon très générale, sont constitués

- D'un ensemble de variables, choisies pour représenter l'objet étudié ;
- D'un ensemble de relations mathématiques entre ces variables, choisies pour représenter son fonctionnement.

Ces relations, qui doivent permettre de calculer les variables de sortie en fonction des variables d'entrée, font aussi intervenir d'autres paramètres. Cette imitation recouvre deux fonctions essentielles, complémentaires et indispensables :

L'une de représentation simplifiée de la réalité, perçue d'un certain point de vue par le modélisateur, à travers un filtre conceptuel : un modèle est donc une interprétation et non simple reproduction,

- l'autre, d'instrument d'étude de cette réalité, conçu pour répondre à un certain objectif guidant l'ensemble des choix faits au cours de la modélisation : un modèle est donc aussi une représentation orientée et sélective.

D'où le caractère doublement relatif d'un modèle, qui dépend tout à la fois de la justesse des Conceptions et hypothèses sur lesquelles il repose et de l'objectif poursuivi.

Ainsi, il est nécessaire, bien que cela soit trop souvent oublié, d'expliciter clairement les objectifs poursuivis, les choix, hypothèses et approximations de l'outil, et enfin, définir si c'est possible, les limites de son domaine de validité et donc définir son champ d'application.

[15] in [10]

I.8 Conclusion :

Dans ce chapitre on a cité les différents facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution et quelque procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité, ainsi que la modélisation de la qualité dans les réseaux d'AEP et les systèmes d'information géographique.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction

Avant toute étude de projet d'alimentation en eau potable que se soit sur les volets quantité ou qualité, l'étude du site est nécessaire pour connaître toutes les caractéristiques du lieu et les facteurs qui influent sur la conception du projet. Parmi ces facteurs, nous citons : les données relatives à l'agglomération, les données propres au réseau d'alimentation en eau potable, ainsi que la connaissance de la géographie et la topographie du site qui nous permettront de prendre les dispositions nécessaires lors de l'étude du réseau.

I.2 Situation géographique :

La commune de Chetouane se situe à 3 km au nord-est de la ville de Tlemcen couvrant une superficie de 4611 ha et partageant la même zone industrielle avec Tlemcen (Figure I.1). Son relief est assez diversifié, composé de monticules boisés au Sud-Est, des terres agricoles au Sud et à l'Ouest, et des communes rocheuses et accidentées au Nord.



Figure II. 1: Situation géographique de la zone d'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Cette commune fait partie de la Daïra du même nom (Daïra de Chetouane) englobant les communes de Chetouane, Aïn Fezza et Amieur. Les communes limitrophes de Chetouane sont montrées en figure I.2.

Aïn Youcef	Amieur	Amieur
Hennaya		AïnFezza
Tlemcen	Tlemcen	AïnFezza

Figure II. 2: Communes limitrophes de Chetouane

I.3 Climatologie

Le climat est la moyenne, sur un certain nombre d'années, des variations quotidiennes de la température, des précipitations, des vents et d'autres conditions atmosphériques qui caractérisant un point quelconque de la surface de la terre.

Tout comme la wilaya de Tlemcen, dans son ensemble, le chef lieu Chetouane jouit aussi d'un climat méditerranéen subissant l'influence continentale. La saison d'été est très chaude et sèche, allant de juin à septembre. Les contrastes de température sont très exagérés à cause des terrains rocheux qui favorisent l'échauffement diurne et le rayonnement nocturne. En hiver, le climat est humide et très froid.

Sur le plan pluviométrique, les monts de Tlemcen reçoivent chaque année les plus importantes précipitations dans l'ouest algérien, ce qui leur permet d'assurer l'alimentation en eau potable d'un certain nombre de ville de la région. Par contre les précipitations diminuent quand on se dirige vers le Sud.

I.4 Cadre topographique

La topographie du groupement urbain de Tlemcen est constituée essentiellement d'un terrain accidenté avec des altitudes variant de 600 à 1100 m avec des dénivelées importantes ce qui crée des étages d'altitude de 100 à 500 m. L'occupation du sol est à dominance urbaine.

L'espace bâti du groupement urbain de Tlemcen se confond presque avec les limites communales, il occupe près de 5200 ha soit 47% de la superficie totale. [16]

I.5 Cadre démographique :

Pour sécuriser la couverture des besoins en eaux, il est nécessaire d'estimer la croissance démographique et de connaître l'évolution de la consommation par habitant. Les projections d'augmentation de la population tiennent compte de deux scénarios : la croissance faible et la croissance élevée.

La population à l'horizon de l'année n peut être évaluée approximativement par l'équation (II.1) suivante : [17] in [16]

$$P_n = P_0(1+a)^n \quad (\text{I.1})$$

Dans cette étude nous adoptons $a = 3,10 \%$ et $P_0 = 48568$ habitants, valeurs estimées d'après les statistiques de l'année 2010. L'estimation de la population de Chetouane basée sur l'équation (II.1) pour les années 2011, 2015, 2020, 2030 et 2040 est donnée dans le tableau II.1 suivant :

Tableau II.1: Estimation de la population urbaine de Chetouane

Année	2010	2011	2015	2020	2025	2030	2040
Population	48568	50074	56577	65908	76777	89438	121370

La superficie de la commune de Chetouane est de 45 km² soit une densité de la population de 1079 hab/km² [18] in [16]

I.6 Les ressources hydrauliques :

L'approvisionnement en eau potable de la commune de Chetouane est assuré à partir de deux catégories des ressources : les eaux souterraines et eaux de dessalement.

I.6.1 Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines représentent une part importante du cycle de l'eau et donc, participent à l'équilibre naturel. Elles constituent également une formidable ressource renouvelable exploitée pour l'approvisionnement en eau de la population de l'industrie et l'agriculture.

Les eaux souterraines de Chetouane sont exploitées par la source Ain Bendou située à 1.3km au nord-est de Saf Saf à une altitude de 850 met les cinq forages donnés en Tableau II.2 [19] [20] in [16]

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau I.2: Production des eaux souterraines au niveau de la zone Chetouane

Nom du forage	Debit (l/s)	Production (m ³ /mois)	Destination	Etat
Chetouane 1	11	21762	Chetouane	Exploité
SafSaf 2	23	58220	Chetouane	Exploité
SafSaf 3	23	/	Chetouane	Exploité
Chetouane 3	24	37324	Koudia	Exploité
Chetouane 2	18	32157	Chetouane	Exploité
Ain Bendou	20	40176	Une partie de Chetouane	Exploitée

I.6.2 Le dessalement de l'eau de mer

La situation actuelle de l'alimentation en eau et de l'irrigation dans la wilaya de Tlemcen reste difficile : Répartition inégale des ressources et de la distribution, risques majeurs de déficits importants en cas de sécheresse prolongée, irrigation limitée... Cette situation devrait s'améliorer dans le futur. Les contraintes rencontrées sont liée à :

- ✓ La pluviométrie et son caractère aléatoire ;
- ✓ Le déséquilibre existant entre les ressources en eau au niveau de la wilaya.
- ✓ La récurrence du phénomène de la sécheresse dans le temps et l'espace ;
- ✓ La pollution et à la qualité des ressources en eau ;
- ✓ La surexploitation des eaux souterraines.

En effet, ces contraintes ont conduit les autorités publics à être prudents au regard de toutes ces incertitudes et les ont amené à redéfinir une stratégie d'eau basée sur la nécessité de recourir à une ressource en eau (dessalement de l'eau de mer) pour affranchir ces contraintes en particulier celle du climat.

La wilaya de Tlemcen a eu le privilège d'avoir deux grandes stations de dessalement de l'eau de mer, la première au niveau de la daïra de Bab Al Assa et exactement au niveau de la commune de Souk Tlata et la deuxième au niveau de la daïra de Honaine [19] in [16]

Ces deux stations étaient prévues initialement pour alimenter les agglomérations citées en tableau I-3. Les dates de mises en service prévues initialement lors du lancement du projet étaient 2009 pour la station de Honaine et 2010 pour celle Souk Tlata [21] in [16]

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

I.6.3 Ouvrages de stockage

L'alimentation en eau potable de la ville de Chetouane et ses banlieues, majoritairement constituées d'habitats informels, est principalement régularisée par les quatre réservoirs dont les caractéristiques sont données en tableau II-4. Le réservoir de Chetouane 2 d'une capacité de 3000 m³ est supposé régulariser la ville de Chetouane objet de cette étude.

Tableau II.3: Ouvrages de stockage de la commune de Chetouane [20]

Nom de l'ouvrage	Type	Capacité (m ³)	Point d'alimentation
Chetouane2	Circulaire	3000	Forage Chetouane1 et forage Chetouane2 et eaux de dessalements
Douimnie1 (château centre)	Circulaire	1000	Forage Chetouane1 et forage Chetouane2 et eaux de dessalements
Chetouane1	Circulaire	500	Forage Chetouane1 et eaux de dessalements
Château d'eau Hai zitoune	Circulaire	250	Forage Chetouane3 et eaux de dessalements

La distribution de l'eau dans le réseau du chef lieu de Chetouane est discontinue (3 jours par semaine régulièrement).

I.7 Qualité des eaux alimentant la commune de Chetouane

En Algérie, presque toutes les villes connaissent au moins un problème lié à l'eau, soit en distribution (réseau, réservoir de stockage), soit en approvisionnement (ressources, station de traitement, adduction), soit en évacuation des eaux usées (système unitaire ou séparatif, réseau, rejets et station d'épuration etc.....) mais, le gros problème est certes celui de la qualité de l'eau.

Dans le GUT, l'eau destinée à l'approvisionnement de la population provient, principalement, des ressources superficielles et souterraines avec des caractéristiques physico-chimiques différentes, compte tenu des formations géologiques des couches traversées.

Sur le plan physico-chimique, les eaux de surface représentées par les barrages sont bicarbonatées calcique à magnésiennes avec des duretés moyenne et des constituants organique en quantité normale. Donc l'eau captée par les barrages, avant qu'elle soit desservie à la consommation, est sujette à un traitement au niveau des stations de traitement.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

En ce qui concerne les eaux souterraines, elles ont une composition plus stable et sont généralement plus riches en sels minéraux. Leurs qualité physico-chimiques sont tributaires des caractéristiques des champs captant. Ces nappes sont localisées dans les dolomies et les calcaires. Ces formations géologiques donnent des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes avec des duretés un peu plus élevées. Certains captages présents un taux un peu plus élevé en nitrate, cela est le résultat des rejets industriels et engrais utilisés en agriculture. [22] in [16]

I.8 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de déterminer les données nécessaires concernant la zone d'étude du point de vue, géographique, démographie, climatique ainsi que la situation hydraulique. Ces données nous serviront pour entamer notre étude du projet.

**Chapitre III : Etude de la qualité de
l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu
de Chetouane**

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

I.1 Introduction

Une base de données géo-référencée de la qualité du réseau du chef-lieu Chetouane a été élaborée en utilisant les logiciels Mapinfo 8.0 et Epanet. Ce chapitre présente la chronologie des principales étapes ainsi que des différentes simulations réalisées sur la base de données de la qualité des eaux dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane.

I.2 Mise en place du SIG de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP

I.2.1 Choix du SIG

Mapinfo Professional 8.0 est un logiciel SIG permettant de créer, traiter et manipuler l'information géographique par des requêtes spatiales et alphanumériques. Mapinfo est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches, des informations géo-localisées : point, lignes, polygones. Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données... Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des cartes et bases de données cartographiques. Ce logiciel est utilisé pour :

-) Créer des cartes détaillées afin d'améliorer les présentations et faciliter la prise de décision ;
-) Mettre en évidence des tendances des données qui autrement ne sont pas perceptibles ;
-) Réaliser des analyses de données sophistiquées.

Les principales caractéristiques de Mapinfo 8.0 sont résumées comme suit :

-) Disponibilité d'une bibliothèque de symboles, de traits, de trame et légendes modifiables de façons interactive ;
-) Traitement statistique ;
-) Représentation cartographique, numérique ou textuels, etc...
-) Opération et superposition de couches thématiques ;
-) Echange de données avec les autres SIG ;

I.2.2 Stage et campagne d'échantillonnage :

Un stage de 04 semaines a été effectué au niveau du laboratoire de l'Algérienne des eaux - Unité de Tlemcen sise à Abou Tachfine. Pendant cette période une série d'analyse a été

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

faites sur l'eau potable du réseau d'AEP du chef-lieu de Chetouane. Ces analyses ont porté sur les éléments suivants :

- ✓ Les paramètres physico-chimiques : pH, conductivité, température, nitrite, ammonium.
- ✓ Les paramètres bactériologiques : streptocoques fécaux, coliforme totaux et coliformes fécaux.

Aussi, une sortie et une campagne de mesure du chlore et d'échantillonnage ont été faites en date du 05 mars 2017 à destination du réservoir Douiméni 1 (Chetouane) en passant par différents points de prélèvements chez les abonnés.

L'analyse du chlore est faite sur place à l'aide d'un comprimé (le DPD) et les autres analyses physico-chimique et bactériologique sont faites au niveau du laboratoire de l'ADE.

Une série de données a été collectée et analysée. Ces données sont décrites comme suit :

-Données quotidiennes concernant le chlore sur six mois allant de septembre 2016 à février 2017

-Données physicochimiques et bactériologiques sur dix (10) mois allant de janvier 2016 à mars 2017

Il faut signaler que la saisie des données était une opération très pénible car toutes les données ont été saisies manuellement pour tous les paramètres pris dans le cadre de ce travail.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

I.2.3 Acquisition des données

Le réseau d'alimentation en eau potable du chef- lieu Chetouane a été récupéré en format numérique TAB (Mapinfo). On a acquis la carte de la zone d'étude en utilisant Google Earth. La carte ainsi acquise a été calée en UTM Zone 30 Northern Hemisphere (WGS 84) en utilisant le logiciel MapInfo (figure I.1). Le calage a été réalisé avec une précision acceptable. On a actualisé le réseau d'AEP en ajoutant 2,2 Km dans la zone des 1224 logements, ensuite on a superposé le réseau d'AEP de la zone d'étude en se basant sur le tracé des routes (figure I.2).

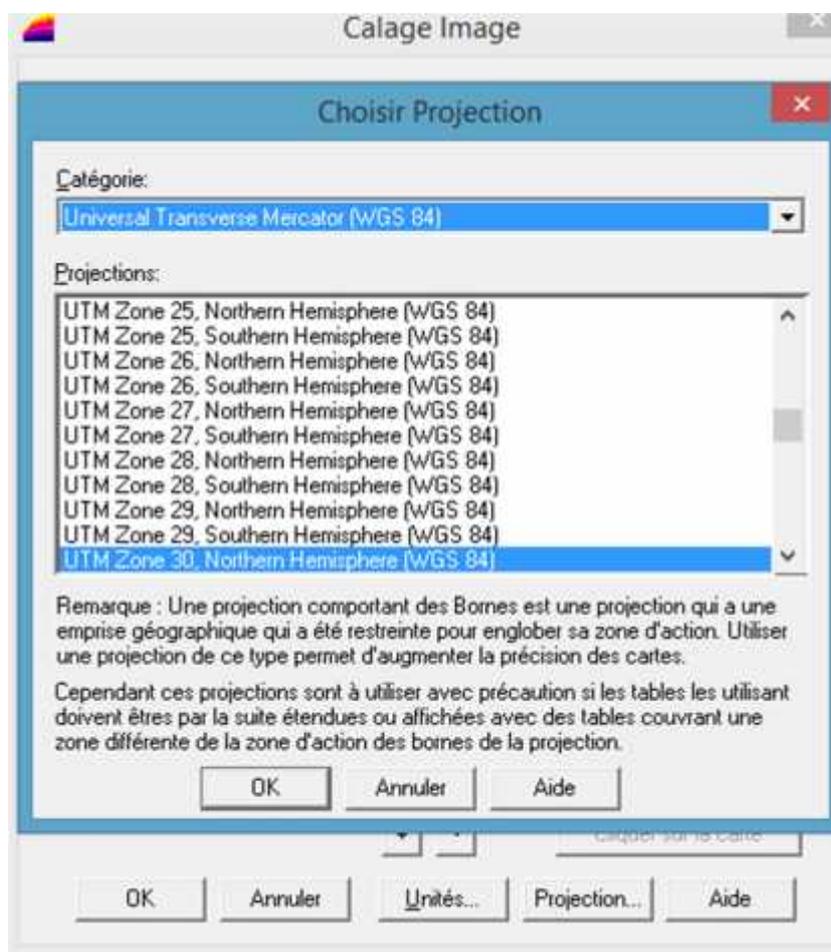


Figure I.1 : Choix du référentiel de calage de la zone d'étude sur Mapinfo .



Figure I.2 : Réseau d'AEP du chef-lieu Chetouane sous Mapinfo.

I.2.4 Constitution des tables de données

Les données associées sont organisées sous formes de tables. Les noms des attributs sont introduits champs par champs selon leurs types (caractères, entier, flottant, virgule fixe). Chaque entité géométrique est reliée à sa description exhaustive, ce lien se fait au moyen d'un identifiant interne (figure III.3).

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

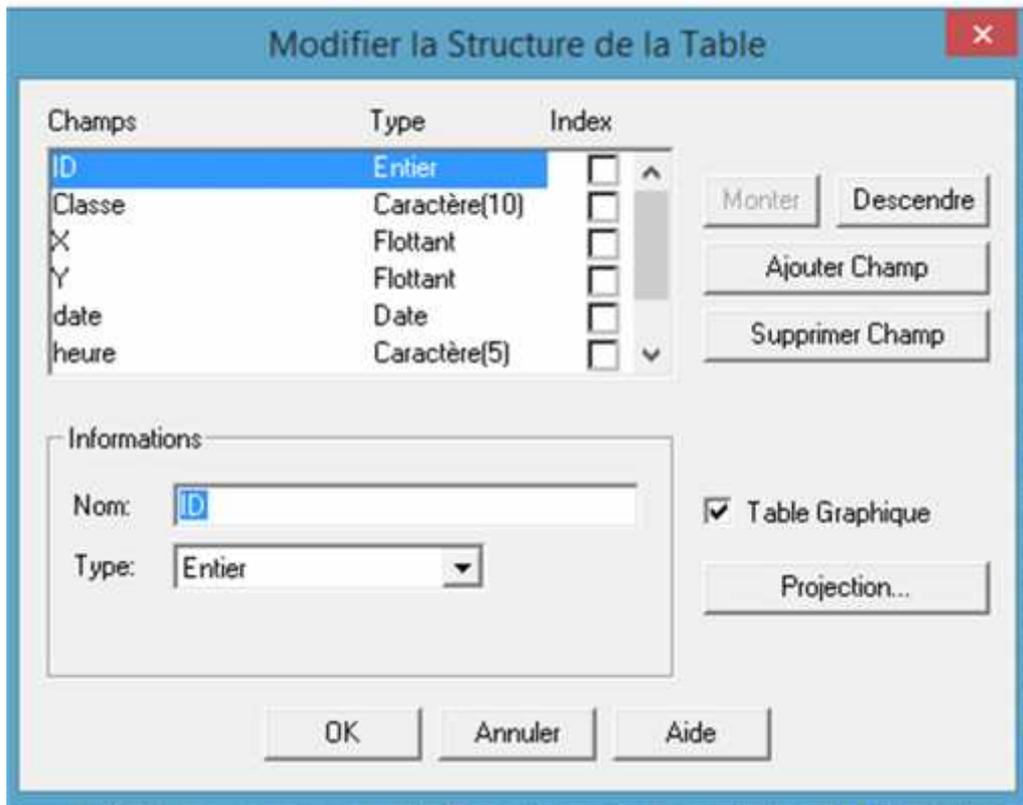


Figure I.3: Description de la structure de la table de dosage de chlore.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

Un extrait de la structure de la table des données De la qualité dans le réseau d'AEP de la ville de Chetouane est présenté dans la figure III.4. Cette table contient les informations suivantes :

ID	Classe	X	Y	date	heure	zone_de_prélèvement	dose_de_chlore
25	point	655 016,92	3 865 768,48	08/09/2016	16h30	FNPOS	0,3
26	point	655 122,98	3 865 979,61	08/09/2016	16H00	DT kaleche	0,3
27	point	655 711,01	3 865 718,37	08/09/2016	15h20	centre chetouan	0,2
28	point	655 522,18	3 865 349,58	11/09/2016	07h30	station chetoua	0,6
29	point	655 439,96	3 866 055,02	11/09/2016	08h50	RV 1000	0,6
30	point	655 406,99	3 866 069,31	11/09/2016	07h50	RV 3000	0,6
31	point	656 149,43	3 865 486,6	11/09/2016	08H05	siege ADE	0,5
32	point	655 983,27	3 865 650,88	11/09/2016	10h15	parc communal	0,3
33	point	656 241,94	3 865 607,64	11/09/2016	10h40	05 Juillet	0,4
34	point	655 676,03	3 865 960,25	11/09/2016	11h00	zouinette	0,4
35	point	656 274,89	3 865 421,37	11/09/2016	08h35	les 48 lgts	0,4
36	point	655 613,15	3 865 740,55	11/09/2016	10h25	centre chetouan	0,3
37	point	655 522,94	3 865 351,53	14/09/2016	08h00	station chetoua	0,6
38	point	655 440,63	3 866 053,23	14/09/2016	08h10	RV 1000	0,6
39	point	655 404,41	3 866 069,32	14/09/2016	08h20	RV 3000	0,6
40	point	655 881,81	3 865 995,46	14/09/2016	09h15	ain safra	0,2
41	point	655 101,08	3 866 122,33	14/09/2016	11h30	BT bouarfa	0,2
42	point	655 057,64	3 865 770,8	14/09/2016	10h00	FNPOS	0,6
43	point	655 139	3 866 022,44	14/09/2016	10h20	BT kaleche	0,2
44	point	655 519,77	3 865 350,34	15/09/2016	08h00	station chetoua	0,6
45	point	655 441,2	3 866 053,52	15/09/2016	08h10	RV 1000	0,6
46	point	655 405,64	3 866 067,85	15/09/2016	08h15	RV 3000	0,6
47	point	656 151,24	3 865 485,75	15/09/2016	08h30	siege ADE	0,3
48	point	656 244,39	3 865 614,53	15/09/2016	09h00	05 Juillet	0,2
49	point	656 282,88	3 865 448,84	15/09/2016	08h30	les 48 lgts	0,2
50	point	655 520,26	3 865 349,53	18/09/2016	16h30	station chetoua	0,6
51	point	655 438,53	3 866 054,11	18/09/2016	16h40	RV 1000	0,2
52	point	655 406,98	3 866 066,45	18/06/2016	08H00	RV 1000	0,6
53	point	656 151,24	3 865 465,75	18/09/2016	08H25	siege ADE	0,3
54	point	656 240,23	3 865 602,22	18/09/2016	08H30	05 Juillet	0,2

Figure I.4: Structure de la table du dosage de chlore

I.3 Résultats de l'étude sous SIG MapInfo :

Les points de prélèvements ont été insérés sous SIG MapInfo ainsi que leurs caractéristiques (paramètres de qualité, X, Y.....). Cette opération s'avère indispensable pour réaliser des analyses thématiques afin de vérifier la qualité des eaux dans le réseau de distribution étudié.

I.3.1 Analyses thématiques

Dans le domaine des SIG, l'analyse thématique permet de construire des cartographies thématiques. Celles-ci sont des cartes géographiques illustrant, par l'utilisation de divers paramètres graphiques (couleur, symbolique, taille, etc.), le comportement d'un phénomène en relation avec sa localisation spatiale. Un exemple pour le réseau du Chef lieu de Chetouane est illustré (dans la figure I.5).

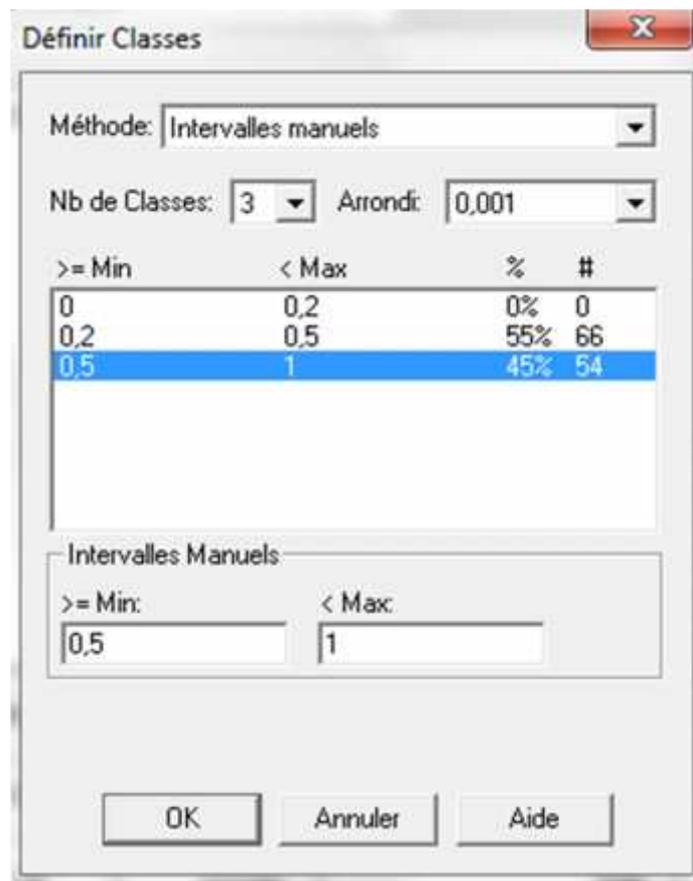


Figure I.5 : Dosage de chlore avec l'analyse thématique sur Mapinfo

I.3.1.11 La répartition des points selon le dosage de chlore résiduaire

Un exemple d'analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef-lieu Chetouane est illustré dans la figure I.6. Cette dernière représente la répartition des points de prélèvements du chlore du des différents jours du mois de septembre 2016. On remarque que dans tous les points de prélèvement, le dosage du chlore est respecté (répond aux normes). Il faut noter que les points ayant un dosage élevé correspondent aux réservoirs et à la station.

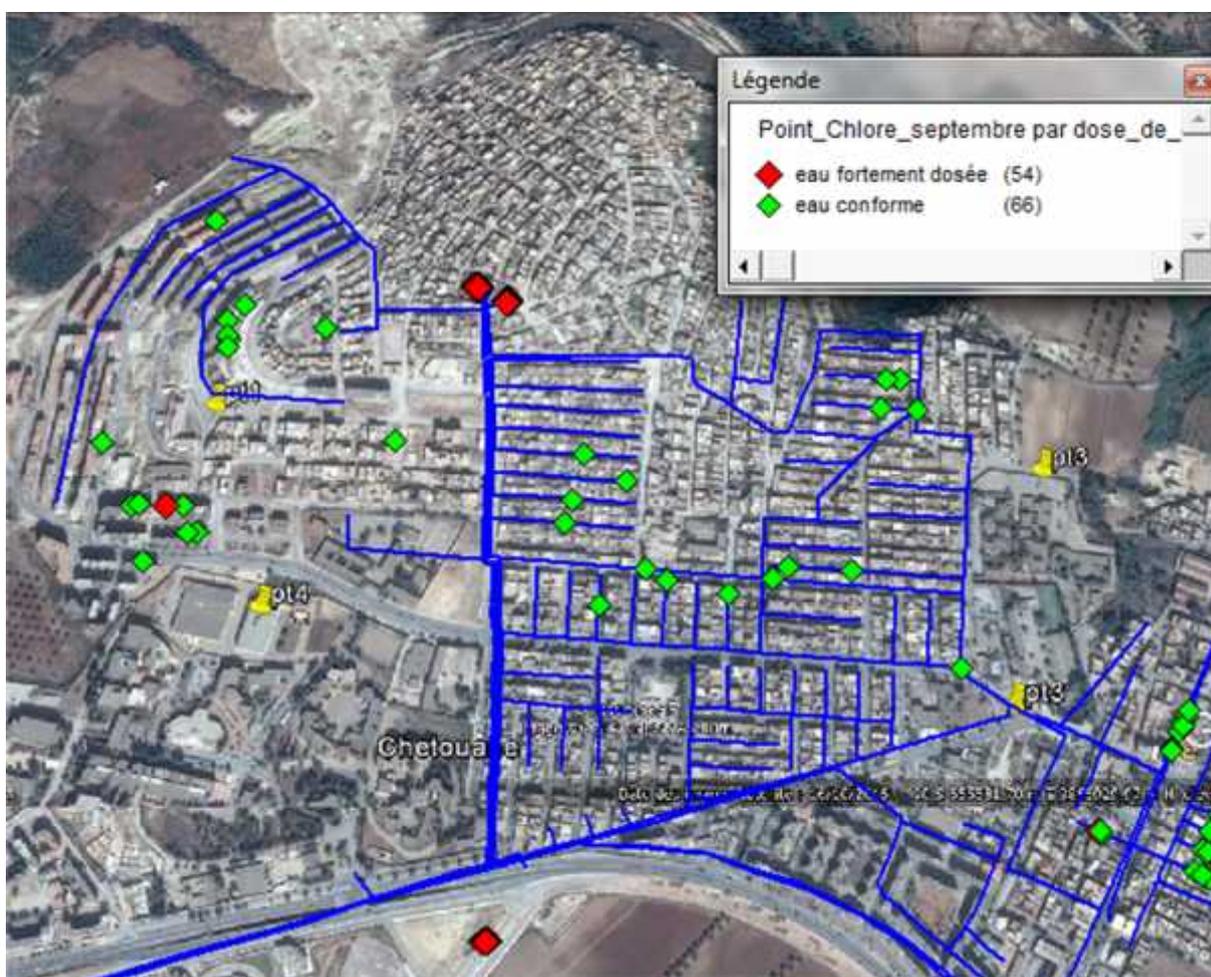


Figure I.6 : Analyse thématique de la répartition des points de chlore du mois de septembre 2016.

Les cartes qui correspondent aux analyses quotidiennes des mois d'octobre, novembre, décembre 2016 et janvier, février 2017 sont données en Annexe A.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

I.3.1.2 Répartition des points de prélèvement selon les paramètres physico-chimiques et bactériologiques

a) Coliformes-totaux

Un exemple d'analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane est illustré dans la figure I.7. Cette dernière représente la répartition des points de prélèvements selon le paramètre coliformes-totaux des différents jours du mois de février 2016, on remarque qu'il y'a :

- ✓ Une présence des coliformes totaux dans quelque points de prélèvement ce qui implique que cette eau est polluée.
- ✓ Une absence des coliformes totaux donc c'est une eau qui répond aux normes.

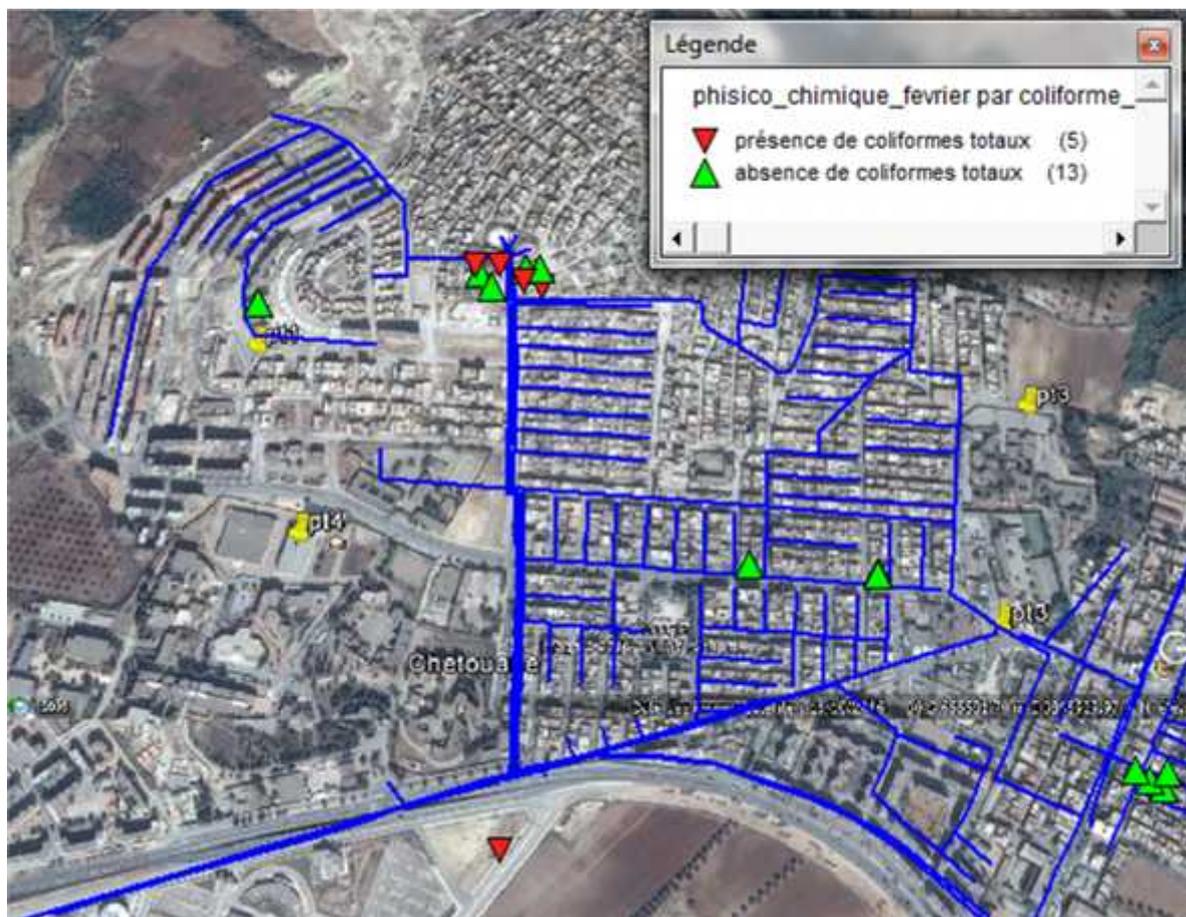


Figure I.7 : Analyse thématique selon le paramètre bactériologique coliformes-totaux du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

b) Coliformes fécaux

Un exemple d'analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane est illustré dans la figure I.8. Cette dernière représente la répartition des points de prélèvements selon le paramètre coliformes fécaux des différents jours du mois de février 2016, on remarque qu'il y'a une absence des bactéries.



Figure I.8 : Analyse thématique selon le paramètre bactériologique coliformes-fécaux du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

c) Streptocoques fécaux

La figure I.9 représente l'analyse thématique de la qualité des eaux dans le réseau du chef lieu de Chetouane des différents jours du mois de février 2016. Cette figure représente la répartition du point du prélèvement selon le paramètre bactériologique streptocoques fécaux. On remarque qu'il y a une absence streptocoques fécaux à l'exception de quelque point où l'analyse est non faite.



Figure I.9 : Analyse thématique selon le paramètre bactériologique streptocoques- fécaux du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

d) Nitrites

La figure I.10 est un exemple d'analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane. Cette dernière représente la répartition des points de prélèvements selon le paramètre Nitrites des différents jours du mois de février 2016. On remarque qu'il y'a :

- ✓ Une présence de Nitrites dans quelques points de prélèvement ce qui influe la qualité de l'eau.
- ✓ Absence de Nitrites signifie donc que c'est une eau qui répond aux normes de potabilité.



Figure I.10 : Analyse thématique selon le paramètre Nitrites du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

e) Chlore

Un exemple d'analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane est illustré dans la figure I.11. Cette dernière représente la répartition des points de prélèvements du chlore des différents jours du mois de février 2016. On remarque qu'il y'a :

- ✓ Un dosage du chlore très faible (trace).
- ✓ Un dosage faible du chlore $<0,2\text{mg/L}$.
- ✓ Un dosage très élevé du chlore qui atteint le 1mg/L .
- ✓ Un dosage du chlore qui répond aux normes de potabilité.

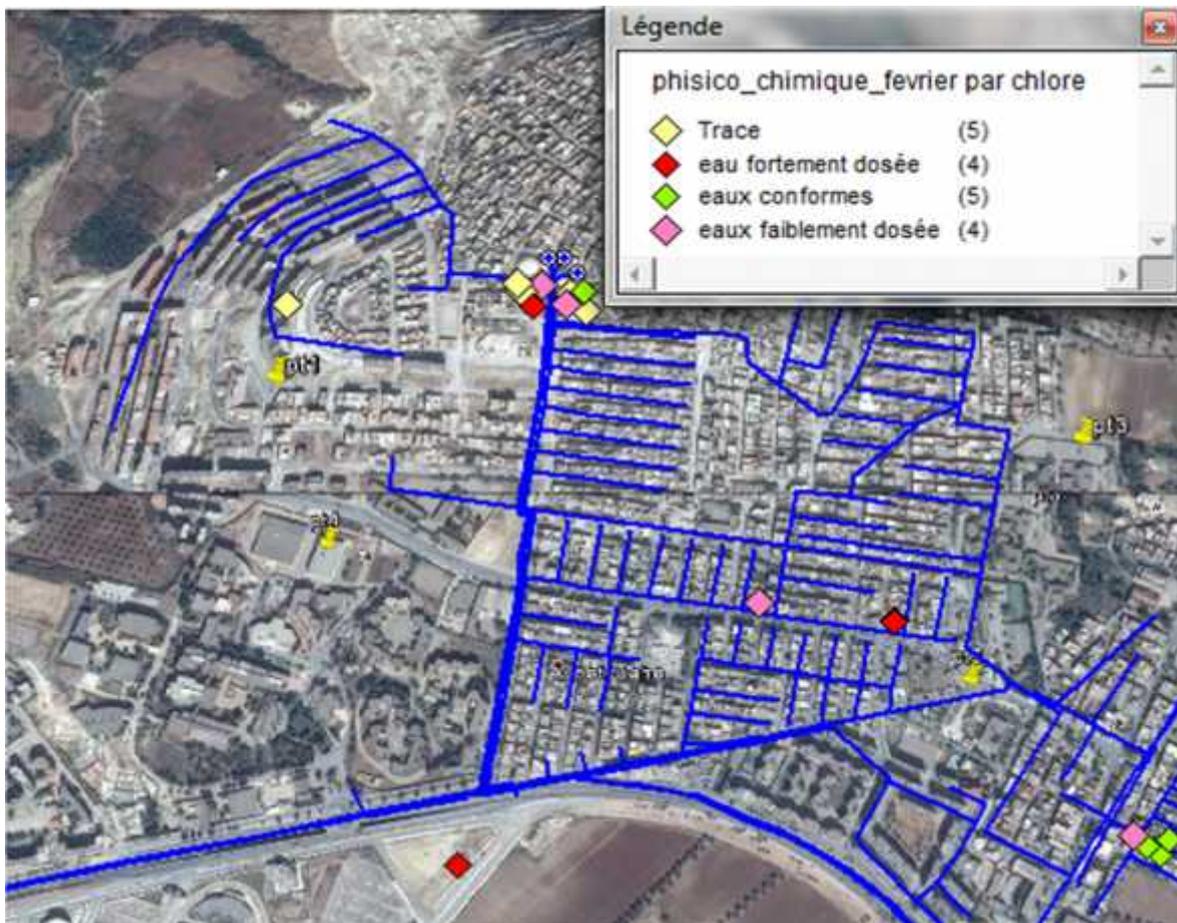


Figure I.11 : Analyse thématique de la répartition des points de Chlore du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

f) Ammonium

La figure I.12 est un exemple d'une analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau du chef lieu Chetouane des différents jours du mois de février 2016. Cette dernière représente la répartition des points de prélèvement d'Ammonium. On remarque qu'il y a une présence d'ammonium dans deux points de prélèvement ce qui influe la qualité de l'eau, et dans les autres points une absence d'Ammonium donc c'est une eau qui répond aux normes de potabilité pour ce paramètre.



Figure I.12 : Analyse thématique selon le paramètre Ammonium du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

g) Conductivité

La figure I.13 est un exemple d'une analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane des différents jours du mois de février 2016 selon la répartition des points du prélèvement selon le paramètre Conductivité. On remarque que la plus part des points respectes les normes, On signale que dans seulement un point la conductivité a dépassé la norme.



Figure I.13 : Analyse thématique selon le paramètre Conductivité du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

h) PH, Température et Turbidité

Des analyses thématiques de la qualité des eaux dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane du mois de février 2016 sont représentées respectivement dans les figures I.14, I.15 et I.16. Ces figures représentent la répartition des points des prélèvements selon le pH, la température et la turbidité. On remarque que les normes sont respectées dans tous les points de prélèvements.



Figure I.14 : Analyse thématique selon le paramètre PH du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane



Figure I.15: Analyse thématique selon le paramètre Température du mois de Février 2016.

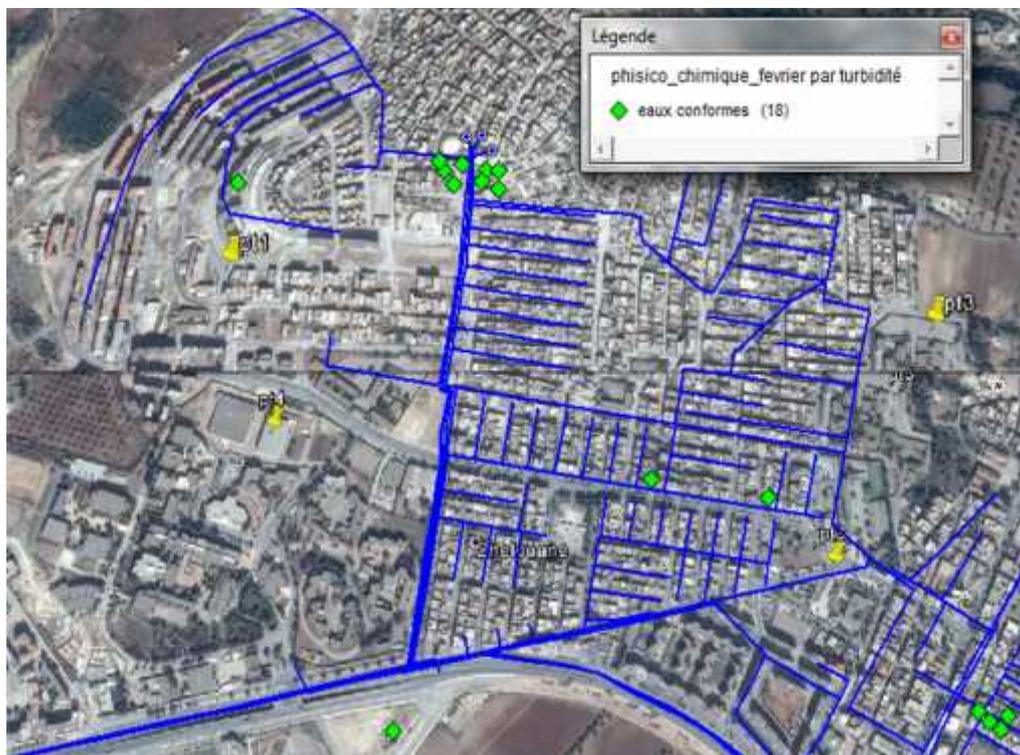


Figure I.16 : Analyse thématique selon le paramètre Turbidité du mois de Février 2016.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

On fait un seul exemple des analyses thématiques des paramètres pH, température et turbidité parce qu'ils respectent les normes de potabilité et le mois d'aout parce qu'il y'a qu'un seul prélèvement.

Les cartes qui correspondent aux analyses des mois de janvier, mars, avril, mais, juin, aout, septembre, novembre, 2016 et mars 2017 sont données en Annexe B.

III.4 Modélisation de la qualité de l'eau dans le réseau

III.4.1 Présentation du modèle de calcul utilisé EPANET 2.0

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs.

EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de lieu. EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples: définition d'un programme de prélèvement d'échantillons, calage d'un modèle hydraulique, simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance. EPANET offre une aide et la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau, comme par exemple:

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

Disponible sous Windows, EPANET fournit un environnement intégré pour l'édition de données de réseau, pour l'exécution de simulations hydrauliques et de simulations qualité, et pour l'affichage des résultats sous plusieurs formats (des cartes avec des codes couleurs, des tableaux et des graphiques)

III.4.2 Capacités pour la Modélisation Hydraulique :

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complétée est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace. EPANET contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes:

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

III.4.2 Capacités pour la Modélisation de la Qualité de l'Eau

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

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

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

- Limitations de transfert de masse pour modéliser les réactions aux parois.
- Fixation d'une concentration limite des réactions.
- Utilisation des coefficients de vitesse de réaction globale et des coefficients spécifiques pour certains tuyaux.
 - Etablissement d'une corrélation entre les coefficients de vitesse de réaction au niveau de la paroi en fonction de la rugosité du tuyau.
- Introduction d'une substance quelconque à différents emplacements du réseau variant dans le temps en débit massique ou en concentration.
- Mélange d'eau dans les réservoirs : mélange parfait, à flux piston ou en deux compartiments.

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

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

III.4.4 Choix du modèle de calcul

Notre choix s'est porté sur le code de calcul Epanet. Celui-ci est un code de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans les réseaux d'eau potable. Epanet a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution.

Dans Epanet, un réseau d'eau potable se définit par des tuyaux (tronçons sur le logiciel), des nœuds (intersection de deux tuyaux et extrémité d'une antenne) mais également d'autres organes (réservoirs, pompes, clapets, différents types de vannes...).

Avant d'exploiter le support cartographique sous SIG pour la modélisation de la qualité de l'eau, un passage vers Epanet est indispensable.

Cette étape consiste à faire le passage du SIG vers Epanet afin d'effectuer la simulation hydraulique à partir de données SIG au sein d'Epanet. Un géotraitement permet de générer un sous fichier « inp » (fichier texte) pouvant être traité par Epanet pour les conduites composant

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

le réseau uniquement (les autres ouvrages devront être ajoutés manuellement par la suite). Il est nécessaire de contrôler la topologie du réseau avant de lancer le géotraitement. En effet, Epanet ne tolère pas d'erreur topologique pour effectuer la simulation hydraulique. Par topologie « propre » il est entendu les points suivants :

-) Interruption des conduites au droit de chaque intersection;
-) Pas de superposition d'objets conduites;
-) Pas d'objets conduits multi-parties ou de longueur nulle;
-) Vérification de la connectivité des conduites les unes aux autres. [23]

III.5 Modélisation de la qualité de l'eau dans le réseau du chef lieu Chetouane sous Epanet

Pour la modélisation de la qualité dans un réseau d'AEP par Epanet, on a travaillé sur une partie alimentée par le réservoir Douimeni 1 (1000 m³) du chef-lieu de Chetouane. Le passage SIG- Epanet pour cette partie a été fait par Messieurs Kherbouche Zakaria et Soufi Mohamed Walid (figure I.17). [24]

Actuellement, le réservoir de « Ain Defla » est à l'arrêt ce qui nous a conduits à supprimer l'alimentation à partir de ce réservoir dans la partie étudiée.

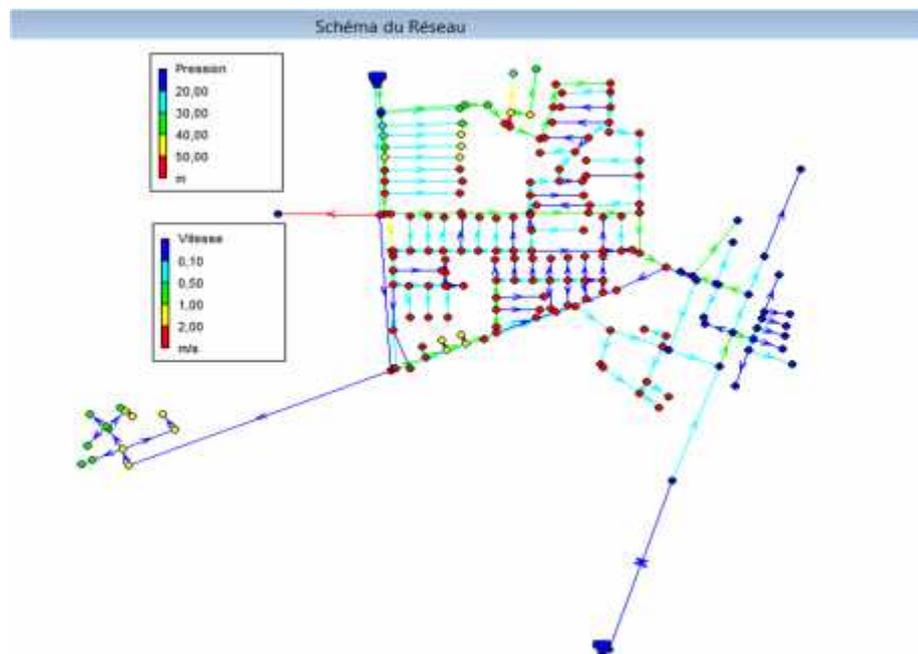


Figure I.17: Le réseau d'AEP d'une partie du chef-lieu Chetouane importé sous Epanet.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

Des simulations de la diffusion du chlore au niveau du réseau ont été faites, quatre cas ont été étudiés pour des doses de 0.4, 0.6, 0.8 et 1 mg/L. les quatre scénarios sont donnés dans ce qui suit :

III.5.1 Premier scénario

Injection d'une dose de 0.4 mg/L au niveau du réservoir, après deux heures de simulation, on remarque qu'il y a une bonne partie du réseau où la dose du chlore est nulle. (Figure I.18) cela signifie que le chlore injectée est loin de couvrir le réseau, ça nécessite l'injection chaque 03 heures pour couvrir juste la partie avale du réservoir. C'est pour cette raison que la mise en place d'une pompe doseuse est indispensable au niveau du réservoir. Aussi, pour la partie Est du réseau, l'installation d'une pompe doseuse est indispensable pour maintenir le dosage du chlore dans les normes au niveau du réseau de distribution. Figure I.19).

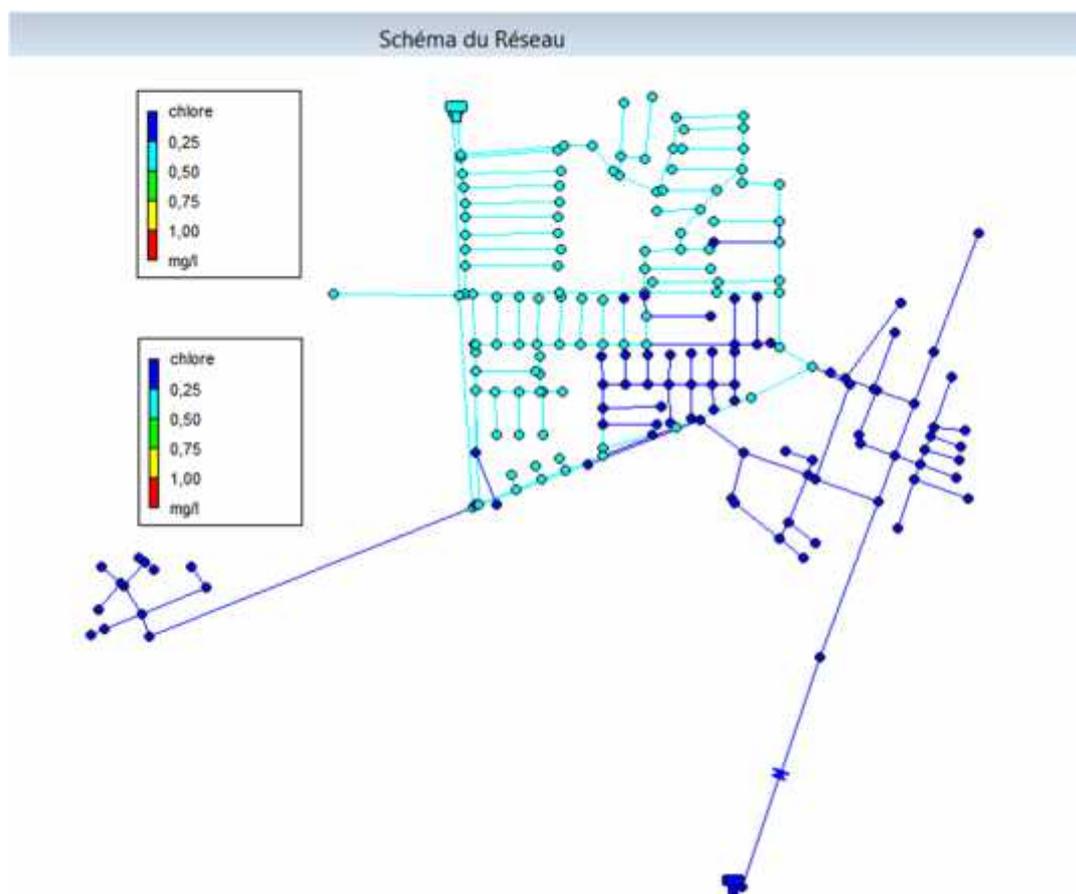


Figure I.18 : Diffusion du chlore après deux heures de l'injection de 0.4 mg/L de chlore

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

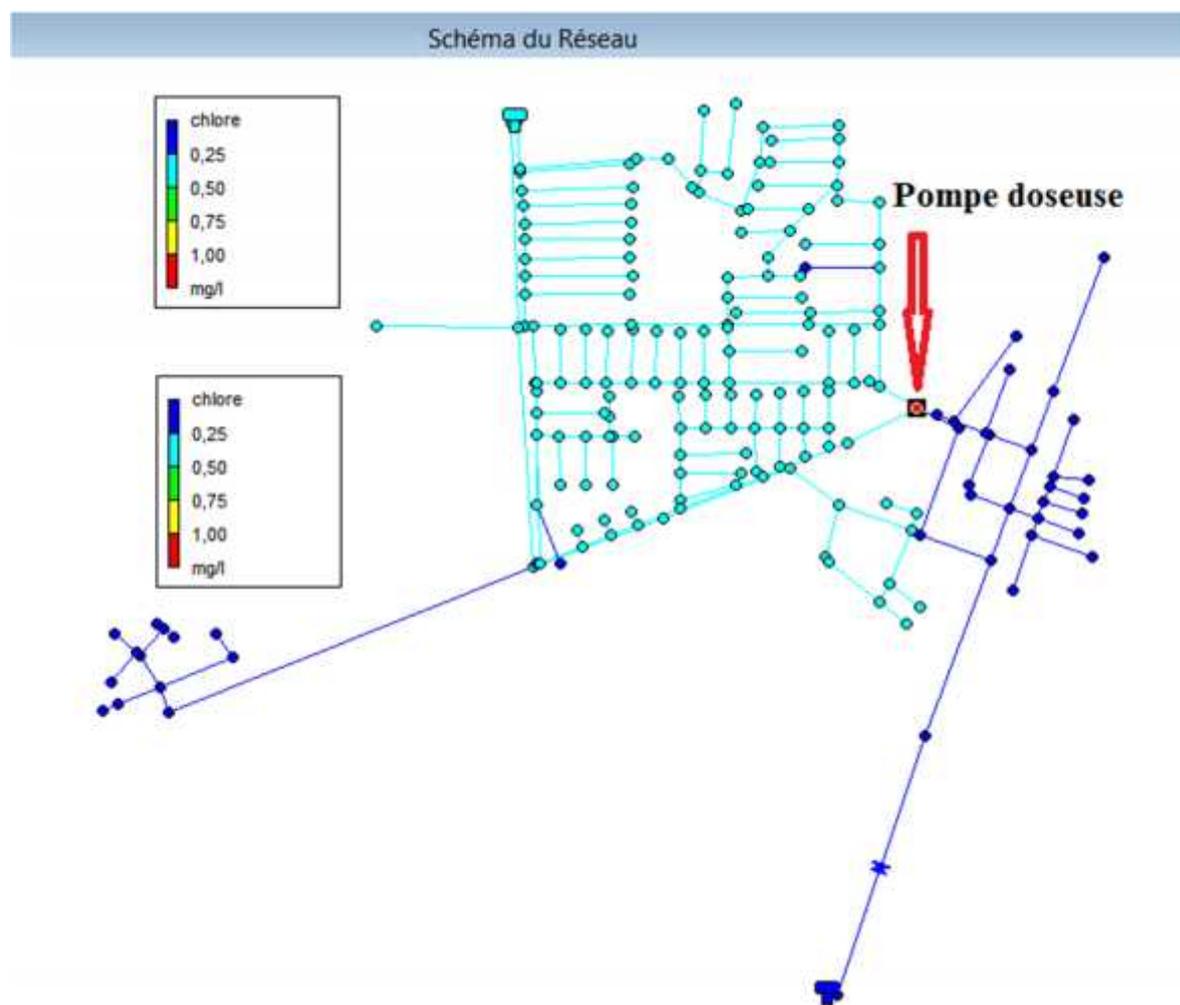


Figure I.19: L'emplacement de la pompe doseuse proposée.

III.5.2 Le deuxième scénario

Injection de 0.6 mg /L de chlore au niveau du réservoir, après une (1), deux(2) et (4) quatre heures de simulation (figures I.20, I.21, I.22, respectivement) nous remarquons que :

- ⇒ Les doses du chlore au niveau du réseau sont acceptables
- ⇒ Après la cinquième heure la dose du chlore au niveau du réservoir égale à 0 mg/L. (figure I.23)

Pour la bonne diffusion du chlore au niveau du réseau, on propose une pompe doseuse au niveau du réservoir qui se déclenche chaque 5 heures pour injecter 0.6 mg/L de chlore.

Pour la partie Est du réseau (où le chlore ne couvre pas le réseau), on propose une pompe doseuse pour l'injection du chlore, ça permettra de protéger l'eau au niveau du réseau de distribution. (figure I.24).

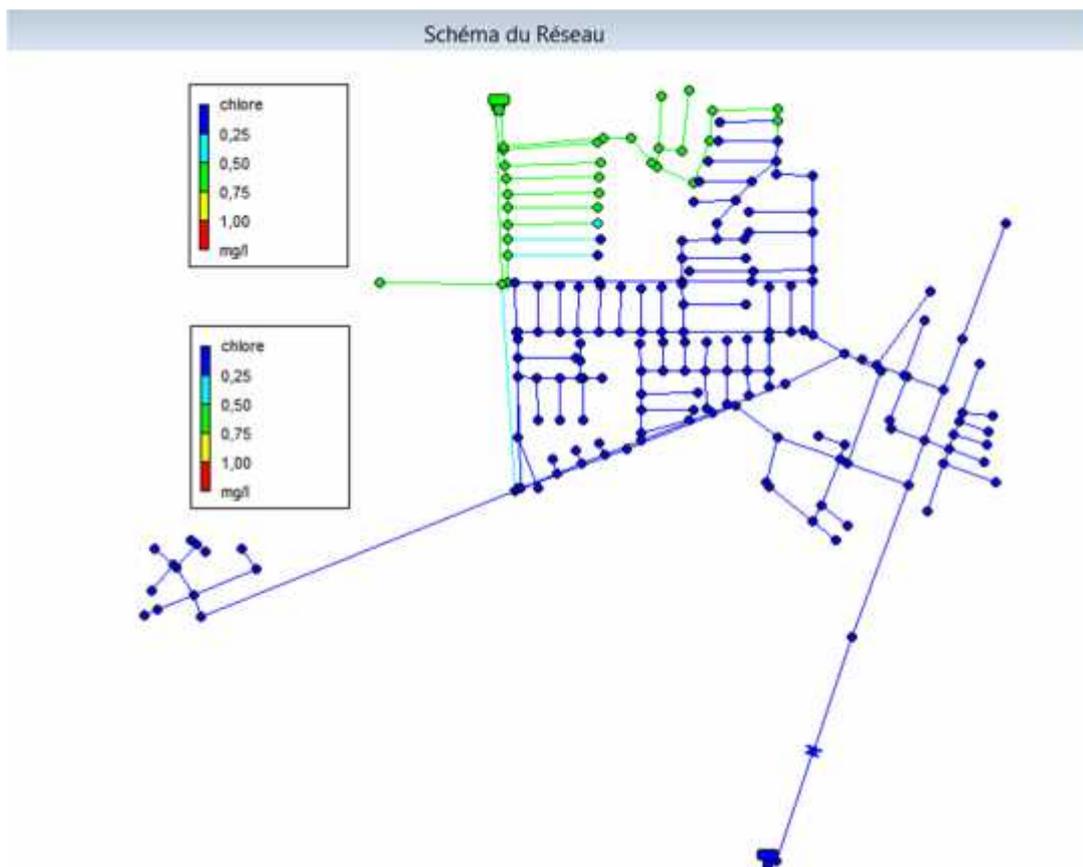


Figure I.20 : Diffusion du chlore après une heure de l'injection du 0.6 mg/L de chlore

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

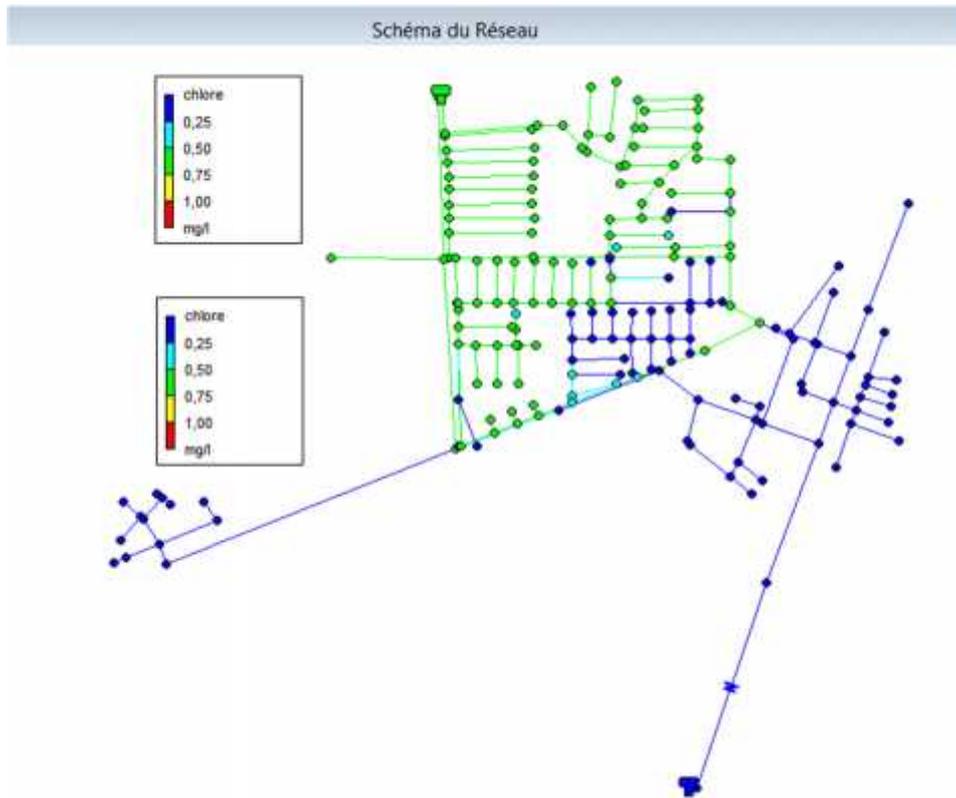


Figure I.21 : Diffusion du chlore après deux heures de l'injection du 0.6 mg/L de chlore

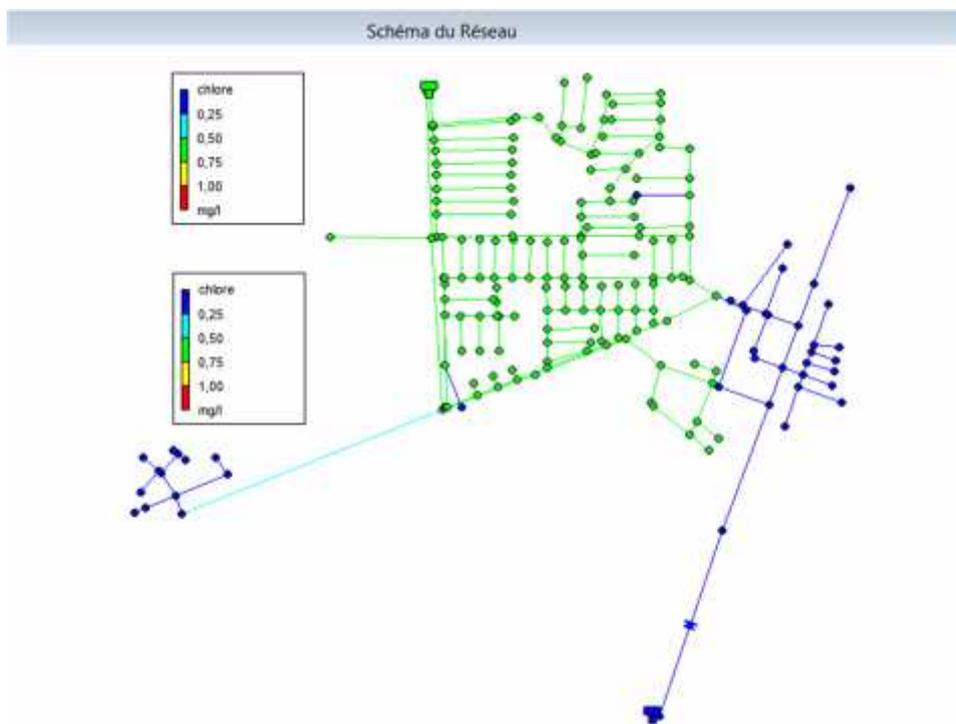


Figure I.22 : la diffusion du chlore après quatre heures de l'injection du 0.6 mg/L de chlore

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

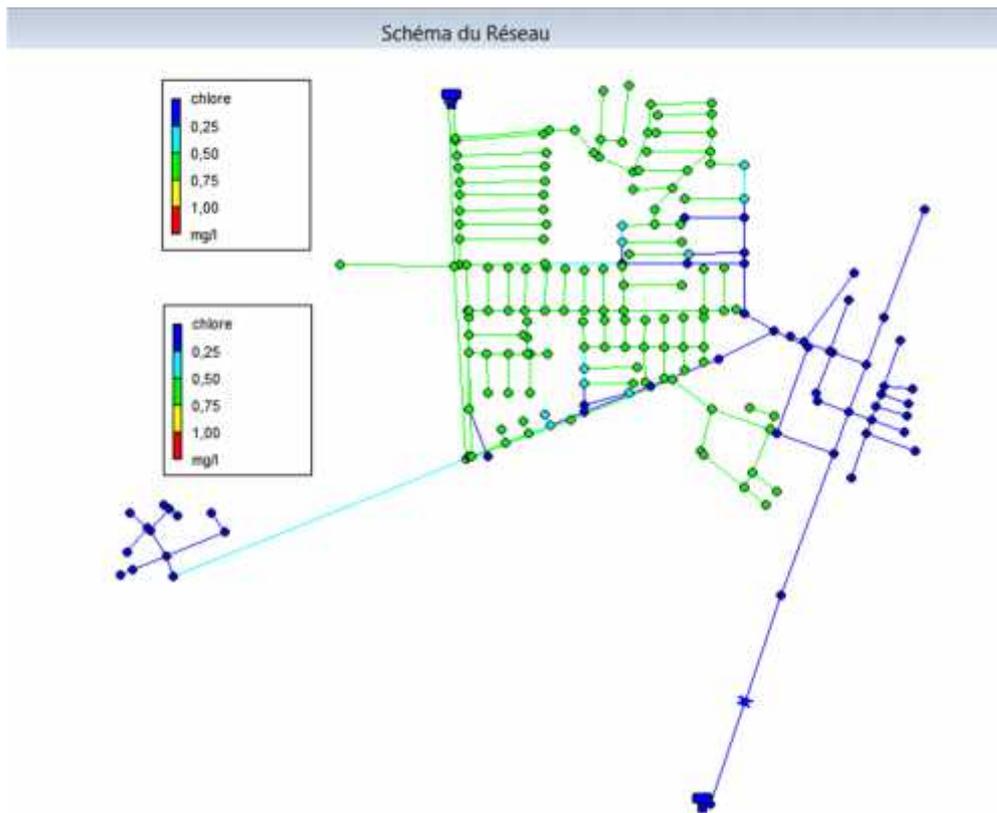


Figure I.23 : la diffusion du chlore après cinq heures de l'injection du 0.6 mg/L de chlore

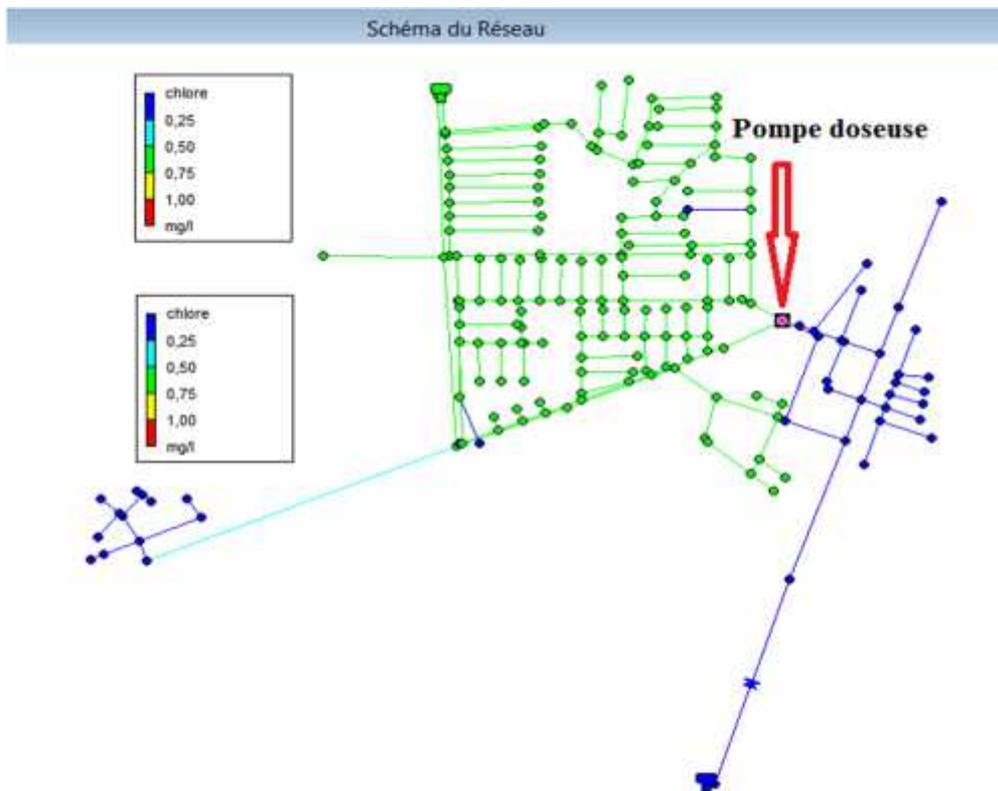


Figure I.24: L'emplacement de la pompe doseuse proposée.

I.5.3 Le troisième scénario

Injection d'une dose de 0.8mg/L du chlore au niveau du réservoir, après une heure, deux heures et trois heures de simulation, on remarque que la dose du chlore est élevée au niveau du réseau ce qui rend désagréable à boire. C'est pour cette raison que ce scénario est à éliminer. (Figures I.25, I.26, I.27)

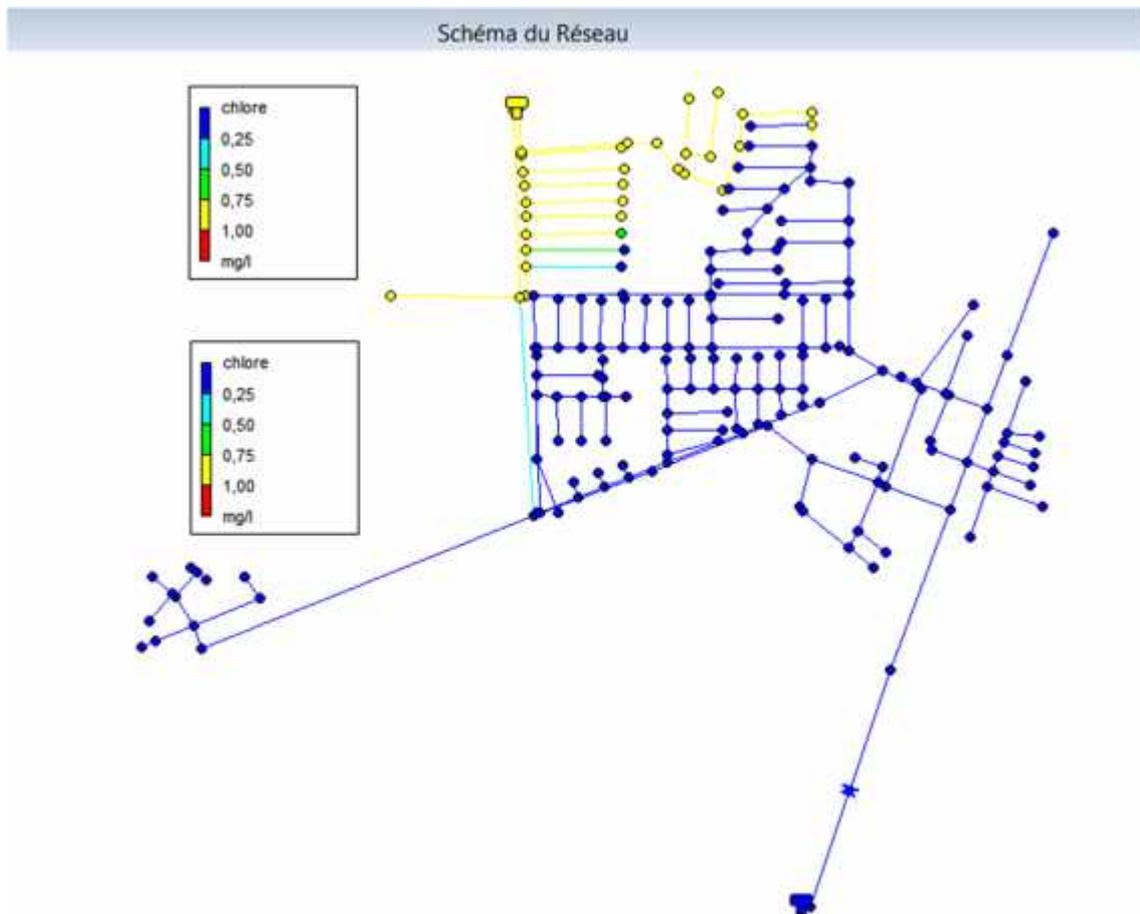


Figure I.25 Diffusion du chlore après une heure de l'injection du 0.8 mg/L

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

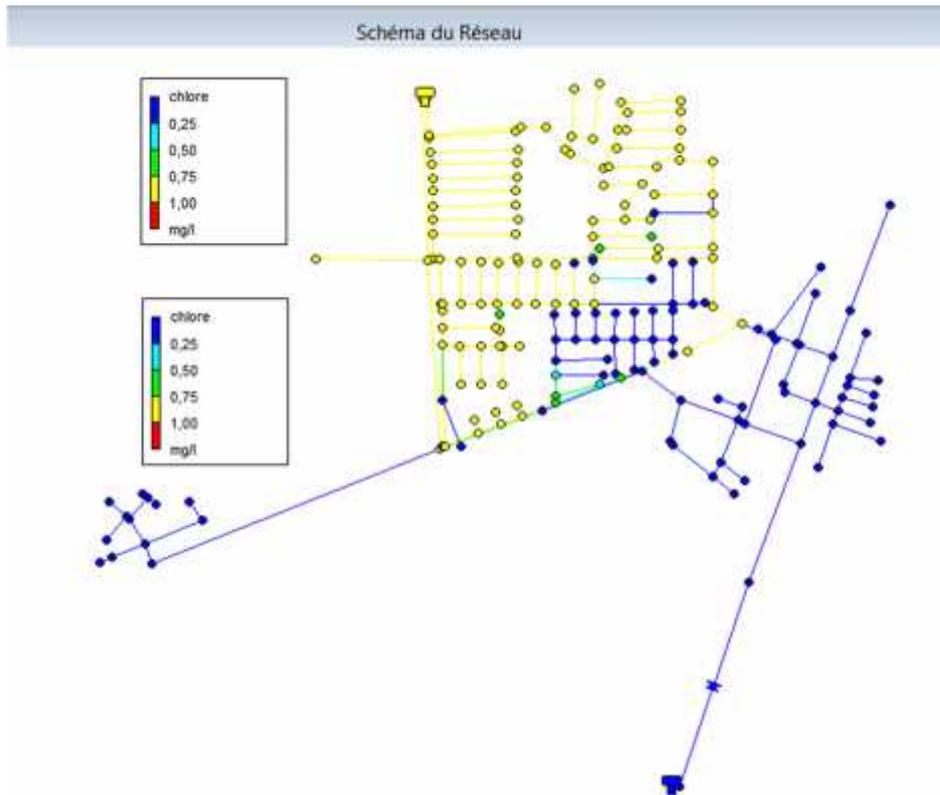


Figure I.26 : Diffusion du chlore après deux heures de l'injection du 0.8 mg/L de chlore

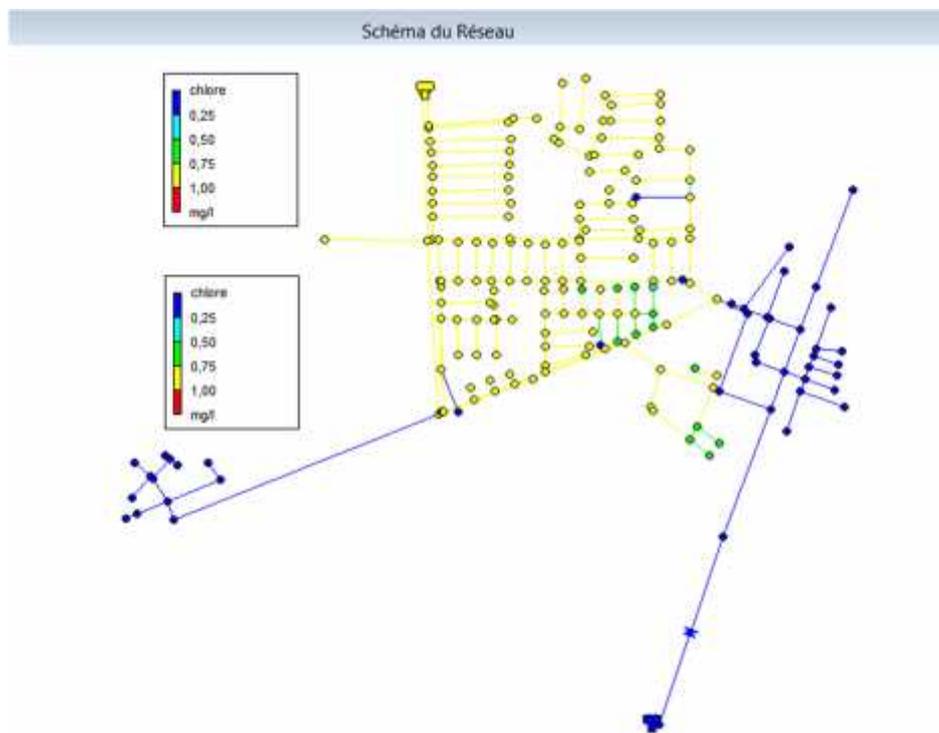


Figure I.27 : Diffusion du chlore après trois heures de l'injection du 0.8 mg/L de chlore

I.5.4 Quatrième scénario

Injection de 1 mg/L du chlore au niveau du réservoir, après une heure, On remarque que la dose du chlore est très élevée au niveau du réseau, ce qui élimine ce scénario. (Figures I.28). Aussi, les résultats de ce scénario ont été confirmés par la sortie que nous avons faite le 05 mars 2017.

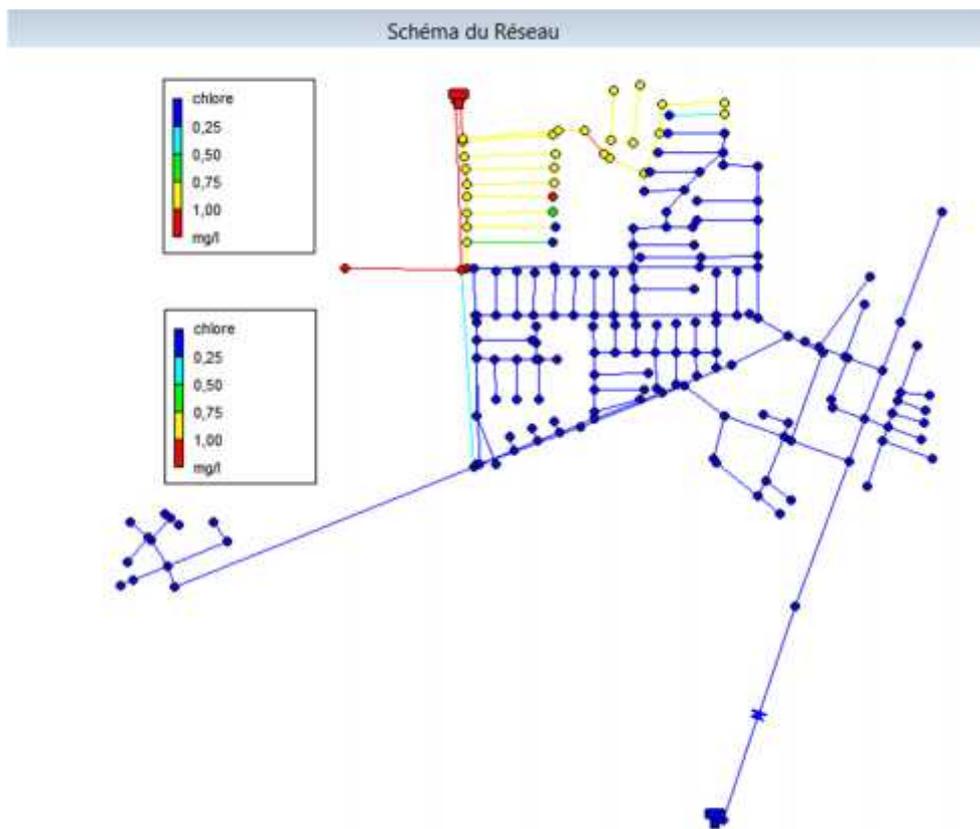


Figure I.28 : la diffusion du chlore après trois heures de l'injection de 1mg/L de chlore.

Chapitre III : Etude de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du Chef lieu de Chetouane

III.6 Conclusion

En se basant sur les analyses faites sur la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP de chef lieu de Chetouane, deux propositions peuvent être retenues pour garantir un dosage du chlore dans les normes.

- Installer deux pompes doseuses, une à la sortie du réservoir pour injecter chaque 03 heures une dose de 0.4 mg/L et l'autre à la partie Est du réseau de distribution.
- Installer deux pompes doseuses, une à la sortie du réservoir pour injecter chaque 05 heures une dose de 0.6 mg/L et l'autre à la partie Est du réseau de distribution.

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de mettre en place une base de données pour la qualité de l'eau au niveau du réseau d'AEP du chef lieu de Chetouane.

La base de données établie a permis de réaliser différentes cartes thématiques pour les éléments étudiés tels que Chlore, Nitrites, température, coliformes.... Ces cartes ont été réalisées sur 06 mois (septembre 2016- février 2017) pour le chlore et 10 mois (janvier 2016- mars 2017) pour les autres éléments.

L'analyse effectuée sous SIG pour le réseau d'AEP de chef lieu Chetouane a permis de déterminer la qualité de l'eau dans ce réseau, qui montre clairement qu'il ya des problèmes à corriger tels que la présence de la pollution bactériologique. Cette dernière est certainement causée soit par un traitement insuffisant de l'eau ou par des faux branchements (branchement du réseau d'égout au réseau d'AEP par les particuliers). La vétusté du réseau d'AEP et son état (âge, entretien...) sont aussi à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau au niveau du réseau. Une opération de réhabilitation du réseau est alors indispensable à ce niveau.

Cette base de données reste un support pour analyser les conséquences de la mauvaise qualité pour traiter ses causes, et d'autre part de simuler son fonctionnement futur du réseau.

Les résultats sous EPANET montrent que le réseau en question présente aussi des problèmes pour la diffusion du chlore. L'installation de pompes doseuses s'avèrent indispensable pour maintenir des doses acceptables dans le réseau et éviter de surdoser la partie aval proche du réservoir en injectant à partir d'un seul point (Réservoir).

Cette étude constitue une première étape d'un processus global dont le but est de développer des techniques d'aide à la gestion de la qualité de l'eau dans les réseaux d'AEP au moyen des SIG, elle peut être complétée et améliorée par d'autres applications qui intéressent les gestionnaires des réseaux.

Ce travail doit être élargi pour qu'il puisse cerner les problèmes liés à la qualité des eaux distribuées, en développant les axes suivants :

Conclusion général

- Effectuer d'autres campagnes de mesures pour couvrir la totalité du réseau étudié ;
- Travailler sur des périodes d'analyse plus importantes ;
- Modéliser la diffusion des autres paramètres polluants (pollution bactériologique) au niveau du réseau ;
- Optimiser le dosage du chlore au niveau du réseau étudié ;
- Il faut que les prélèvements soient prélevés quotidiennement par l'ADE à partir des mêmes points pour suivre la qualité de l'eau pendant des périodes précises ;
- Mettre à jour la base de données ;
- Généraliser ce genre d'étude pour tous les réseaux d'AEP de la wilaya de Tlemcen, ça permettra de créer un historique des événements.

Bibliographie

- [2] **J. L. CELERIER & J. A. FABY** : La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux, Mise à jour par G. LOISEAU & C. JUERY. Office International de l'Eau.
- [3] **C.I.E, (2007)** : La qualité de l'eau du robinet, <http://www.cieau.com/enseignants> , Centre d'information sur l'eau, consulté en mai 2017.
- [4] **Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau**, (2011): Qualité de l'eau, Document préparé par le Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau, <http://www.cubiq.ribg.gouv.qc.ca/in/faces/homeInBook.xhtml>, consulté en mai 2017, 101 p.
- [5] **A.BRAS**, (2005) : Evaluation des risques sanitaires des oocystes de *Cryptosporidium* dans l'eau destinée à la consommation humaine distribuée dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince, Haïti, Université de Quisqueya.
- [7] **M. C. BESNER**, (Aout 1999) : Influence des paramètres structurels et opérationnels sur la qualité de l'eau dans un réseau de distribution, école polytechnique de Montréal.
- [8] **E. JESTIN**, La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires.
- [9] **C. ABDELBAKI**, (2014) : Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG Cas du Groupement Urbain de Tlemcen, thèse de doctorat, Université abou bakr belkaid Tlemcen, ENSH Blida.
- [10] **L. AZZI**, (2016) : Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique. Etude de la rive gauche de la ville de SIDI AICHE.
- [11] **A. AMARA**, (2011) : Modélisation et simulation chapitre 1.
- [15] **C. ABDELBAKI**, (2001) : Contribution à la gestion d'un réseau d'alimentation en eau potable à l'aide d'un système d'information géographique : application à la ville de Birtouta, Mémoire de magister, ENSH Blida.
- [16] **F. Z. CHERIF**, (2015) : Etude critique et modélisation du réseau d'AEP du chef lieu de Chetouane, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.
- [17] **G. B. FRANÇOIS**, (2000) : Distribution et collecte des eaux, 2^{ème} édition, Presses internationales Polytechnique.
- [18] **ANAT**, (2010) : Monographie de la Wilaya de Tlemcen: Agence Nationale d'Aménagement du Territoire.

Bibliographie

- [19] **S. BENAMMAR, A. MANKOURI**, (2010) : L'apport de dessalement dans la nouvelle répartition des ressources en eau au niveau de la wilaya de Tlemcen, (Mémoire d'Ingénieur), Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [20] **ADE**, (2015) : Rapport interne: (Algérienne des eaux).
- [21] **A. BOUMEDIENNE**, (2012) : Les adductions du groupement urbain de Tlemcen: Etats de lieux et proposition des solutions secteur Mansourah, (Mémoire de Master), Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [22] **B. BERRAHMA**, (2009) : L'étude d'un nouveau schéma de répartition des ressources dans le groupement urbain de Tlemcen, (Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique urbaine), Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [23] **L. ROSSMAN**, (2000) : Manuel d'utilisation d'Epanet.
- [24] **Z. KHERBOUCHE & M. W. SOUFI**, (2016) : Etude des indicateurs de performance des services des réseaux d'AEP, Cas du groupement urbain de Tlemcen, (Mémoire de Master), Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.

Webographie

- [1] <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICQUALI.HTM> consulté en février 2017
- [6] <http://www.lenntech.fr> consulté en mai 2017
- [12] <http://porteau.irstea.fr>, consulté en mai 2017
- [13] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/node/1> consulté en mai 2017
- [14] <https://www.esrifrance.fr/sig2006/index.html>, consulté en mai 2017 mais 2017

Annexes

Annexes

Annexe A

Extrait de données du dosage de chlore du mois de septembre 2016.

ID	Classe	X	Y	date	heure	zone_de_prélèver	dose_de_chlor	
<input type="checkbox"/>	1	point	655 441,49	3 866 054,73	05/09/2016	08h50	réservoir 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	2	point	655 403,88	3 866 066,92	05/09/2016	09h00	réservoir 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	3	point	656 152,83	3 865 465,38	05/09/2016	09h30	siege ADE	0,2
<input type="checkbox"/>	4	point	656 229,69	3 865 574,35	05/09/2016	09h40	05 Juillet	0,2
<input type="checkbox"/>	5	point	655 076,8	3 865 772,49	05/09/2016	10H10	FNPOS	0,2
<input type="checkbox"/>	6	point	655 521,27	3 865 352,6	05/09/2016	08h30	station	0,6
<input type="checkbox"/>	7	point	655 119,11	3 866 001,94	05/09/2016	09h00	BT kaleche	0,2
<input type="checkbox"/>	8	point	655 517,56	3 865 789,54	05/09/2016	10h00	centre chetouan	0,2
<input type="checkbox"/>	9	point	655 522,52	3 865 352,47	06/09/2016	08h30	station	0,6
<input type="checkbox"/>	10	point	655 441,78	3 866 054,93	06/09/2016	08h50	réservoir 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	11	point	655 404,41	3 866 067,03	06/09/2016	09h00	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	12	point	656 309,32	3 865 828,02	06/09/2016	10h30	zouinette	0,3
<input type="checkbox"/>	13	point	656 237,09	3 865 594,15	06/09/2016	11h10	05 Juillet	0,3
<input type="checkbox"/>	14	point	656 261,2	3 865 426,08	06/09/2016	09h50	les 48 logts	0,3
<input type="checkbox"/>	15	point	655 561,84	3 865 692,43	06/09/2016	09h30	centre chetouan	0,3
<input type="checkbox"/>	16	point	655 520,28	3 865 351,33	07/09/2016	08h30	station chetoua	0,6
<input type="checkbox"/>	17	point	655 441,28	3 866 056,08	07/09/2016	08h55	RV1000	0,6
<input type="checkbox"/>	18	point	655 401,72	3 866 066,09	07/09/2016	09h10	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	19	point	656 247,34	3 865 622,75	07/09/2016	10h30	05 Juillet	0,2
<input type="checkbox"/>	20	point	656 269,32	3 865 453,01	07/09/2013	11h00	les 48 logts	0,2
<input type="checkbox"/>	21	point	655 521,08	3 865 348,82	08/09/2016	08h30	station chetoua	0,6
<input type="checkbox"/>	22	point	655 442,19	3 866 056,16	08/09/2016	08h50	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	23	point	655 402,54	3 866 068,06	08/09/2016	09h00	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	24	point	655 919,21	3 865 959,68	08/09/2016	11h00	aine safra	0,2
<input type="checkbox"/>	25	point	655 016,92	3 865 768,48	08/09/2016	16h30	FNPOS	0,3
<input type="checkbox"/>	26	point	655 122,98	3 865 979,61	08/09/2016	16H00	DT kaleche	0,3
<input type="checkbox"/>	27	point	655 711,01	3 865 718,37	08/09/2016	15h20	centre chetouan	0,2
<input type="checkbox"/>	28	point	655 522,18	3 865 349,58	11/09/2016	07h30	station chetoua	0,6
<input type="checkbox"/>	29	point	655 439,96	3 866 055,02	11/09/2016	08h50	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	30	point	655 406,99	3 866 069,31	11/09/2016	07h50	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	31	point	656 149,43	3 865 466,6	11/09/2016	08H05	siege ADE	0,5

Annexes

Extrait de données du dosage de chlore du mois de novembre 2016.

ID	classe	X	Y	date	heure	point_de_prélevement	dose_de_chlor	
<input type="checkbox"/>	118	point	655 441,8	3 866 055,98	27/11/2016	08h30	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	119	point	655 405	3 866 064,61	27/11/2016	08h40	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	120	point	656 145,51	3 865 468,01	27/11/2016	09h50	siege ADE	0,3
<input type="checkbox"/>	121	point	656 259,63	3 865 658,72	27/11/2016	09h30	05 Juillet	0,3
<input type="checkbox"/>	122	point	656 269,22	3 865 479,83	27/11/2016	09h40	les 48 logts	0,3
<input type="checkbox"/>	123	point	655 747,54	3 865 741,26	27/11/2016	10h00	centre chetouane	0,3
<input type="checkbox"/>	124	point	656 321,48	3 865 842,92	27/11/2016	10h55	zouinette	0,3
<input type="checkbox"/>	125	point	655 406,85	3 865 307,54	28/11/2016	09h00	station chetouane	0,6
<input type="checkbox"/>	126	point	655 438,3	3 866 054,96	28/11/2016	09h10	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	127	point	655 401,38	3 866 067,56	28/11/2016	09h25	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	128	point	655 390,12	3 865 376,61	28/11/2016	11h30	cité univercitaire	0,3
<input type="checkbox"/>	129	point	656 258,25	3 865 654,4	28/11/2016	11h45	05 Juillet	0,3
<input type="checkbox"/>	130	point	655 006,37	3 865 769,27	28/11/2016	12h40	FNPOS	0,3
<input type="checkbox"/>	131	point	654 949,06	3 865 863,01	28/11/2016	12h20	BT Amel Miloud	0,4
<input type="checkbox"/>	132	point	655 488,69	3 865 681,34	28/11/2016	11h00	centre chetouane	0,2
<input type="checkbox"/>	133	point	655 407,13	3 865 307,05	29/11/2016	10h30	station chetouane	0,6
<input type="checkbox"/>	134	point	655 442,54	3 866 054,42	29/11/2016	10h00	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	135	point	655 400,64	3 866 065,71	29/11/2016	10h20	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	136	point	655 920,31	3 866 020,94	29/11/2016	11h45	Ain Safra	0,2
<input type="checkbox"/>	137	point	655 390,25	3 865 376,6	29/11/2016	09h20	cité univercitaire	0,3
<input type="checkbox"/>	138	point	655 113,78	3 865 994,09	29/11/2016	11h00	BT kaleche	0,2
<input type="checkbox"/>	139	point	655 218,92	3 866 038,16	29/11/2016	11h20	les 104 logts	0,4
<input type="checkbox"/>	140	point	655 407,76	3 865 307,59	30/11/2016	10h00	station chetouane	0,6
<input type="checkbox"/>	141	point	655 439,17	3 866 052,79	30/11/2016	10h20	RV1000	0,6
<input type="checkbox"/>	142	point	655 404,88	3 866 066,97	30/11/2016	10h30	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	143	point	655 016,83	3 865 678,78	30/11/2016	10h40	BT hamza cherif	0,3
<input type="checkbox"/>	144	point	655 982,37	3 865 645,83	30/11/2016	11h40	Parc communal	0,3
<input type="checkbox"/>	145	point	656 145,25	3 865 468,1	30/11/2016	14h30	siege ADE	0,3
<input type="checkbox"/>	146	point	656 255,86	3 865 647,18	30/11/2016	14h40	05 Juillet	0,3
<input type="checkbox"/>	147	point	655 589,88	3 865 740,92	30/11/2016	14h00	centre chetouane	0,3
<input type="checkbox"/>	148	point	655 169,96	3 865 769,29	30/11/2016	16h00	les 50 logts	0,3

Annexes

Extrait de données du dosage de chlore du mois d'octobre 2016.

ID	classe	X	Y	date	heure	point_de_prélevem	dose_de_chlor	
<input type="checkbox"/>	95	point	656 271,75	3 865 479,09	19/10/2016	09h45	les 48 logts	0,3
<input type="checkbox"/>	96	point	655 910,16	3 865 829,28	19/10/2016	09h30	centre chetouane	0,4
<input type="checkbox"/>	97	point	655 070,87	3 865 779,91	20/10/2016	14h50	FNPOS	0,3
<input type="checkbox"/>	98	point	656 261,1	3 865 426	20/10/2016	17h15	les 48 logts	0,3
<input type="checkbox"/>	99	point	656 257,09	3 865 651,16	20/10/2016	11h40	05 Juillet	0,3
<input type="checkbox"/>	100	point	655 405,96	3 865 308,68	20/10/2016	11h00	station chetouane	0,7
<input type="checkbox"/>	101	point	655 102,54	3 866 109,17	20/10/2016	11h30	BT bouarfa	0,3
<input type="checkbox"/>	102	point	654 930,6	3 865 888,42	20/10/2016	14h40	BT amel miloude	0,3
<input type="checkbox"/>	103	point	655 437,46	3 866 054,05	20/10/2016	11h10	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	104	point	655 403,35	3 866 066,21	20/10/2016	11h15	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	105	point	655 826,19	3 865 741,06	20/10/2016	11h20	centre chetouane	0,3
<input type="checkbox"/>	105	point	655 406,91	3 865 309,63	23/10/2016	09h00	station chetouane	0,6
<input type="checkbox"/>	107	point	655 438,21	3 866 053,67	23/10/2016	08h30	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	108	point	655 404,88	3 866 064,19	23/10/2016	08h40	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	109	point	655 410,33	3 865 404,16	23/10/2016	09h20	cté univercitaire	0,5
<input type="checkbox"/>	110	point	654 936,34	3 865 849,76	23/10/2016	16h20	BT amel miloude	0,2
<input type="checkbox"/>	111	point	656 266,23	3 865 454,22	23/10/2016	16h40	les 48 logts	0,2
<input type="checkbox"/>	112	point	655 502,21	3 865 739,92	23/10/2016	16h00	centre chetouane	0,2
<input type="checkbox"/>	113	point	655 406,44	3 865 308,84	24/10/2016	08h20	station chetouane	0,6
<input type="checkbox"/>	114	point	655 411,44	3 865 401,7	24/10/2016	10h00	cté univercitaire	0,5
<input type="checkbox"/>	115	point	656 172,14	3 865 458,46	24/10/2016	10h45	siege ADE	0,2
<input type="checkbox"/>	116	point	656 258,25	3 865 654,73	24/10/2016	10h55	05 Juillet	0,2
<input type="checkbox"/>	117	point	655 061,29	3 865 778,97	24/10/2016	11h20	FNPOS	0,2
<input type="checkbox"/>	118	point	655 926,97	3 865 740,29	24/10/2016	10h30	centre chetouane	0,2
<input type="checkbox"/>	119	point	655 406,34	3 865 308,5	25/10/2016	08h30	station chetouane	0,6
<input type="checkbox"/>	120	point	655 441,7	3 866 052,42	25/10/2016	09h00	RV 1000	0,6
<input type="checkbox"/>	121	point	655 402,34	3 866 067,89	25/10/2016	09h10	RV 3000	0,6
<input type="checkbox"/>	122	point	655 408,2	3 865 404,43	25/10/2016	09h30	cté univercitaire	0,2
<input type="checkbox"/>	123	point	655 029,74	3 865 774,42	25/10/2016	11h00	FNPOS	0,2
<input type="checkbox"/>	124	point	656 283,54	3 865 835,51	25/10/2016	10h40	zouinette	0,2
<input type="checkbox"/>	125	point	656 264,98	3 865 424,92	25/10/2016	10h20	les 48 logts	0,2

Annexes

Les cartes qui correspondent aux analyses quotidiennes des mois d'octobre, novembre, décembre 2016 et janvier, février 2017



Figure2 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le dosage du chlore de mois d'Octobre 2016.



Figure3 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le dosage du chlore de mois de Novembre 2016.



Figure 4: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le dosage du chlore de mois de Décembre 2016.



Figure5: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le dosage du chlore de mois de Janvier 2017.



Figure 6: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le dosage du chlore de mois de février 2017.

Annexe B

Les cartes qui correspondent aux analyses des mois de janvier, mars, avril, mai, juin, août, septembre, novembre, 2016 et mars 2017.



Figure1 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes fécaux du mois de Janvier 2016.

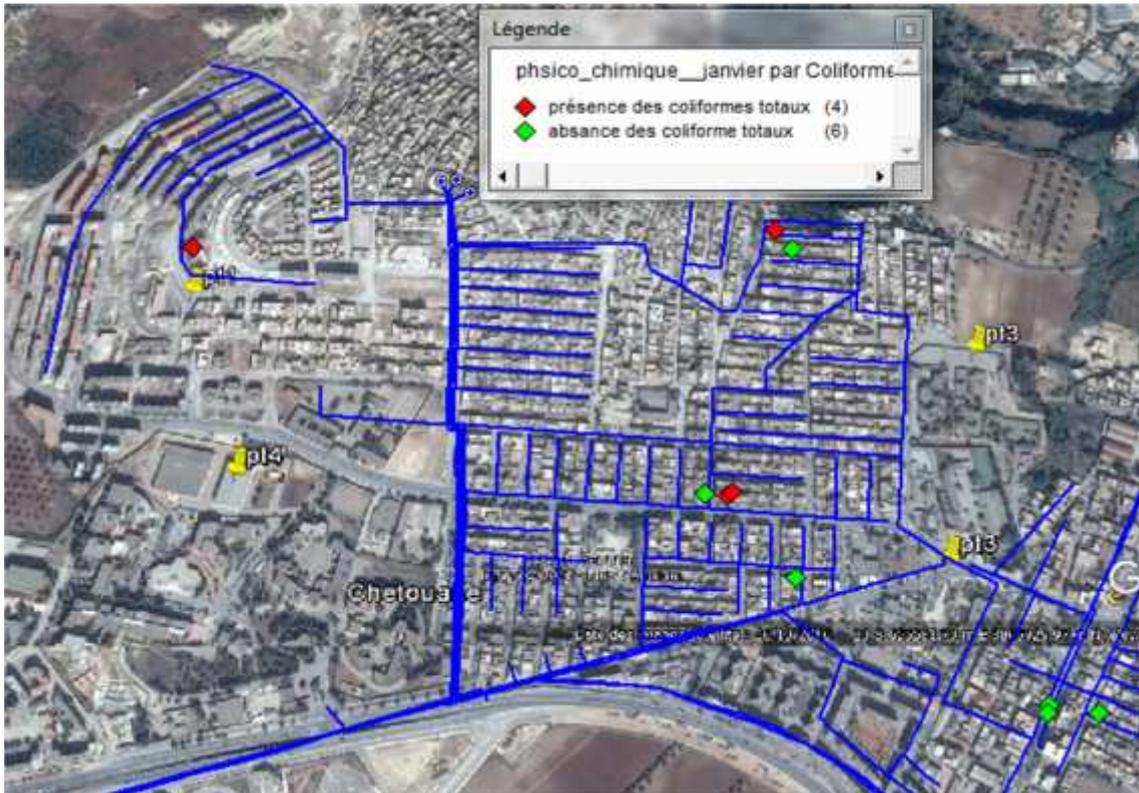


Figure2 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes totaux du mois de Janvier 2016.

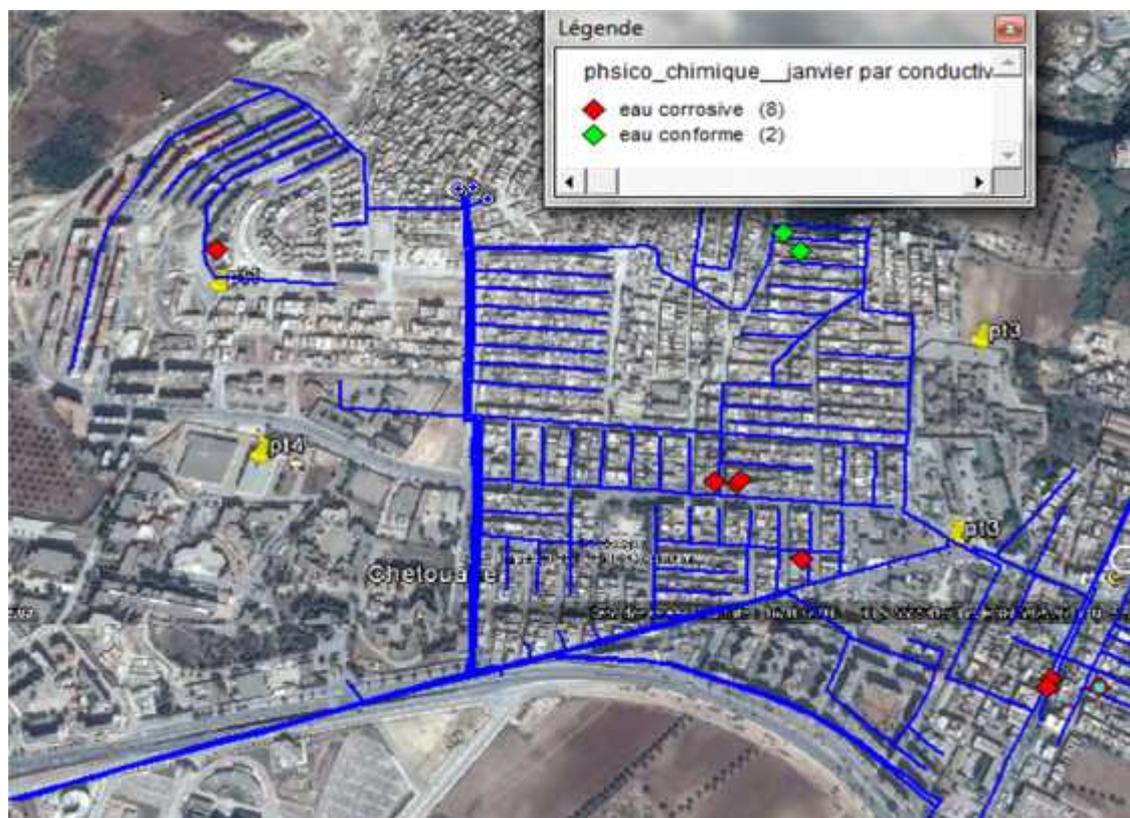


Figure 3 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de Janvier 2016.



Figure 4 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois de Janvier 2016.



Figure 5 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre ammonium du mois de Janvier 2016.

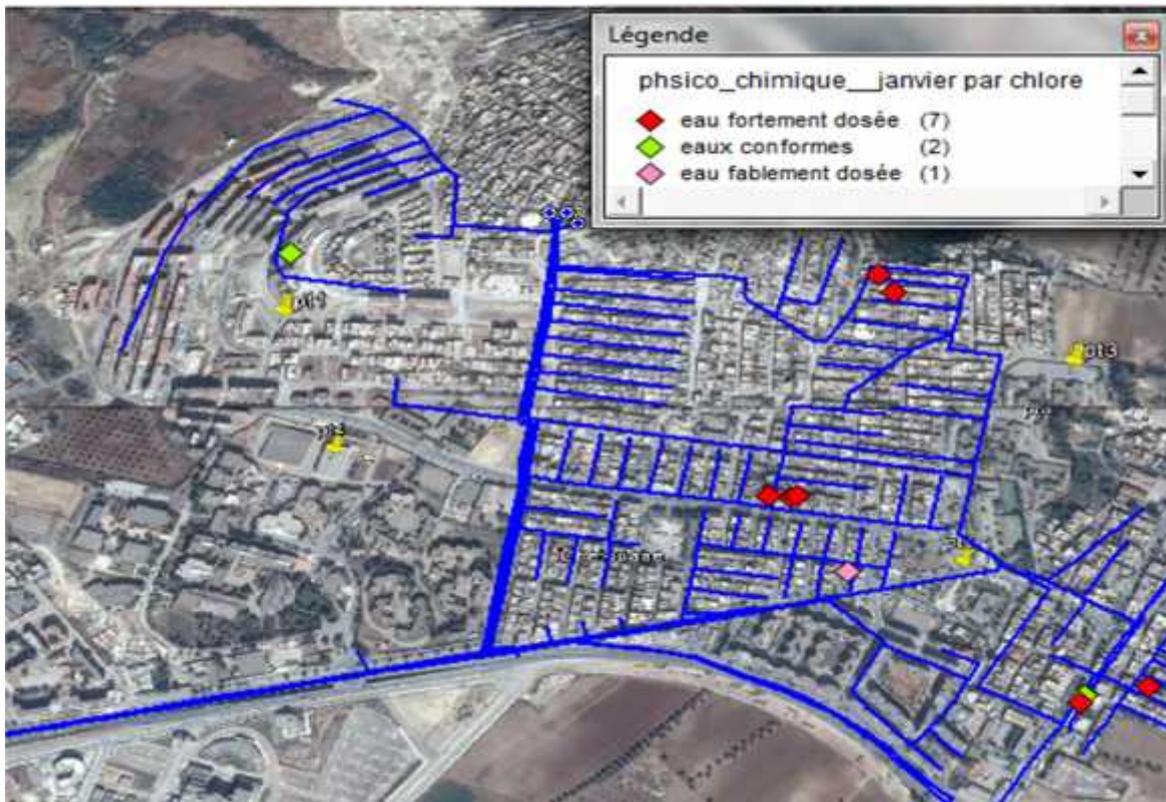


Figure 6: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre chlore du mois de Janvier 2016



Figure 7: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes fécaux du mois de Mars 2016.



Figure 8 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes totaux du mois de Mars 2016.



Figure 9: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique streptocoques fécaux du mois de Mars 2016.



Figure 10 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de Mars 2016.



Figure 11: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois de Mars 2016.



Figure 12: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre ammonium du mois de Mars 2016.



Figure 13: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre chlore du mois de mars 2016.

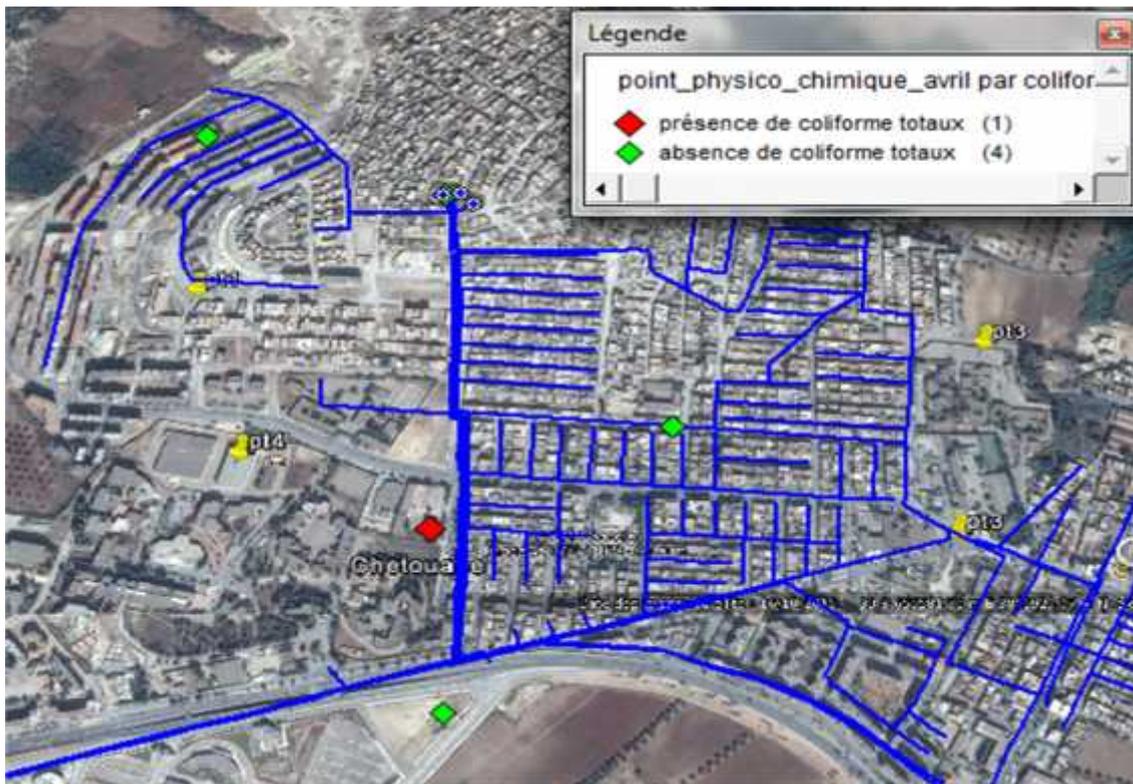


Figure 14: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes fécaux du mois d'Avril 2016



Figure 15: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes totaux du mois d'Avril 2016.



Figure 16: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique streptocoques fécaux du mois d'Avril 2016

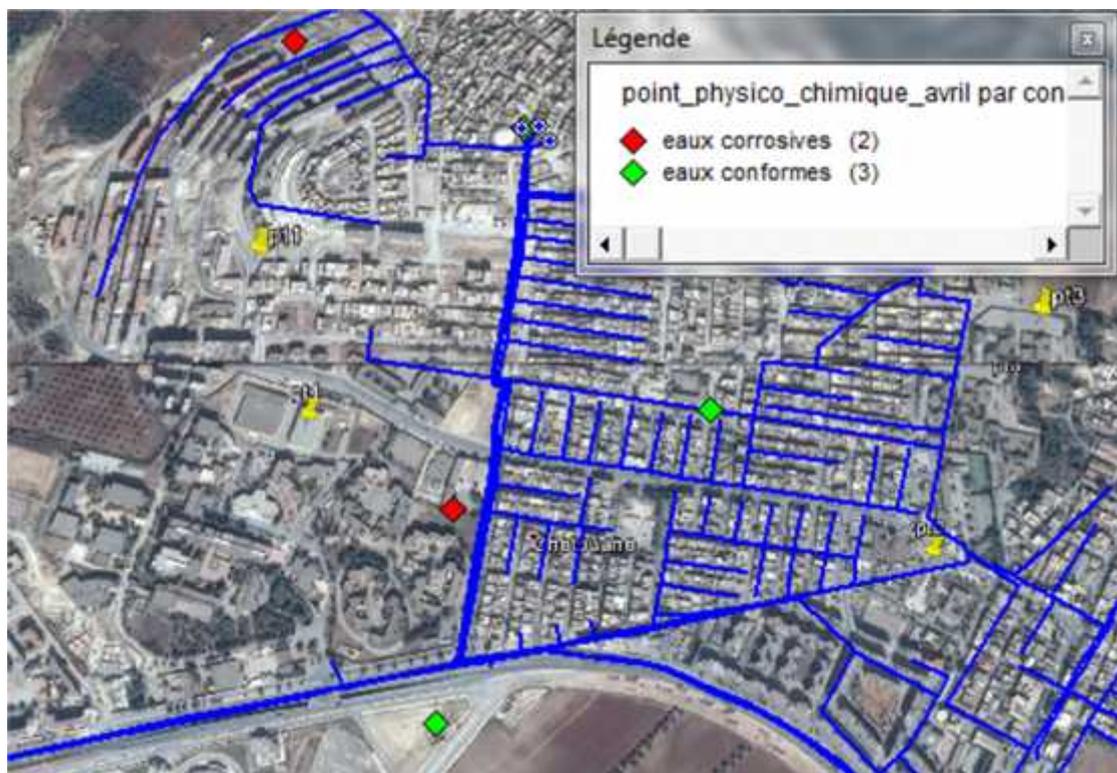


Figure 17: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois d'Avril 2016



Figure 18: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois d'Avril 2016



Figure 19: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre ammonium du mois d'Avril 2016.



Figure 20: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre chlore du mois d'Avril 2016



Figure 21: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes totaux du mois de mai 2016.



Figure 22: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique streptocoques fécaux du mois de mai 2016



Figure 23: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes fécaux du mois d'Avril 2016.



Figure 24: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de mai 2016.



Figure 25: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois de Mai 2016

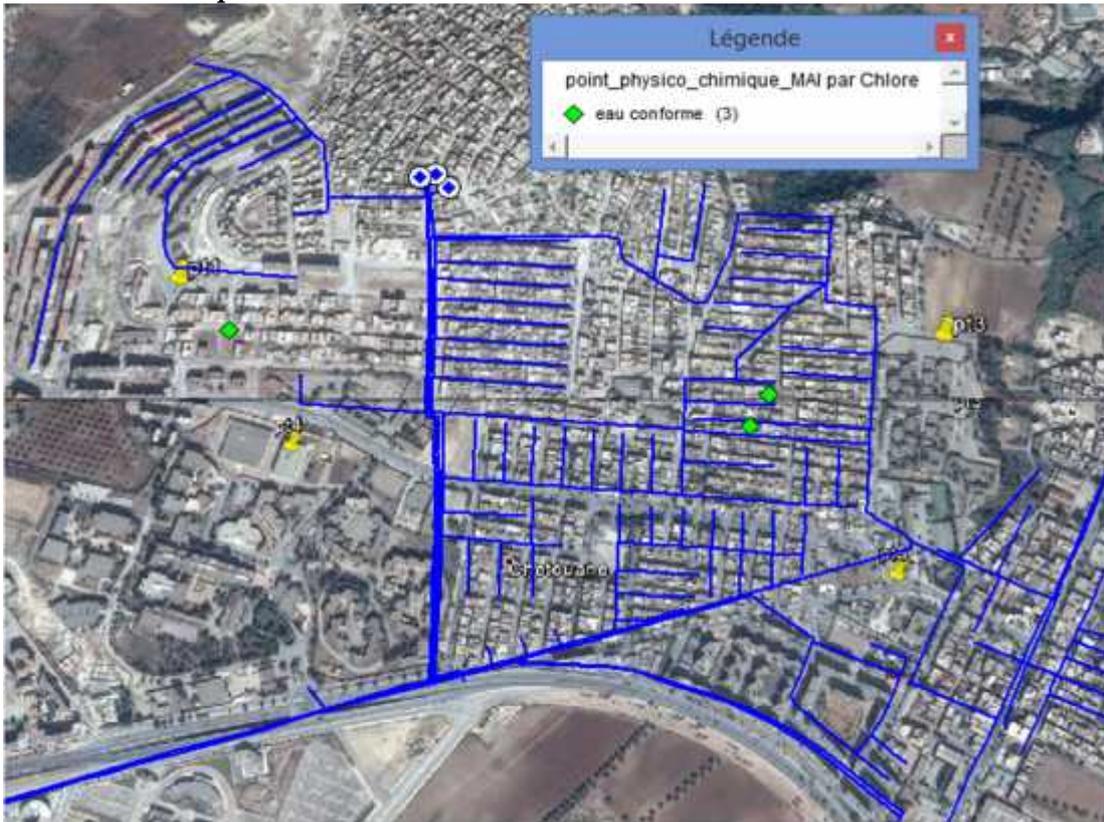


Figure26 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre chlore du mois de Mai 2016



Figure 27: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes totaux du mois de juin 2016.



Figure 28: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre microbiologique coliformes fécaux du mois de juin 2016.



Figure 29: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de juin 2016.

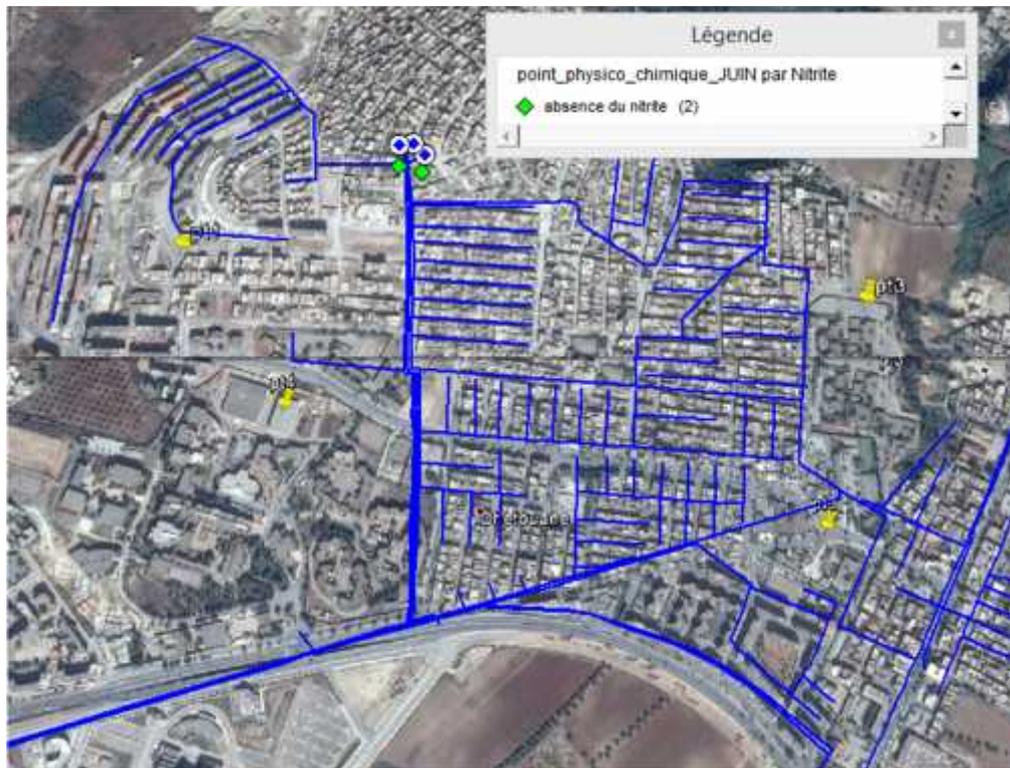


Figure 30: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois de juin 2016.



Figure 31: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre ammonium du mois de juin 2016.



Figure 32: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre chlore du mois de juin 2016



Figure 33: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre coliformes totaux du mois de septembre 2016.



Figure 34: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre coliformes fécaux du mois de septembre 2016.



Figure 35: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de septembre 2016.



Figure 36: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois de septembre 2016.



Figure 37: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre ammonium du mois de septembre 2016.



Figure 38: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre chlore du mois de septembre 2016.



Figure 39 : Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite du mois de novembre 2016.



Figure 40: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de novembre 2016.



Figure 41: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité du mois de novembre 2016.



Figure 42: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite mois d'aout 2016

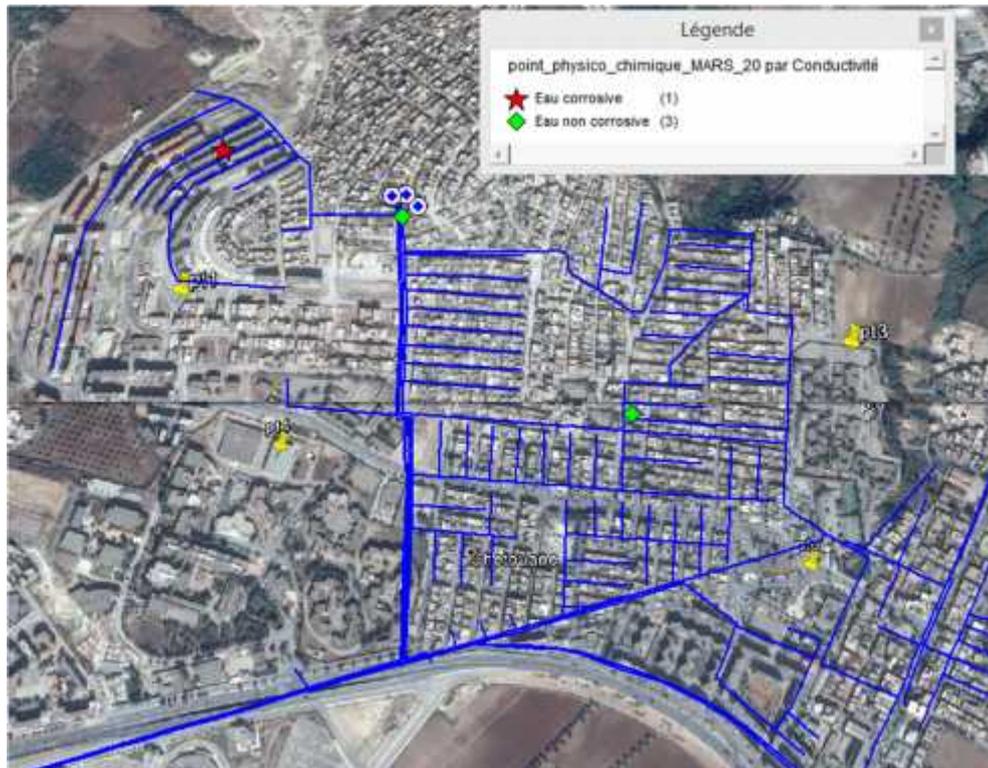


Figure 42: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre conductivité mois de mars 2017



Figure 43: Analyse thématique de la qualité de l'eau dans le réseau d'AEP du chef lieu Chetouane selon le paramètre nitrite mois de mars 2017