REPUBLIQUE ALGERIENNE DIMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB -BLIDA 1-

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Thème :

Contribution à l'amélioration de la gestion du réseau d'AEP en intermittence (cas de la ville de Boufarik – BLIDA)

Présenté par :

ZIZI Chahinez

TAAZOUNT Zohra Dhouhour

Devant le jury composé de :

Mr. KARA A.	U. Blida 1	MCB	Président
Mme. BEN ZINEB Kh.	U. Blida 1	MCA	Examinatrice
Mme. TAIBI S.	U. Blida 1	MCA	Promotrice
Mr. SIAD R.	ADE		Co-promoteur

2024-2025

Remerciement

Nous n'avons commencé que par Sa guidance,
nous n'avons atteint la fin que par Sa volonté,
et nous n'avons accompli mes objectifs que par Sa grâce.
Louange à Dieu qui nous a permis d'atteindre cette étape précieuse de mon parcours.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame TAIBI, notre encadrant, pour son accompagnement, ses conseils avisés et son soutien précieux qui ont largement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants et membres du corps pédagogique du département de Sciences de l'Eau et Environnement, pour la qualité de l'enseignement dispensé tout au long de notre parcours universitaire.

Nous remercions sincèrement l'Algérienne des eaux (ADE) pour leur collaboration, leur accueil et les informations précieuses qu'ils nous ont fournies.

Enfin, nous adressons toute notre reconnaissance à nos familles respectives, pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur présence bienveillante durant toute cette aventure académique

Dédicace

C'est avec une profonde gratitude et une émotion sincère qu'arrivée au terme de mes études, j'ai le plaisir de dédier ce travail à toutes les personnes chères à mon cœur, en signe d'amour, de respect et de reconnaissance.

À mes chers parents, lumières de ma vie, piliers de ma force, pour leur amour, leur patience, leurs sacrifices et leurs prières. Que Dieu vous protège et vous comble de bonheur comme vous m'avez comblée durant toute ma vie.

À mes sœurs et à leurs petites familles, merci pour votre affection, votre soutien discret et votre présence réconfortante tout au long de ce parcours.

À ma promotrice, Mme TAIBI, pour ses conseils précieux, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de ce travail.

À mes enseignants, mes amis, et mes camarades de la promotion 2024/2025 de Ressources Hydrauliques, merci pour les souvenirs partagés, l'entraide et la motivation collective.

Et à moi-même, pour la persévérance, la patience, et la force puisée dans chaque difficulté surmontée.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je vous adresse ma sincère reconnaissance.

Avec toute ma gratitude,

ZIZI Chahinez

Dédicace

Avec une profonde émotion et une immense gratitude, je dédie ce travail à l'âme généreuse de ma chère grand-mère. Qu'Allah lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.

À ma mère, source d'amour inconditionnel, et à mon père, modèle de patience et d'effort, je vous dois ma force et ma détermination.

À ma sœur et à mes frères, merci pour votre soutien constant.

À ma précieuse amie, cadeau du destin et rempart contre les blessures du monde, merci d'être là.

Cet accomplissement est le fruit d'un rêve longtemps espéré. Louange à Dieu pour tout.

Je l'ai dit, et je l'ai fait.

Taazount Zohra Dhouhour

الملخص:

تُعد إدارة الموارد المائية من بين أكبر التحديات التي تواجهها الجزائر، وذلك بسبب الإجهاد المائي الناتج عن مناخها شبه الجاف والنمو الديمغرافي المستمر. تهدف هذه الدراسة إلى تشخيص الحالة الراهنة لشبكة توزيع مياه الشرب وتسليط الضوء على مختلف الاختلالات مثل الانقطاعات المتكررة وتذبذب الضغط. ولتحقيق ذلك، تم استخدام نظم المعلومات الجغرافية (SIG) لجمع وتنظيم البيانات المكانية، إلى جانب برنامج WaterCAD لمحاكاة الشبكة وتحسين أدائها. أظهرت النتائج العديد من الاختلالات، من بينها: ضغوط منخفضة جدًا في بعض المناطق المرتفعة، ضغوط مفرطة في مناطق أخرى، وسرعات جريان تقل عن 0.5 م/ث في عدة مقاطع، مما يُسهّل تراكم الرواسب، بالإضافة إلى وجود اختلالات هيدروليكية بين مختلف القطاعات. كما تبيّن أن هناك قناة تربط منطقة أمیار بمركز مؤسسة الجزائرية للمياه، تؤمن في الوقت نفسه عمليتي الدفع والتوزيع، وهي وضعية غير ملائمة من الناحية التقنية حيث تُبرز هذه المعطيات الحاجة إلى تدخلات ميدانية دقيقة لتحسين فعالية الشبكة وموثوقيتها.

الكلمات المفتاحية: شبكات توزيع مياه الشرب، النمذجة الهيدروليكية، المحاكاة الهيدروليكية، نظم المعلومات الجغرافية، WaterCAD.

Résumé :

La gestion des ressources en eau représente l'un des plus grands défis auxquels l'Algérie est confrontée, en raison du stress hydrique causé par son climat semi-aride et la croissance démographique continue. Cette étude, vise à diagnostiquer l'état actuel du réseau d'alimentation en eau potable et souligner les divers dysfonctionnements tels que les coupures fréquentes et les variations de pression. Pour ce faire nous avons utilisé les Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour la collecte et l'organisation des données spatiales, et le logiciel WaterCAD pour la simulation et l'optimisation du réseau. Les résultats ont montré plusieurs irrégularités : des pressions trop faibles dans certaines zones élevées, des pressions excessives dans d'autres, des vitesses d'écoulement inférieures à 0,5 m/s dans plusieurs tronçons favorisant l'accumulation de dépôts, ainsi que des déséquilibres hydrauliques entre les secteurs. De plus, il a été constaté qu'une conduite reliant la zone d'Amiar au centre de l'ADE assure à la fois le refoulement et la distribution, ce qui représente une configuration défavorable sur le plan technique. Ces constats mettent en évidence la nécessité d'interventions ciblées pour améliorer l'efficacité et la fiabilité du réseau.

Les mots clés : Réseaux d'alimentation en eau potable, Modélisation hydraulique, simulation hydraulique, Système d'Information Géographique (SIG), WaterCAD.

Abstract:

Water resource management is one of the greatest challenges facing Algeria, due to water stress caused by its semi-arid climate and continuous population growth. This study aims to diagnose the current state of the drinking water distribution network and to highlight various malfunctions such as frequent supply interruptions and pressure fluctuations. To achieve this, Geographic Information Systems (GIS) were used to collect and organize spatial data, along with WaterCAD software to simulate and optimize the network's performance. The results revealed several irregularities: very low pressures in certain high-altitude zones, excessive pressures in others, flow velocities below 0.5 m/s in many sections (fostering sediment accumulation) as well as hydraulic imbalances between sectors. Additionally, it was observed that a pipeline connecting the Amiar area to the ADE center simultaneously ensures both pumping and distribution, which represents a hydraulically inefficient configuration. These findings highlight the need for targeted interventions to improve the efficiency and reliability of the network.

Keywords: Drinking Water Supply Networks; Hydraulic Modeling; hydraulic Simulation; Geographic Information System (GIS); WaterCAD.

Table des matières

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : *Étude bibliographique*

Introduction 4

I.1/ Réseau d'alimentation en eau potable 4

I.1.1/ Description d'un réseau d'AEP 4

I.1.2/ Les élément spécifiques d'un système d'AEP 5

I.1.3/ La nature de canalisation 15

I.1.4/ Le dysfonctionnement des réseaux d'AEP 18

I.1.5/ Causes de dysfonctionnement des réseaux d'alimentation en eau potable 21

I.1.6/ Symptômes de dysfonctionnement des réseaux d'alimentation en eau potable 22

I.1.7/ Les logiciels de modélisation des réseaux d'AEP 22

I.2/ Amélioration des réseaux d'AEP 23

Conclusion 27

CHAPITRE II : *Présentation de la zone d'étude*

Introduction 31

II.1/ Le réseau d'AEP en Algérie 31

II.2/ Situation géographique 32

II.3/ Situation administrative 32

II.4/ Situation topographique 33

II.5/ Situation géologique 33

II.6/ Situation climatique 34
II.6.1/ Pluviométrie 34
II.6.2/ Température 35
II.6.3/ Évaporation 35
II.6.4/ Vent 35
II.7/ Situation démographique 36
II.8/ Situation hydraulique 36
Conclusion 47

CHAPITRE III : *Matériels et méthodes*

Introduction 48
III.1/ Collecte des données 48
III.2/ Les outils de traitement des données 48
III.2.1/ Présentation du SIG 48
III.2.2/ Composant du SIG 49
III.2.3/ La structure du SIG 51
III.3/ Utilisation des SIG pour l'étude du réseau d'AEP de Boufarik 51
III.3.1/ Le réseau 51
III.3.2/ Les conduites 52
III.3.3/ Les nœuds 53
III.3.5/ Forages 54
III.4/ Le modèle WaterCAD 55
III.4.1/ Présentation du modèle 55
III.4.2/ Les outils d'importation des données 56
III.4.3/ Principales caractéristiques de WaterCad 57
III.5/ Buts de la modélisation du réseau d'AEP sur ArcGIS - WaterCAD 57
Conclusion 58

CHAPITRE IV : *Résultats et interprétation des données*

Introduction 60

IV.1/ Les données nécessaires à la construction du modèle 60

IV.2/ Modélisation hydraulique sur WaterCAD 61

IV.3.1/ Nœuds du réseau 62

IV.3.2/ Tronçons 63

IV.3.3/ Réservoirs 65

IV.4/ Simulation hydraulique du réseau d'AEP 66

IV.4.1/ Pression dans les nœuds 66

IV.4.2/ Débit dans les conduites 68

IV.4.3/ Les pertes de charge (Hazen-Williams) 70

IV.5/ Analyse des profils en long du réseau hydraulique 72

a/ le profil en long (l'axe Est-Ouest) 72

b/ le profil en long (Nord-Sud) 72

IV.6/ Recommandations pour l'amélioration du réseau AEP de Boufarik 75

Conclusion 76

Conclusion générale 77

Liste des tableaux

Tableau II. 1: Précipitations moyennes mensuelles (1990-2020). 34
Tableau II. 2: Répartition mensuelle de la température de la Mitidja Orientale (1980-2010). 35
Tableau II. 3: Répartition mensuelle de l'évaporation. 35
Tableau II. 4: Répartition mencuelle de la vitesse des vents 36
Tableau II. 5: Les différents débits mobilisé par les forages du champ de captage « Chebli » 37
Tableau II. 6: Les différents débits mobilisé par les forages du champ de captage« Brissonier » 37
Tableau II. 7:Les différents débits mobilisés par les forages de « Boufarik » 38
Tableau II. 8: Coordonnées et niveaux du réservoir 1000 m^3 « Amiar ». 40
Tableau II. 9: Coordonnées du château d'eau 5000 m3 de Brisonnier 42
Tableau II. 10: Coordonnées et niveaux du château d'eau 1500 m3 (Centre ADE) 43
Tableau II. 11: Adductions existants tertiaires 44

Tableau IV. 1: Les caractéristiques extraites des nœuds dans WaterCAD. 63
Tableau IV. 2: Caractéristiques géométriques et hydraulique des réservoirs d'eau. 66
Tableau IV. 3: Résultats hydrauliques extraits du modèle WaterCAD. 71

Liste des figures

Figure I. 1: Schéma d'alimentation en eau potable 5
Figure I. 2: Captage direct de l'eau à partir d'une source 6
Figure I. 3: Captage direct de l'eau par un forage 6
Figure I. 4: La prise d'eau à partir du fond du lit 9
Figure I. 5: Prise sur berge 9
Figure I. 6: schéma de traitement 11
Figure I. 7: Réseaux ramifiés 14
Figure I. 8: Réseaux maillés 14
Figure I. 9: Réseaux étagés 15
Figure I. 10 : Canalisation en Acier 16
Figure I. 11 : Canalisation en Béton Armé 16
Figure I. 13 : Canalisation en Fonte Ductile 17
Figure I. 12 : Canalisation en PEHD 17
Figure I. 14 : Canalisation en PVC. 17
Figure I. 15 : Différents types de rupture des conduites 19

Figure II. 1: Délimitation de la zone d'étude 33
Figure II. 2: Photo des équipements de la station de pompage de Chebli. 39
Figure II. 3: Photo des équipements de la station de pompage du centre ADE 40
Figure II. 4: Photos de château d'eau 1000 m3 d'Amiar 41
Figure II. 5: Photo de l'extérieur du château d'eau CH5000 m^3 de Brisonnier 42
Figure II. 6: Photo de l'extérieur et intérieur du château d'eau 1500 m^3 43
Figure II. 7: Schéma vertical des principales adductions existantes de la ville de Boufarik 45
Figure II. 8: Limites des secteurs de distribution de la ville de Boufarik 46

Figure III. 1: Cartographie du réseau d'AEP de Boufarik. 52
Figure III. 2: La table attributaire des conduites. 53
Figure III. 3: La table attributaire des nœuds. 53
Figure III. 4: La table attributaire des réservoirs de Boufarik. 54
Figure III. 5: La table attributaire des forages de Boufarik. 54

Figure IV. 1: Schéma du réseau de distribution. 62
Figure IV. 2: Conduites à faible vitesse d'écoulement représentées dans le modèle WaterCAD. 64
Figure IV. 3: Représentation de conduite d'injection directe. 65
Figure IV. 4: Variation des pressions aux nœuds. 68
Figure IV. 5: Le profil en long (l'axe Est-Ouest). 73
Figure IV. 6: Le profil en long (Nord-Sud) 74
Figure IV. 7: La conduite reliant le château d'Amiar au centre de l'ADE au réseau. 75

Liste des abréviations

AC : Acier

AEP : alimentation en eau potable.

AM/C : Amiante de ciment

ANRH : agence nationale des ressources hydrauliques.

DN: diameter nominal

DRE : direction des ressources en eau.

GPS : système de position global.

HGL : ligne de charge hydraulique.

Int : initial.

Km/h : kilomètre par Heure.

Kp: coefficient de pointe

L/s : litre par seconde.

M : mètre.

Max : maximum.

Min : minimum.

Mm : millimètre.

Moy : moyen.

MRE : Ministère des Ressources en Eau

NGA : agence nationale de renseignement géospatial.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : la population

PE : polyéthylène

PEHD : polyéthylène haute densité.

PRV : vannes de réduction de pression.

PVC : polychlorure de vinyle

Q : débit de pointe

Qs : débit spécifique

Q_t : le débit de chaque tronçon

RN : Route nationale.

SIG : Système d'Information Géographique.

UTM : système de projection Universelle Transverse de Mercator.

Introduction générale

L'eau est un élément essentiel et fondamental pour la continuité de la vie sur Terre, elle représente l'une des pierres angulaires des écosystèmes et joue un rôle central dans les secteurs vitaux, que ce soit en agriculture, qui consomme la majeure partie des ressources en eau, en industrie, nécessitant des quantités importantes d'eau pour ses processus de production, et surtout les usages domestiques indispensables à la santé, à l'hygiène et à la qualité de vie. (Sidibe & Yaye Arbi, 2017)

L'eau est une ressource naturelle renouvelable, mais sa disponibilité n'est pas toujours garantie. (Merabet & Radhia, 2021) Elle est caractérisée par une répartition inégale en quantité et en qualité à travers le monde, et subit des pressions croissantes dues à la croissance démographique rapide, à l'urbanisation, aux changements climatiques ainsi qu'à une mauvaise gestion. (Boulfous, Boulcherab & Tebbouche, 2018) Tous ces facteurs aggravent les crises hydriques dans de plusieurs régions, et menaçant la sécurité hydrique à court et long terme. (Sidibe & Yaye Arbi, 2017). La gestion durable de l'eau est devenue l'un des plus grands défis des sociétés contemporaines, nécessitant des solutions assurant une distribution équitable, une utilisation efficiente et un approvisionnement continu en eau potable. (Merabet & Radhia, 2021)

L'Algérie est confrontée à de sérieux défis en matière de ressources en eau, en raison de sa localisation géographique dans une zone aride et semi-aride, ce qui rend le climat peu favorable à la disponibilité de grandes quantités d'eau douce. Selon les rapports internationaux, la disponibilité en eau par habitant est inférieure au seuil mondial de rareté, plaçant le pays en situation de "stress hydrique". Cette situation est aggravée par la répartition géographique inégale des ressources, concentrées principalement dans le nord, mais en raison de l'expansion urbaine et de la croissance démographique des grandes villes. De plus, les facteurs climatiques tels que la faible pluviométrie et l'augmentation des températures ont contribué à la diminution des ressources naturelles en eau. (Kherbache, 2014 ; Sidibe & Yaye Arbi, 2017)

Malgré les efforts déployés par l'État algérien, notamment par la construction de barrages, la désalinisation de l'eau de mer et l'exploitation des nappes phréatiques, la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP) présente encore plusieurs insuffisances. Parmi les principaux problèmes figurent la vétusté des infrastructures, les pertes d'eau importantes dues

aux fuites, les fluctuations de pression ainsi que la couverture incomplète, notamment dans les nouveaux quartiers et les zones en altitude. (Bouteldja & Mouhous, 2021 ; Kacimi El Hasssani, 2020) Par conséquent, il est devenu indispensable d'adopter des outils numériques et technologiques modernes pour améliorer l'efficacité, la surveillance et la restructuration des réseaux, afin d'assurer un service continu et de qualité aux citoyens.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'études vise à contribuer à la recherche de solutions techniques concrètes, à travers la modélisation hydraulique du réseau d'alimentation en eau potable de la commune de Boufarik, située dans la wilaya de Blida. Boufarik est une zone urbaine en pleine expansion, caractérisée par une forte densité de population et un développement urbain rapide, ce qui exerce une pression importante sur le réseau d'eau existant, construit à une époque où les besoins étaient moindres.

Dans cette région, plusieurs problèmes opérationnels ont été constatés sur le terrain, notamment un approvisionnement irrégulier, des fluctuations de pression et des coupures fréquentes, affectant le quotidien des habitants. Ainsi, l'objectif principal de cette étude est d'analyser précisément l'état actuel du réseau d'AEP, d'identifier les points faibles ou dysfonctionnements, et de proposer une conception améliorée capable de répondre aux besoins présents et futurs, assurant un approvisionnement continu et équitable en eau.

Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie combinée a été adoptée, reposant d'une part sur le Système d'Information Géographique (SIG) qui permet de collecter, organiser et visualiser les données spatiales et techniques du réseau, et d'autre part sur le logiciel WaterCAD, un outil puissant de modélisation et de simulation hydraulique, permettant de réaliser des analyses précises, de détecter les problèmes de pression et de débit, et de simuler des scénarios d'optimisation. Par cette approche intégrée, nous visons à fournir une base technique solide contribuant à une gestion rationnelle et durable du réseau d'alimentation en eau potable de la commune de Boufarik, tout en soutenant la prise de décisions futures dans les domaines de la planification urbaine et hydraulique.

En vue d'atteindre ce but, Le projet s'articule autour de quatre chapitres qui retracent toutes les étapes de l'élaboration de l'étude, depuis la collecte des données jusqu'à la modélisation et l'analyse des résultats.

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les réseaux d'AEP, en exposant un ensemble d'études nationales et internationales afin de comprendre les différentes approches de gestion de ces réseaux, les problèmes rencontrés ainsi que les solutions proposées.

Le deuxième chapitre fournit une présentation de la zone d'étude en abordant les différents aspects : géographique, administratif, topographique, géologique, démographique, climatique et hydraulique.

Le troisième chapitre présente les logiciels SIG et WaterCAD. Il consiste en une analyse du réseau d'AEP dans son état actuel, en détaillant les différentes étapes : de la collecte de données, la simulation hydraulique, jusqu'à l'affichage des résultats finaux.

Le dernier chapitre clôture le présent travail, en mettant en évidence les résultats trouvés, qui consistent à mettre en place des mesures et des politiques permettant de promouvoir une gestion efficace et durable de l'eau, afin de répondre aux besoins présents et futurs de la région en matière de ressources hydriques.

CHAPITRE I :

Étude bibliographique

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire une étude bibliographique sur le réseau d'AEP, et afin de pouvoir avancer dans l'analyse nous présentons certaines notions relatives à la modélisation hydraulique, les logiciels de modélisation et aux Systèmes d'Information Géographique que nous utilisons dans les chapitres suivants.

I.1/ Réseau d'alimentation en eau potable

I.1.1/ Description d'un réseau d'AEP

L'alimentation en eau potable comprend le transport, la bonne gestion et la distribution de l'eau potable aux consommateurs et répondre aux besoins d'une façon fiable et durable (en quantité et qualité suffisantes).

Le réseau d'eau potable est un ensemble d'ouvrages hydraulique, d'installations, d'appareillages et des organes interconnectés qui permettent de véhiculer l'eau potable depuis la source jusqu'aux abonnés, tels que le captage d'eau, le traitement pour garantir sa qualité, le pompage pour maintenir la pression, les réservoirs pour stocker l'eau, et en passant par les conduites de transport jusqu'au consommateur pour assurer l'alimentation de la ville à partir de ces réservoirs. (Bouteldja & Mouhous, 2021) ; (Derras & Djedaini, 2019) ; (Benzineb & Wendpouire, 2018) ; (Tembe & Rafael, 2022)

Pour garantir une bonne exploitation et un bon entretien de ce dernier. Le réseau peut comporter :

- Réservoir(s) ;
- Conduites de différents diamètres et natures ;
- Accessoires et pièces spéciales : Vannes, Té, Coudes, Cônes de réduction, ventouses, … ;
- Branchements ;
- Ouvrages annexes (regards, bouches à clé etc…). (Bousalaa & Benbekhti, 2018)

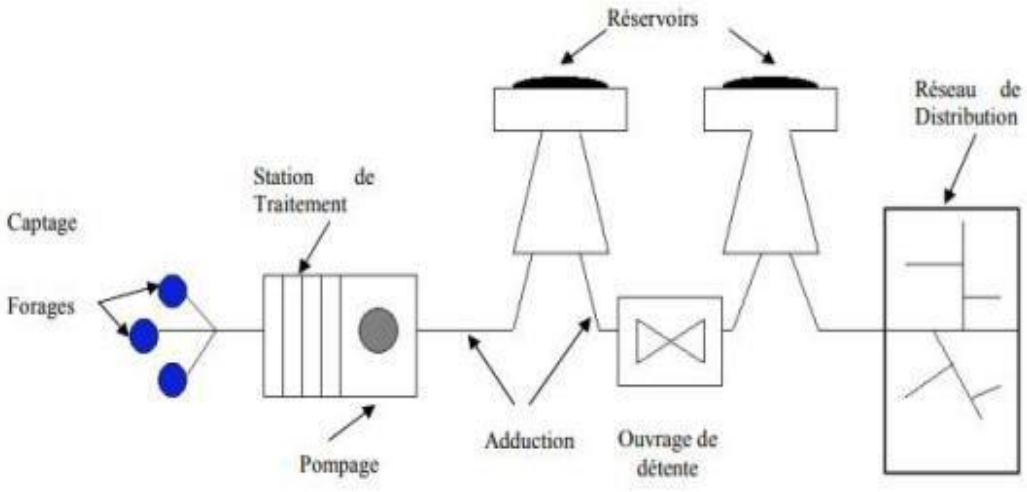

Figure I. 1: Schéma d'alimentation en eau potable. *(Benzineb & Wendpouire, 2018)*

I.1.2/ Les élément spécifiques d'un système d'AEP

I.1.2.1/ Le captage

C'est l'ensemble des ouvrages qui permettent de capter de l'eau (au niveau de la ressource en eau) en vue de l'alimentation (Derras & Djedaini, 2019). On recherche toujours la meilleure qualité disponible et ce, en fonction du cout de revient. L'eau destinée au consommateur doit être salubre (saine et qui contribue à la sante) et potable (soit propre à être bue, fraiche, incolore, inodore, aérée, légèrement minéralisée et exempte des matières organiques. (Hartem, 2020)

On peut classer les sources d'approvisionnement :

- Les eaux souterraines (aquifère, nappes phréatiques profondes).
- Les eaux de surfaces captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves). (Benmessaoud & Meroune, 2020)

a. Les eaux souterraines

En l'absence d'eau de surface en quantité suffisante et de qualité acceptable, on doit tenter d'utiliser les eaux souterraines. (Hartem, 2020)

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 (Cherif, 2015). L'eau souterraine est pompée à partir de vastes nappes d'eau souterraine, via des puits ou forage. Ces eaux sont captées soit :

- À leurs sources (Figure I.2).
- Au cœur même de la nappe (Figure I.3).

- Dans le gisement pour les eaux circulant en terrains fissurés. (Atba, 2013)

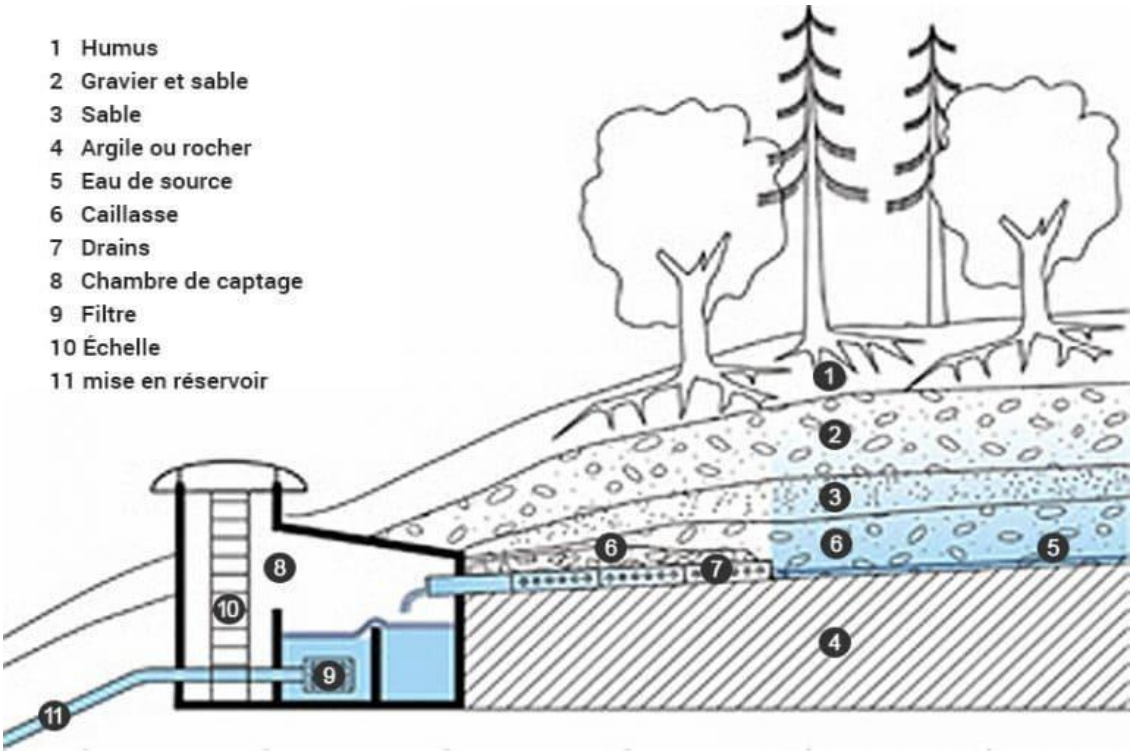

Figure I. 2: Captage direct de l'eau à partir d'une source. [1]

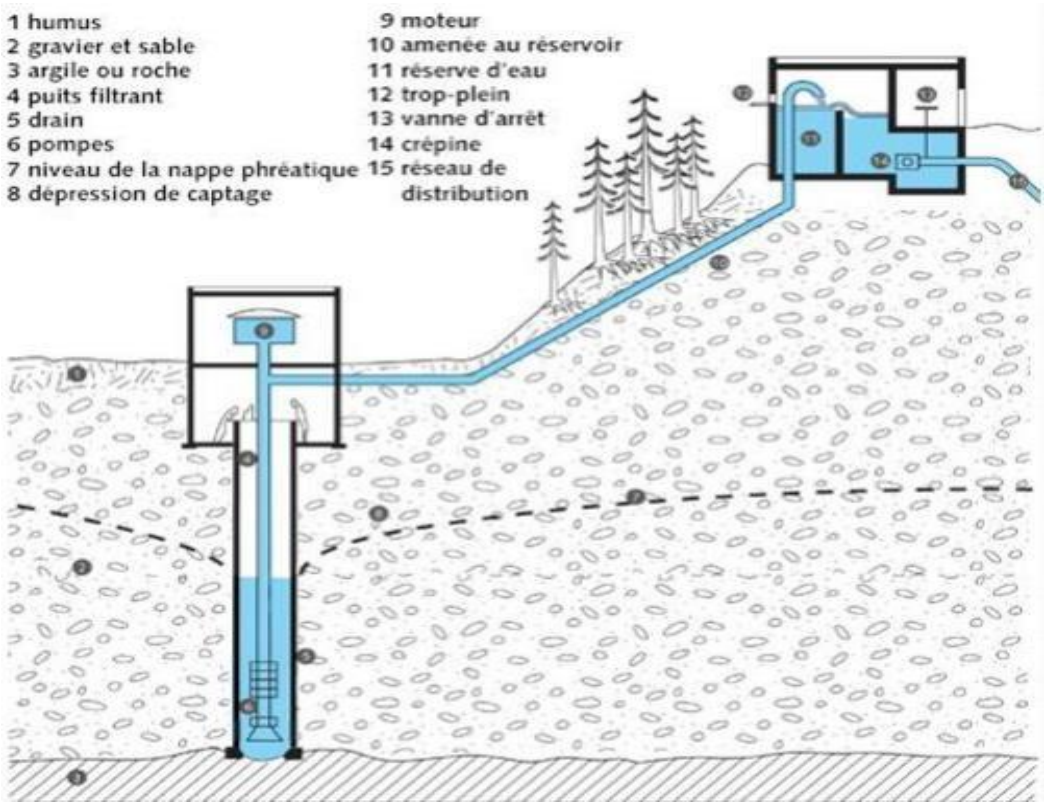

Figure I. 3: Captage direct de l'eau par un forage. (Chemidi & Kaddour, 2016)

Parfois, on sera amené à capter les eaux circulant à grande profondeur. Les procédés de captage varient selon la configuration du site (Chemidi & Kaddour, 2016). Cependant, il est nécessaire de respecter le principe de prélever l'eau à partir d'un endroit éloigné du site géologique et de la collecter de manière à éviter toute contamination lors de la remontée de l'eau, surtout lorsqu'elle est proche de la surface.

Les eaux souterraines sont généralement claires, mais leurs propriétés physico-chimiques varient d'un endroit à l'autre, on doit, dans chaque cas, faire une étude pour déterminer quel traitement sera nécessaire pour rendre l'eau potable. (Hartem, 2020)

a.1/L'aquifère

Un aquifère et un corps de roche perméable comportant une zone saturée (Chemidi & Kaddour, 2016), il peut à la fois stocker et véhiculer de l'eau avec une vitesse suffisante pour permettre le captage de quantités d'eau appréciables appelée **Nappe souterraine.** (Hartem, 2020)

a.2/Nappe souterraine

Une nappe souterraine est l'ensemble des eaux souterraines contenus dans l'aquifère dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

On distingue :

- **Exploitation des nappes phréatiques**

Les nappes phréatiques (ou nappes de surface) alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus (Lakhal, 2021), du fait de leur existence très proche de la surface terrestre (profondeur inférieure à 50 mètres), sont généralement caractérisées par une eau à la pression atmosphérique : l'eau est en contact avec l'atmosphère à travers les grains des couches supérieures perméables (généralement sableuses). L'exploitation de ces nappes se fait généralement à l'aide de puits : ouvrages de 3 à 5 mètres de diamètre et de profondeur allant jusqu'à 30 mètres. (Atba, 2013)

- **Exploitation des nappes profondes**

Les nappes profondes (ou captives), en raison de leur grande profondeur (allant jusqu'à 2500 mètres) (Hartem, 2020), sont séparées de la surface par une couche imperméable (Lakhal, 2021), et généralement caractérisées par une eau à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Ainsi, l'eau de ces nappes peut éventuellement s'écouler d'elle-même et atteindre la surface sans aucun pompage (Atba, 2013). La nature du sol où se trouve cette eau détermine sa composition

chimique (Lakhal, 2021), L'exploitation de ces nappes se fait généralement à l'aide de forages tubés de faible diamètre (soit environ de 25 et 34 centimètres) (Hartem, 2020). Les forages sont entièrement exécutés à partir de la surface par des foreuses : par percussion (battage) ou rotation, à sec ou avec injection de l'eau ou de la boue pour faciliter le forage. (Atba, 2013)

b. Les eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulation ou stockées à la surface des continents (Lakhal, 2021). L'eau destinée à être traitée puis distribuée dans les réseaux publics peut être prélevée par prise d'eau dans les rivières, dans des retenues d'eau, ou dans des lacs. (Chemidi & Kaddour, 2016)

La qualité de l'eau de surface est moindre que celle des eaux souterraines. En effet, elles sont soumises à la possibilité d'une dégradation naturelle causée par :

- Le transport solide.
- Les minéraux dissous, bien que l'eau soit moins dure que les eaux souterraines.
- La matière organique naturelle. (Hartem, 2020)

Lorsque la source d'eau est une rivière, la qualité est en général meilleure à l'amont que l'aval. À l'amont, l'eau peut être plus turbide ce qui est facile à contrôler en raison de l'origine minérale de cette turbidité (Hartem, 2020). La prise d'eau ne doit se faire qu'après avoir une connaissance maximale des informations relatives aux régimes d'écoulement des eaux et aux débits. (Chemidi & Kaddour, 2016)

En lac ou réservoir, la turbidité est faible car la décantation y est favorisée. Par contre la possibilité de stratification thermique, chimique et biologique rend la qualité variable sur un cycle annuel. (Hartem, 2020)

Une prise d'eau de surface représente une structure qui permet de capter l'eau naturelle (l'eau brute) du lac ou rivière dans laquelle on a émergée le dispositif de captage (pompe de captage).

On doit :

- Éviter de la placer en aval d'un émissaire d'égout
- L'installer là où l'eau brute est de la meilleure qualité possible.
- La prise d'eau peut être effectuée soit :

- Dans le fond du lit (Figure I.4), après dragage et remplissage avec de gros graviers autour de la crépine d'aspiration.

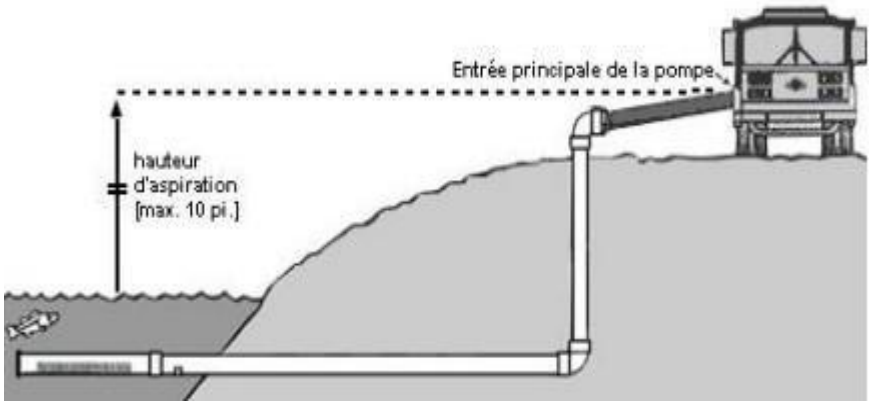

Figure I. 4: La prise d'eau à partir du fond du lit. (Atba, 2013)

- Sur la berge (Figure I.5), à une profondeur convenable, dans le but d'éviter d'une part, l'influence de la sédimentation du fond du lit, et d'autre part, la présence éventuelle d'hydrocarbures ou de mousses à la surface de l'eau. (Atba, 2013)

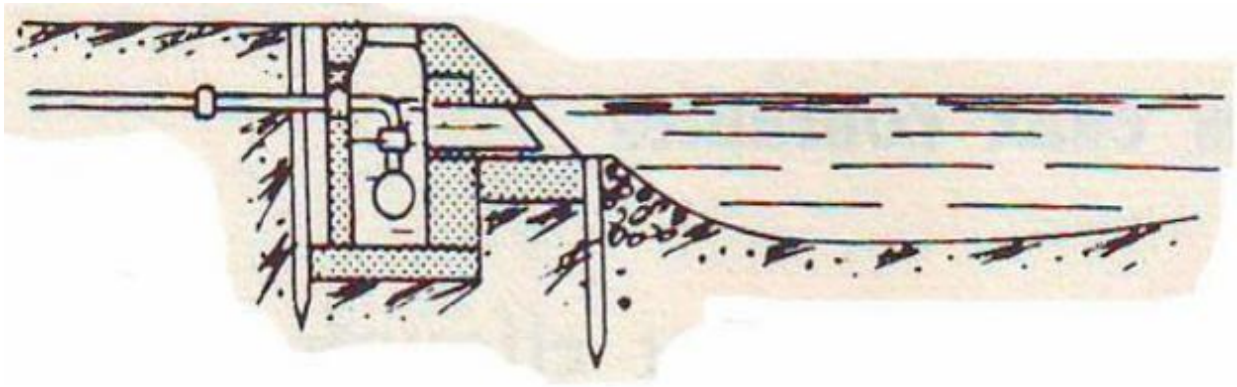

Figure I. 5: Prise sur berge. (Chemidi & Kaddour, 2016)

- La quantité disponible est variable ou constante selon le cycle hydrologique en fonction du débit que l'on veut prélever. (Hartem, 2020)

I.1.2.2/ Le traitement

Les eaux captées dans la nature, exactement les eaux de surface (lacs et rivières), ne présentent pas les qualités physiques, chimiques et biologiques désirables pour la consommation, pour rendre ces eaux potables (Boukhari & Bacha, 2018), les traitements nécessaires doivent être sont réalisés dans des stations de production d'eau potable qui n'effectuent pas toutes le même travail. (Harrat, 2020)

L'eau à traiter doit donc être constamment analysée, puisque son traitement doit être adapté à sa composition (Boukhari & Bacha, 2018). Ainsi, si l'eau souterraine de bonne qualité, la désinfection seule peut produire une eau potable répondant aux normes en vigueur, par contre, l'eau des lacs ou des rivières nécessite un traitement plus approfondi (Chemidi & Kaddour, 2016). Mais pour les eaux de surface, avant son captage, une étude aussi complète que possible devrait être réalisée à différents moments de l'année avant la collecte. Tout d'abord, vérifiez la composition de l'eau en termes de turbidité, de pouvoir colmatant, de teneur en eau, de pH et de teneur en matières organiques. (Hartem, 2020)

Les eaux de surfaces sont généralement rendues potables grâce aux procédés suivants :

- Pré chloration : Cette étape consiste à ajouter des produits tel que : le chlore gazeux (Cl_2) ($3g/m^3$), l'ozone (O_3), le dioxyde de chlore (Clo_2) … dans l'eau brute pour pouvoir :

  - Réduire la concentration des micro-organismes.
  - Oxydé la matière organique contenue dans l'eau.

- Tamisage : C'est un procédé destiné à faire passer l'eau brute chargée à travers un treillis métallique ou des fibres, ou-bien à travers une membrane poreuse. Lors du passage de l'eau, certains polluants solides sont soit directement bloqués par les mailles du micro-tamis, soit indirectement bloqués par les matières solides accumulées sur le micro-tamis.

- Coagulation : Les particules colloïdales telles que les argiles responsables de la turbidité et provient de l'érosion du sol ont la particularité d'être chargé négativement et se repose en suspension dans l'eau. Le but de la coagulation est de neutraliser la charge électrostatique négative de ses particules favorisant ainsi leur agglomération. Cette opération se fait par injection et dispersion de coagulant tel que les sulfates d'alumine $Al_2(So_4)_3$, les sulfates de cuivre $CuSo_4$.

- Floculation : C'est la phase finale de la coagulation. Elle consiste en un agrandissement des flocs par l'ajout d'un floculant tel que le charbon actif qui favorise le contact des particules les unes les autres.
- Décantation : C'est une opération de séparation solide-liquide sous l'action de la pesanteur.
- Filtration : sur sable.
- Désinfection : Ce procédé a pour but :

- Détruire les populations microbiennes contenues dans l'eau.

- Empêcher la formation d'éventuel microbe où-bien bactéries nuisibles à la sortie. (Atba, 2013) ; (Lakhal, 2021)

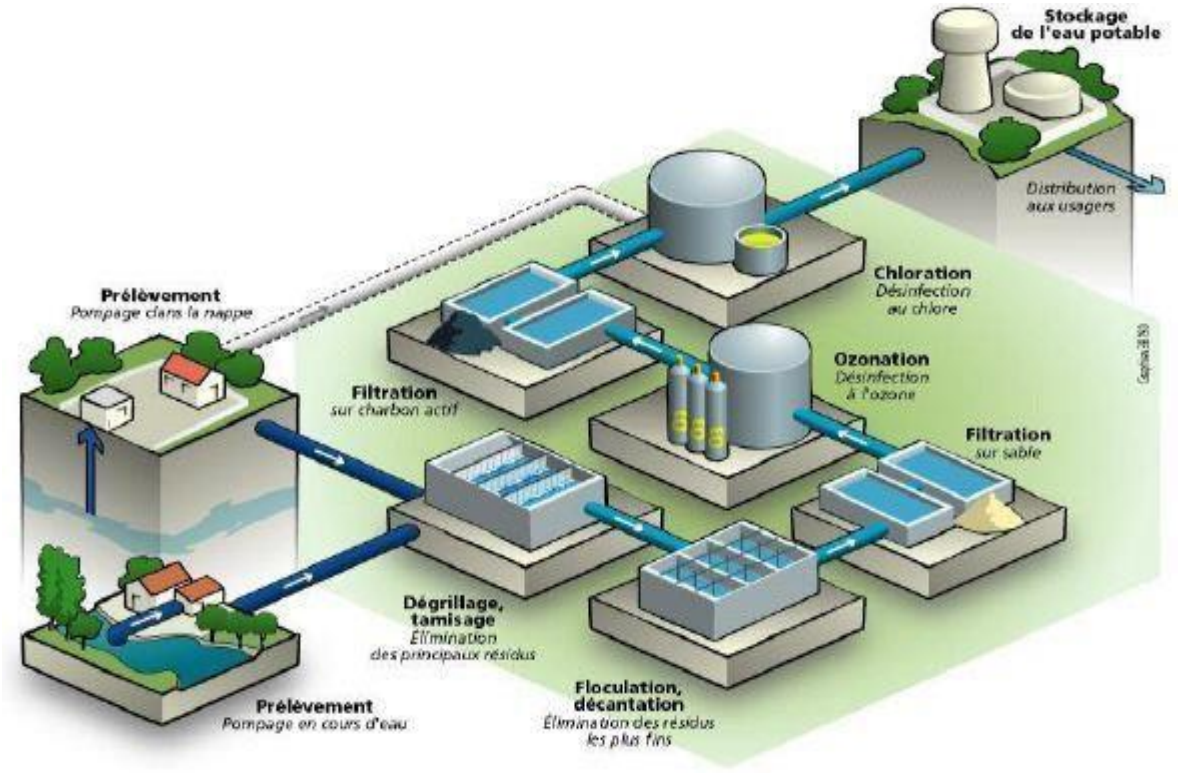

Figure I. 6: schéma de traitement. *(Gasmi, 2024)*

I.1.2.3/ Adduction

L'adduction d'eau désigne l'ensemble des techniques permettant d'acheminer l'eau depuis sa source jusqu'aux lieux de consommation à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages architecturaux. La conduite d'adduction relie la prise d'eau au réservoir de stockage, avec un grand diamètre pour transporter un débit important, et doit être accompagnée de dispositifs pour gérer la pression et le relief.

L'adduction assure ainsi le transfert des eaux entre la source, la station de traitement et le réservoir. Le captage des eaux peut se faire à partir des eaux de surface (barrages, rivières, lacs) ou des nappes souterraines.

L'adduction comprend plusieurs éléments : la source, le réseau de transport, le stockage et enfin la distribution vers les consommateurs. Les ouvrages d'adduction sont conçus pour transporter l'eau brute depuis des sites éloignés jusqu'aux zones d'utilisation, sous forme de canaux ouverts ou de conduites fermées, et ne font pas partie du réseau de distribution. (Savane et al, 2012)

- **Types d'adductions**

a. Adduction gravitaire

L'eau s'écoule naturellement grâce à la gravité en raison de la différence d'altitude entre la source et le point de consommation, sans nécessiter d'énergie supplémentaire. Elle peut être réalisée avec des aqueducs ou des conduites forcées. Un bassin intermédiaire peut être utilisé pour stocker l'eau avant de l'acheminer par gravité. (Madouni, 2013) ; (Attachi & Guerradi, 2019)

b. Adduction par refoulement

Utilisée lorsque la source est plus basse que le point de consommation, l'eau est pompée à travers des conduites. Le diamètre des conduites est crucial pour minimiser les pertes de charge et les coûts énergétiques. Un diamètre trop petit entraîne des pertes, tandis qu'un diamètre plus grand augmente les coûts d'investissement. (Madouni, 2013) ; (Atba, 2013)

c. Adduction mixte

Combine les deux systèmes : l'eau est d'abord pompée vers un réservoir tampon, puis s'écoule par gravité vers le point de consommation. Cela permet d'adapter le réseau selon le relief et les contraintes techniques, assurant une gestion optimale de l'acheminement de l'eau. (Atba, 2013) ; (Attachi & Guerradi, 2019)

I.1.2.4/ Stockage

Le stockage se fait dans le réservoir, alors c'est un organe qui nous permet de stocker l'eau potable et la réutiliser à n'importe quel moment, c'est un régulateur de pression et de débit sert à harmoniser la demande (variable) et la production (constante), et ça permet de mieux gérer l'eau.

Le réservoir doit être situé à un niveau supérieur à celui de l'agglomération, soit à extrémité du réseau ou à proximité, il va s'alimenter à l'aide de pompes, afin que L'alimentation du réseau de distribution doive se faire par gravité. Le volume d'eau généralement associé à la réserve d'équilibre correspond à environ 20 % du volume d'eau consommée au cours de la journée de consommation moyenne. Une telle réserve permet également de faire face aux demandes exceptionnelles en cas d'incendie.

Il est préférable d'avoir recours au réservoir enterré, semi enterré ou au plus en élévation au-dessus du sol avec radier légèrement enterré. Le choix du réservoir dépend des conditions topographiques, géotechniques, hydrauliques, économiques. (Madouni, 2013) ; (Savane, 2012) ; (Imamouine, 2024)

- **Équipements du réservoir**

Le réservoir doit être équipé :

1. D'une conduite d'arrivée ou d'alimentation ;
2. Une conduite de départ ou de distribution ;
3. Une conduite de vidange ;
4. Une conduite de trop-plein ;
5. Système de matérialisation de la consigne d'incendie ;
6. Conduite by-pass.

Ils permettent :

- Stockage de l'eau et Tampons en même temps
- Assurer la sécurité de distribution en cas d'interruption d'adduction.
- Satisfaire les conditions de pression en tout point du réseau de distribution.
- Réducteur des dépenses d'énergie
- Milieu où on peut accumuler et traiter l'eau à l'aide de chlore.

I.1.2.5/ La distribution

Le réseau de distribution d'eau potable est un ensemble de conduites interconnectées sous pression, accompagné d'accessoires tels que les vannes et les compteurs pour assurer son bon fonctionnement et son entretien efficace (Bouteldja & Mouhous, 2021). Après l'évaluation des besoins des habitants, le choix du réseau approprié est effectué afin de garantir un débit et une pression adéquats (Atba, 2013). Il doit également assurer un approvisionnement en eau stable et sécurisé, en respectant les normes sanitaires internationales, à travers plusieurs étapes : captage, traitement, transport et distribution. (Gasmi, 2024)

Un réseau de distribution est un ensemble cohérent de :

- Réservoirs d'équipements hydrauliques ;
- Conduites de transfert ou feeders ;
- Conduites de distribution ;
- Conduites de branchements ;
- Points de livraison ;
- Tous les appareils de robinetterie et de régulation nécessaires. (Mosteghanemi & Taleb, 2017)

a/ Les réseaux ramifiés

Le réseau ramifié à une structure arborescente, se divise sans former de boucles alors la circulation est dans un seul sens. (Derras & Djedaini, 2019)

Ce type de réseau de distribution est utilisé généralement dans les milieux ruraux (Bouizem & Boudaoud, 2019). Il est économique et limite la stagnation de l'eau (Bensalah & Bensalah, 2020), mais son inconvénient principal c'est un problème de sécurité (fiabilité), une panne sur une conduite prive toute la partie aval à partir de ce point. (Atba, 2013) ; (Derras & Djedaini, 2019)

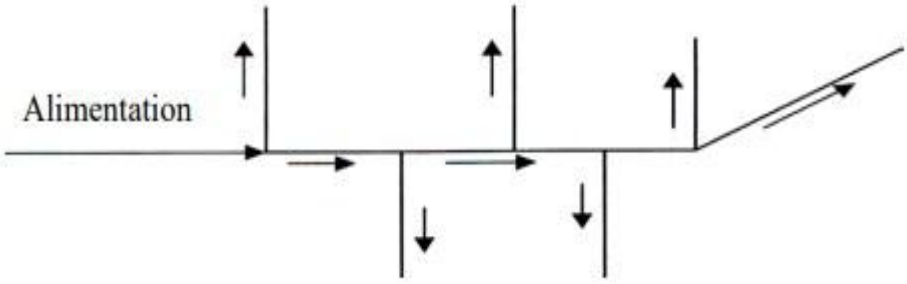

Figure I. 7: Réseaux ramifiés. (Berrezel & Benabdelkrim, 2017)

b/ Les réseaux maillés

Les réseaux maillés sont plus adaptés aux grandes agglomérations grâce à leur sécurité et flexibilité (Atba, 2013). Ils comportant un ensemble des boucles fermées (Bouizem & Boudaoud, 2019), ce qui permet une alimentation de retour en cas d'une rupture de conduites et alors réduit les risques de coupure et assurer la distribution en eau potable. (Benzineb & Wendpouire, 2018)

Leur coût est plus élevé et ils peuvent entraîner de la stagnation dans certaines conduites, augmentant ainsi le risque de prolifération bactérienne. (Bensalah & Bensalah, 2020)

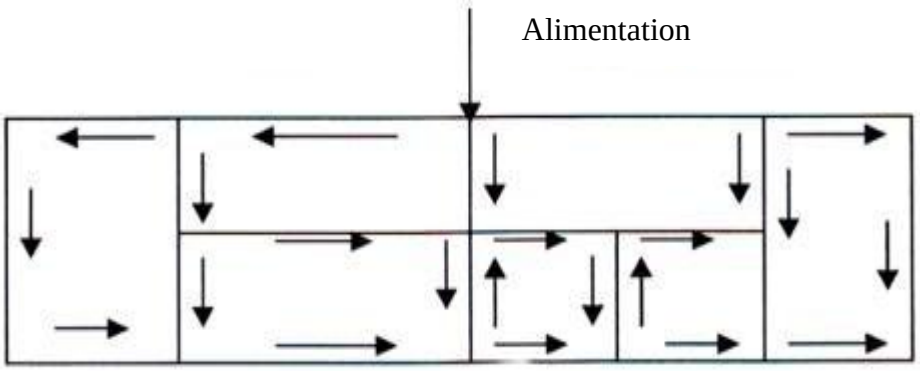

Figure I. 8: Réseaux maillés. (Berrezel & Benabdelkrim, 2017)

c/ Réseau étagé

Le réseau de distribution étagé est utilisé pour les agglomérations avec de fortes différences de niveaux afin de réguler la pression et éviter les problèmes liés aux fortes pressions (Derras & Djedaini, 2019) ; (Atba, 2013). Un réservoir intermédiaire peut être installé pour stabiliser la pression, et dans certains cas, des réseaux indépendants à pression limitée peuvent être mis en place selon la topographie du terrain. (Atba, 2013) ; (Chemidi & Kaddour, 2016)

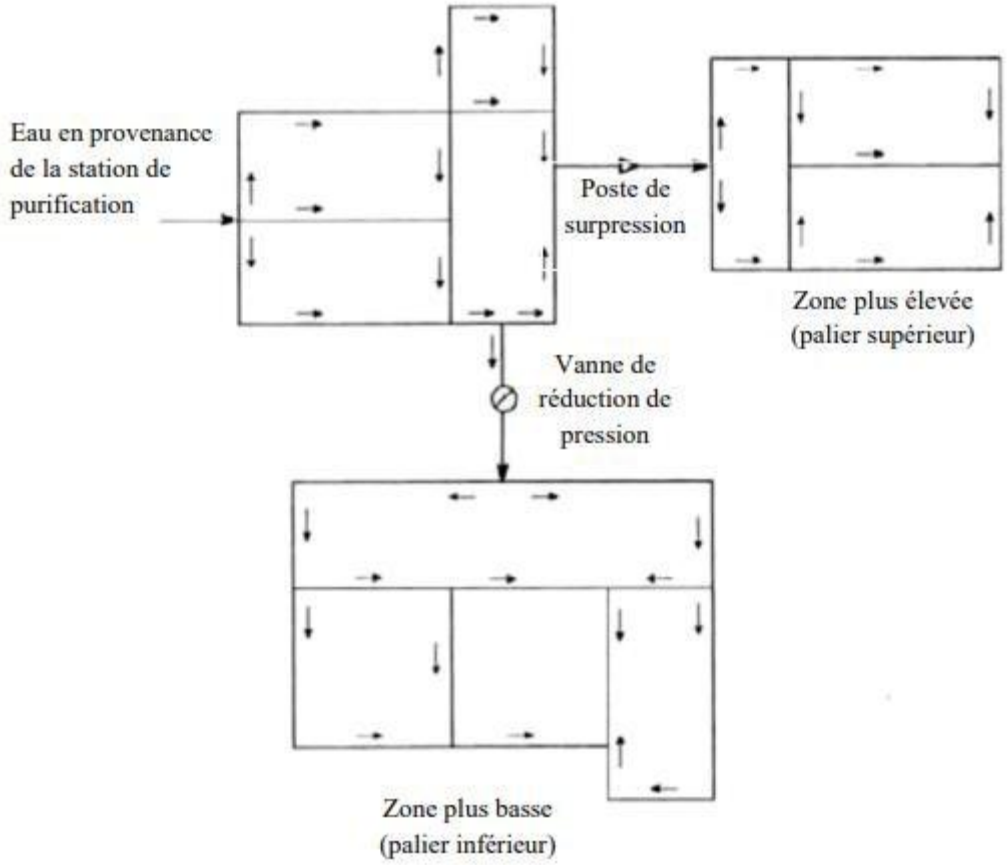

Figure I. 9: Réseaux étagés. *(Berrezel & Benabdelkrim, 2017)*

d/ Réseau mixte

Le réseau mixte est un mélange du réseau maillé et du réseau radial (Bensalah & Bensalah, 2020), utilisé pour couvrir efficacement une zone de distribution (Benzineb & Wendpouire, 2018). Le réseau maillé est utilisé dans le centre-ville, tandis que les ramifications desservent les zones périphériques. (Bouizem & Boudaoud, 2019)

I.1.3/ La nature de canalisation

Les canalisations sous pression sont constituées de différents types de tuyaux :

- **Métalliques :** Fonte ductile, acier.
- **À base de ciment :** Béton armé, amiante-ciment.

- **Plastiques :** PVC, PEHD, composites.
- **Acier :** Très résistant et réduit le nombre de joints, mais nécessite une protection contre la corrosion. La figure I.10 présente la canalisation en acier.
- **Béton :** Un bon compromis entre l'acier et la fonte ductile, mais peut altérer les propriétés organoleptiques de l'eau. La figure I.11 présente la canalisation en béton.
- **Polyéthylène (PE) :** Résistant aux chocs et à la corrosion, léger et flexible, mais coûteux pour les grands diamètres et peut s'ovaliser. La figure I.12 présente la canalisation en PEHD
- **Fonte ductile :** Très solide, mais lourde et coûteuse en manutention, avec nécessité de butées en béton aux changements de direction. La figure I.13 présente la canalisation en fonte ductile.
- **PVC :** Peu coûteux et facile à manipuler, mais sensible au gel et à la lumière, et peut relarguer certaines substances dans l'eau La figure I.14 présente la canalisation en PVC. (Bousalaa & Benbekhti, 2018) ; (Bouizem & Boudaoud, 2019)

Les figures suivantes représentent les différents types des canalisations pouvant être utilisés dans le réseau d'eau potable :

Figure I. 11 : Canalisation en Acier. [2]

Figure I. 10 : Canalisation en Béton Armé. [3]

Figure I. 13 : Canalisation en PEHD. [4]

Figure I. 12 : Canalisation en Fonte Ductile. *(Bouizem & Boudaoud, 2019)*

Figure I. 14 : Canalisation en PVC. [5]

I.1.4/ Le dysfonctionnement des réseaux d'AEP

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps, qui se manifeste par l'observation de certains dommages, ou par un mauvais fonctionnement hydraulique du réseau.

Les diverses menaces qui pèsent sur l'intégrité des réseaux de distribution et leurs différentes causes, dans l'espoir de bien comprendre l'état du réseau à étudier. (Chehri & Azegagh, 2012)

Les réseaux d'Alimentation en Eau Potable (AEP) peuvent connaître divers dysfonctionnements qui affectent la qualité, la disponibilité et la distribution de l'eau :

I.4.1/ Fuites

Ce sont des pertes physiques de quelques quantités qui peu perturbantes du fonctionnement normal du réseau et alors entrainant une réparation sur les conduites, dues aux vétustés des canalisations, détériorations des joints, des cassures ou à la corrosion des tuyaux.

Une forte augmentation de leur nombre peut avoir une incidence directe sur le réseau et diminuer le rendement. (Chehri & Azegagh, 2012) ; (Gasmi, 2024) ; (Kessi & Hamitouche, 2020)

On distingue :

a/ Fuites diffuses

Elles sont caractérisées, soit par une fragilisation du tuyau dues à la corrosion qui se traduit par de petites ouvertures, soit par une détérioration des joints qui deviennent alors poreux.

Ce type fuites n'est pas détectable car le débit est très faible. (Chehri & Azegagh, 2012) ; (Gasmi, 2024) ; (Bessioud, 2024)

Une forte augmentation de leur nombre peut avoir une incidence directe sur le réseau et diminuer le rendement de réseau et ne lui permettent pas d'avoir une valeur supérieure à 90%, loin d'atteindre les 95%. (Benhamza, 2019)

b/ Fuites apparentes

Les fuites apparentes sont celles qui entrainent automatiquement une intervention sur le réseau. Elles sont mises en évidence, soit parce qu'elles entrainent une inondation importante sur la chaussée, soit parce que l'on constate une augmentation brutale de la consommation de nuit. (Chehri & Azegagh, 2012)

Ces fuites sont dues à l'action combinées de la corrosion sur la conduite et des Mouvements du sol (séisme, travaux...). (Gasmi, 2024)

I.4.2/ Ruptures sur conduites

La rupture est une défaillance mécanique ou structurale d'une conduite de distribution d'eau, due à l'action combinée de la corrosion sur la conduite et des mouvements de sol (vibrations, séismes, travaux divers), qui cause un arrêt temporaire de l'alimentation pendant lequel les abonnés sont éventuellement privés d'eau ou bien subissent une chute de pression, la durée dépend de la gravité de la rupture et les moyens de réparations. Habituellement une rupture est plus conséquente qu'une fuite. (Chehri & Azegagh, 2012) ; (Kessi & Hamitouche, 2020)

Voici une illustration des types de ruptures les plus courantes dans le cas des conduites de distribution :

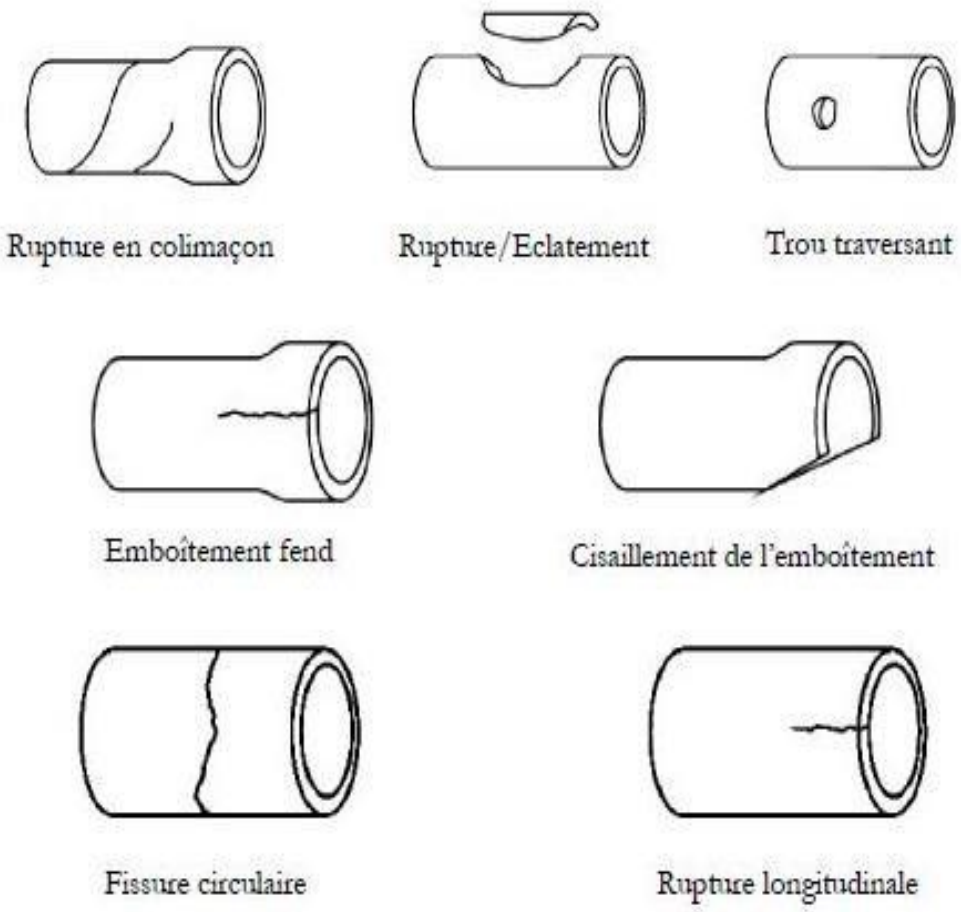

Figure I. 15 : Différents types de rupture des conduites. (Chehri & Azegagh, 2012)

I.4.3/ Corrosion

La corrosion est définie comme l'attaque du métal, due à des phénomènes électrochimiques extérieurs et intérieurs, s'agissant d'un échange d'électron en présence d'autre électrolyse, d'où il y a dissolution du métal.

En plus d'affaiblir les parois des conduites, la corrosion a un impact direct sur les caractéristiques mécaniques des conduites, elle augmente leurs risques de rupture, et les pertes de charge en augmentant la rugosité.

La corrosion peut faciliter le développement de gros tubercules (ensembles de matières pouvant comprendre du tartre, des algues et des bactéries) dans les conduites, ce qui réduit le débit, la pression et la qualité de l'eau, allonge le temps de séjour de l'eau dans les conduites et favorise la corrosion, on peut distinguer deux type de corrosion : (Chehri & Azegagh, 2012) ; (Boukhari & Bacha, 2018)

a/ Corrosion interne

La corrosion est toujours le résultat de la présence simultanée de deux agents, le métal et le milieu corrosif qui est l'eau dans le cas de la corrosion interne. La corrosion interne est régie par de nombreux facteurs :

- La vitesse de l'eau peut avoir une influence sur les zones de dépôt,
- Quand le pH d'équilibre n'est pas atteint, l'eau est alors agressive favorisant cette corrosion qui est particulièrement importante pour les tuyaux en acier.
- Si l'équilibre calco-carbonique de l'eau n'est pas atteint, il se produit soit une diminution d'épaisseur de la paroi de la canalisation (eau agressive), soit une diminution de la section de la canalisation (eau incrustante)**.**

Les principales conséquences de la corrosion interne sont la modification des diamètres des canalisations, la dégradation de la qualité de l'eau transportée et les capacités hydrauliques de la conduite. (Chehri & Azegagh, 2012) ; (Benhamza, 2019) ; (Gasmi, 2024)

b/ Corrosion externe

La corrosion externe est également le résultat de la présence simultanée de deux agents, elle correspond à l'échange d'ions entre le sol qui est le milieu corrosif et la paroi de la conduite et peut avoir diverses origines. (Benhamza, 2019) ; (Gasmi, 2024)

La corrosion extérieure des conduites métalliques enterrées est généralement la conséquence d'un processus électrochimique, le sol jouant le rôle d'un électrolyte, particulièrement quand il est humide On peut distinguer l'auto-corrosion et la corrosion électrolytique. (Chehri & Azegagh, 2012)

I.4.4/ Phénomène d'entartrage

Le tartre est le nom donné à un dépôt cristallin adhérent, composé de précipités de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium, qui se forme à partir d'une température de chauffage supérieure à 50°C et s'accumulent sur les parois des conduites. La formation de ces dépôts calcaires a des répercussions internes sur la qualité de l'eau et sur son écoulement par réduction de la section utile de la conduite qui causent l'augmentation du coefficient de rugosité et même la diminution de la capacité de transport, cela est observé par une augmentation des pertes de charge sans qu'il y ait une augmentation de la consommation. (Chehri & Azegagh, 2012)

I.1.5/ Causes de dysfonctionnement des réseaux d'alimentation en eau potable

Les fuites peuvent êtres dues à plusieurs facteurs. Les conduites sont menacées de dégradation ou de destruction par des causes diverses naturelles ou artificielles.

Ils peuvent être répartis en groupes :

• Les éléments propres au type de la canalisation :

- Rupture ou mauvaise étanchéité des conduites (Âge, Matériaux, Diamètre...) ;
- Joints détériorés, mal exécutés ou inadaptés ;
- Corrosion de la conduite ;
- La qualité de l'eau distribuée ;
- Des défauts de pose.

• Les éléments liés à l'exploitation des réseaux :

- Excès de pression ;
- Fermeture rapide de vanne de régulation.

• Les éléments extérieurs aux réseaux :

- Mouvements du sol (Glissements de terrains, Trafic routier,) ;
- La présence de nappes phréatiques ;
- Variations rapides de températures. (Benhamza, 2019) ; (Gasmi, 2024) ; (Ameziane & Belgherib, 2018)

I.1.6/ Symptômes de dysfonctionnement des réseaux d'alimentation en eau potable

L'existence d'un ou de plusieurs des phénomènes suivants indique que le réseau de distribution d'eau est détérioré :

- Une détérioration de la qualité de l'eau en raison de la corrosion interne des éléments constituants métalliques sans revêtement, de la formation d'un film biologique ou de mauvaises pratiques d'entretien ;
- Une réduction de la capacité hydraulique en raison de la corrosion interne (C'est-à-dire de la tuberculisation) des éléments constituants métalliques sans revêtement ou des précipitations de carbonate de calcium ;
- Un débit de fuite élevé en raison de trous produits par la corrosion dans les tuyaux ou de la détérioration des joints ;
- Des ruptures fréquentes causées par la corrosion, la dégradation du matériau, de mauvaises pratiques de mise en place, des défauts de fabrication ou des conditions d'exploitation. (Chehri & Azegagh, 2012)

I.1.7/ Les logiciels de modélisation des réseaux d'AEP

- **Systèmes d'Information Géographique**

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un ensemble de matériels, logiciels et processus permettant de collecter, gérer, analyser et afficher des données spatiales pour résoudre des problèmes d'aménagement et de gestion. (Azzazi & Benkarra, 2022)

Il s'agit d'un "ensemble de données repérées dans l'espace" qui aide à "extraire des synthèses utiles à la décision" (Kharchi, Medjeneh, & Legouireh, 2022). Le SIG permet d'organiser, analyser et présenter des informations géographiques localisées, facilitant ainsi la comparaison d'objets via un "système de références dans l'espace" (Habbeddine, 2016). En résumé, un SIG sert à "recueillir, stocker, traiter, analyser et présenter des données géographiques". (Atba, 2013)

- **EPANET**

EPANET est un logiciel gratuit et open source, développé par l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis pour protéger les ressources naturelles, et disponible pour tous depuis sa sortie en septembre 1993 (Gasmi, 2024), (Habbeddine, 2016), (Atba, 2013). Il est utilisé pour la simulation et l'analyse des réseaux de distribution d'eau, permettant de calculer la pression aux nœuds, de suivre le débit de l'eau et de surveiller la qualité de l'eau sur de longues

périodes (Bousalaa & Benbekhti, 2018), (Azzazi & Benkarra, 2022). Il aide également à tester des stratégies de gestion des réseaux, comme l'ajustement du pompage et la planification de l'entretien, tout en évaluant la consommation d'énergie, en améliorant la qualité de l'eau et en préparant les interventions en cas d'urgence (Medjahdi & Medjdoub, 2019), (Benzineb & Wendpouire, 2018). Le réseau analysé par EPANET est composé de tuyaux, pompes, vannes et réservoirs, et le logiciel peut aussi calculer le temps de séjour de l'eau et tracer l'origine des contaminants (Bousalaa & Benbekhti, 2018), (Benzineb & Wendpouire, 2018).

- **WaterCAD**

Water CAD est un outil d'aide à la prise de décision complet et néanmoins facile d'utilisation spécifique aux réseaux de distribution d'eau. Grâce à ses fonctionnalités intégrées, ce logiciel permet d'analyser les constituants de l'eau, son âge, son mélange dans les réservoirs et la traçabilité des sources, il est ainsi possible de programmer la chloration, de simuler des contaminations, de visualiser les zones d'influences des différentes sources (Dib, 2016) ; (Gaouas & Fellah, 2017). Ce logiciel permet d'améliorer les connaissances sur le comportement d'une infrastructure en tant que système, sur ses réactions aux stratégies opérationnelles, ainsi que sur son développement en parallèle à l'accroissement de la population et de la demande. (Dib, 2016)

I.2/ Amélioration des réseaux d'AEP

L'amélioration des réseaux en eau potable (AEP) est essentielle pour garantir une distribution efficace et durable de l'eau. Dans ce cadre, nous avons étudié les défis et problèmes qui peuvent affecter ces réseaux, en fournissant des exemples de la réalité nationale et internationale, ainsi que des solutions qui peuvent être adoptées pour améliorer l'efficacité du réseau.

Les réseaux de distribution d'eau constituent un élément essentiel de l'infrastructure de toute ville, cependant, dans de nombreuses régions, ils sont confrontés à des problèmes techniques et administratifs qui nuisent à leur efficacité.

À travers différentes études, ces défis ont été analysés et des solutions ont été proposées dans le but d'améliorer les performances et de garantir la durabilité du service.

À l'échelle Nationale, l'étude menée par (Mokssit, 2023) et qui portait sur la gestion de la distribution intermittente de l'eau potable, s'intéresse au fonctionnement sociotechnique de l'intermittence dans les services d'approvisionnement en eau, avec pour objectif d'optimiser l'intervention de l'opérateur dans les wilayas d'Alger et de Tipaza, confrontées à des pénuries et à une distribution irrégulière dues à des contraintes techniques et politiques. À travers une

modélisation hydraulique réalisée à l'aide des logiciels EPANET et SIG, l'étude propose des solutions telles que la sectorisation des zones de distribution homogènes, l'amélioration du transport de l'eau pour un meilleur équilibre des ressources, et une planification sectorielle des approvisionnements afin de synchroniser les périodes de distribution. Elle recommande également d'impliquer les usagers dans la recherche de solutions, d'opérer une transition progressive vers un service continu, et de développer des outils d'aide à la décision pour renforcer la durabilité et l'équité dans la gestion de l'eau.

Une autre approche a été adoptée par (Cherif, 2015) qui a réalisé un étude critique et modélisation du réseau d'AEP du chef-lieu de Chetouane, en se focalisant sur les défaillances structurelles du réseau distribution d'eau à Chetouane, marqué par une faible pression, des fuites récurrentes et des branchements illégaux, à l'aide des logiciels EPANET, AutoCAD et Google Earth, l'étude propose la modernisation du réseau, l'amélioration de la répartition de la pression, la réduction des pertes par un entretien régulier, et la mise en place de nouvelles stratégies de contrôle, tout en recommandant l'extension du réseau pour faire face à l'urbanisation croissante.

Dans un contexte similaire, on retrouve l'étude de (Madouni, 2013), qui a porté sur la modélisation du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Maghnia avec le logiciel PORTEAU. Cette étude a permis de diagnostiquer et d'analyser les problèmes du réseau hydraulique de la commune d'Oulad Khlouf, confrontée à une pression insuffisante, une forte demande, un stockage limité et d'importantes pertes d'eau dues à la vétusté des infrastructures. À l'aide des logiciels EPANET et AutoCAD, une modélisation précise du réseau a permis de proposer des solutions telles que le remplacement des canalisations pour améliorer la pression et réduire les fuites, la construction de nouveaux réservoirs pour répondre à la demande croissante, et l'optimisation de la distribution afin d'éviter les déséquilibres entre les zones. Le travail recommande également d'améliorer l'efficacité de la station de pompage pour garantir une pression stable, et de mettre en place un système de suivi et d'analyse des données pour évaluer en continu la performance du réseau.

De plus, dans le cadre de la recherche de solutions innovantes pour la gestion des réseaux d'eau, (Azzi, 2016) a présenté une étude portant sur la Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique. L'étude s'est focalisée sur les défis qui affectent l'efficacité de la gestion du réseau d'eau potable dans la région de Sidi Aïche (wilaya de Béjaïa), où l'on constate un manque de plans détaillés, un taux élevé de fuites et des pénuries dans certaines zones ; en utilisant EPANET et ArcGIS, l'étude

recommande la réparation des fuites, l'amélioration des performances grâce à une modélisation précise, la réhabilitation du réseau, ainsi que l'intégration d'un système d'information géographique et la mise à jour régulière des plans pour une gestion plus efficace.

Par ailleurs, l'étude (Chehri & Azegagh, 2012) sur le diagnostic du réseau d'Alimentation en Eau Potable propose une analyse approfondie de la performance du réseau de distribution d'eau dans la ville de Bourkika, confrontée à divers problèmes tels que les fuites, la corrosion des conduites et un entretien insuffisant. À l'aide des logiciels EPANET, Pendulo et Loop, l'étude propose plusieurs solutions, notamment la construction de nouveaux réservoirs et la réhabilitation des anciens, le remplacement des conduites corrodées pour améliorer l'efficacité du réseau et réduire les pertes, ainsi que l'installation de capteurs de pression et de débit pour un suivi plus précis. Elle recommande également l'adoption de stratégies préventives permettant d'éviter les pannes majeures, d'optimiser les systèmes de contrôle et de surveillance, et ainsi de limiter les pertes d'eau pour une gestion plus durable et efficace du réseau.

Ainsi, à travers les études précédentes, il ressort plusieurs solutions clés pour améliorer les réseaux de distribution d'eau, notamment l'amélioration des infrastructures et du stockage, par le remplacement des tuyaux corrodés et la réhabilitation des réseaux et réservoirs, ainsi que la création de nouveaux réservoirs pour répondre à la demande croissante. Il est également essentiel de réduire les pertes d'eau et d'améliorer la gestion de la pression en installant des vannes de régulation et des capteurs pour détecter les fuites, tout en mettant en œuvre des stratégies de contrôle intelligent pour ajuster le débit et minimiser les pertes. Enfin, la mise à jour de la gestion et le renforcement de l'efficacité des systèmes sont cruciaux pour garantir la durabilité et l'optimisation des ressources face à la demande croissante.

À l'échelle internationale, Plusieurs études et recherches de divers pays, ont proposé des approches innovantes pour améliorer la performance et la durabilité des réseaux d'AEP, qui peuvent être adaptées aux contextes locaux.

D'abord, on a l'étude menée par (Blindu, 2004), qui a montré que l'amélioration du réseau d'eau potable de Chisinau la capitale de la Moldavie, repose sur une stratégie intégrée combinant l'analyse spatiotemporelle des dysfonctionnements hydrauliques, la modélisation avancée hydraulique et l'usage des SIG pour identifier les zones à risque et les segments les plus vulnérables du réseau, prioriser les interventions à l'aide de la Méthode Hiérarchique

Multicritère (MHM) et même renouveler les infrastructures vieillissantes, pour réduire les pertes d'eau, optimiser la pression dans les conduites, et améliorer la qualité de l'eau distribuée.

D'une autre part, la thèse développée par (Haidar, 2006), sur la réhabilitation des réseaux d'eau potable dans la ville de Reggio Emilia (Italie), a montré que l'amélioration de ces réseaux se base sur une analyse multicritère rigoureuse et l'utilisation d'outils d'aide à la décision comme le logiciel CARE-W. Cette approche permet de hiérarchiser les tronçons à réhabiliter selon leur criticité, d'anticiper les casses à travers des modèles prédictifs, et de planifier les investissements de manière optimale. Elle intègre également une coordination avec d'autres services urbains pour réduire les coûts, tout en renforçant la durabilité et la résilience des infrastructures à long terme.

De plus, les conclusions tirées par (Doghri, 2019) concernant la gestion de la pression dans les réseaux d'eau potable en Amérique du Nord soulignent l'importance d'utilisation d'une politique proactive et technologique, centrée sur le contrôle optimisé de la pression pour réduire les pertes d'eau et prolonger la durée de vie des infrastructures. Cette politique s'appuie sur des audits, la surveillance en temps réel, la modélisation hydraulique et l'automatisation du réseau via des systèmes comme SCADA. Plusieurs modes de gestion de la pression ont été testés, notamment les contrôles fixes, variables, réactifs et prédictifs, soutenus par des outils tels qu'EPANET, MATLAB et des modèles de prévision de la demande, permettant ainsi une meilleure anticipation des besoins et une gestion plus efficiente.

En ce qui concerne la réduction des pertes d'eau dans les réseaux de distribution, les recherches de (Irstea & Onema, 2012), ont permis d'identifier les actions clés pour l'amélioration du réseau AEP en France s'appuie sur un ensemble des technologies avancées, une gestion patrimoniale optimisée et l'adaptation aux contraintes locales. En utilisant la sectorisation des réseaux, l'installation de compteurs intelligents, l'optimisation des pressions, et la détection active des fuites à l'aide de techniques innovantes. Elle intègre également la modernisation des infrastructures par des travaux sans tranchée et le renouvellement ciblé des matériaux, tout en tenant compte des enjeux environnementaux grâce à l'usage des énergies renouvelables et à la mise en place de systèmes de télégestion pour une surveillance en temps réel. Dans le même but, une autre étude réalisée par (Bakhtawar, Fares, & Zayed, 2024), a présenté un système intelligent combinant des hydrophones (capteurs acoustiques) avec l'intelligence artificielle et l'Internet des objets (AIoT) pour détecter les fuites dans les réseaux d'eau urbains à Hong Kong (Chine), ce qui permet de distinguer les bruits normaux des sons de fuite. Les résultats montrent que le système est hautement précis et permet une détection précoce

des fuites, réduisant ainsi les pertes d'eau et améliorant la gestion durable des ressources hydriques.

Enfin, la recherche effectuée par (Camara et al, 2004), sur l'amélioration des réseaux AEP au Mali a mis en évidence l'approche méthodologique adaptée au contexte rural, semi-urbain et urbain, visant un accès durable et équitable à l'eau. La stratégie adoptée combine le développement de forages équipés de pompes motorisées alimentées par des énergies renouvelables, l'optimisation de l'entretien des infrastructures, l'installation de systèmes de surveillance des fuites et l'usage de compteurs pour limiter le gaspillage. Elle inclut aussi une évaluation rigoureuse des coûts et encourage les partenariats public-privé pour renforcer le financement et moderniser les équipements hydrauliques.

Conclusion

Ce chapitre a permis de dresser un état des lieux des réseaux d'Alimentation en Eau Potable (AEP) en abordant leur description, leurs composants spécifiques, les logiciels de modélisation permettant d'analyser et d'optimiser le réseau, ainsi que les problématiques liées à leurs dysfonctionnements. En se focalisant sur le cas de l'Algérie, nous avons identifié les défis actuels et les perspectives d'amélioration visant à assurer une distribution plus efficace et durable de l'eau potable. Ces éléments serviront de base pour les analyses et solutions proposées dans la suite de ce travail.

CHAPITRE II :

Présentation de la zone d'étude

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter de façon structurée, en décrivant son environnement naturel, et les différentes caractéristiques du site les facteurs qui influent sur la conception d'un projet d'AEP, en prenant en considération tous les aspects pour connaitre la situation de la zone d'étude du point de vue géographique, topographique, climatique, hydrographiques, démographique et hydraulique...

Cette présentation de la zone de travail nous permettra de mieux comprendre les enjeux liés à la gestion de l'eau dans cette région et de proposer des recommandations pour une gestion durable et équitable de la ressource en eau.

II.1/ Le réseau d'AEP en Algérie

La croissance démographique et l'expansion économique entraînent une augmentation de la demande en ressources, ce qui pose de nombreux défis dans la gestion des réseaux d'eau. Dans ce contexte, L'Algérie en tant que pays semi- aride, voir même aride (200 mm à 400 mm de pluie par an) et ses ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, Les précipitations annuelles totales sont d'environ 100 milliards de mètres cubes, dont 12,4 milliards de mètres cubes mobilisables, compte tenu des localisations techniquement favorables (hydrologie, topographie, géologie) (Khettab & Rahmoun, 2017). Cependant, le réseau de distribution d'eau potable s'est considérablement amélioré en Algérie, avec une consommation quotidienne d'eau par habitant approchant les 150 litres.

Selon les statistiques des agences internationales, les Algériens consomment chaque année entre 600 et 700 mètres cubes d'eau potable. Sachant que 95% de la population algérienne a accès à l'eau potable. (Bouazzi, 2016)

La croissance spatio-démographique et économique du monde provoque un accroissement des besoins, ce qui a conduit à de nombreux problèmes dans la gestion de ses réseaux, notamment :

- Méconnaissance des besoins en eau des populations crée un décalage entre l'offre et la demande ;
- Entretien quasi nul pour les tuyaux et raccords ;
- Coupures d'eau fréquentes ;
- Fuites non répertoriées ;
- L'intervention en cas de fuite est trop lente ;

- En sous-effectif et non qualifié ;
- Il n'y a pas de pompe de secours à la station de pompage. (Imamouine, 2024)

Le réseau hydraulique de la wilaya de Blida comprend l'extraction, le traitement et le stockage d'eau. Néanmoins, il est confronté à des problèmes tels que les pertes d'eau liées à l'âge de certaines portions du réseau, ce qui entraîne un gaspillage considérable d'eau, ainsi qu'à la contamination des eaux souterraines et de surface par les effluents ou les détritus. Par ailleurs, en raison de l'expansion démographique et agricole, une pression supplémentaire s'exerce sur les ressources [6]. Pour remédier à la situation, diverses mesures sont suggérées, notamment l'accroissement les forage d'eau sur lesquelles s'appuie la wilaya, particulièrement dans la zone de Boufarik [7], ainsi que l'opérationnalisation de la station de dessalement de FOUKA-2 destinée à approvisionner neuf communes avec une capacité de 100 000 m³ par jour. [8]

II.2/ Situation géographique

La commune de Boufarik est l'une des 25 communes de la wilaya de Blida, située au cœur de la plaine de la Mitidja, réputée pour sa fertilité, ce qui en fait une zone agricole par excellence pour le pays, au même temps, c'est l'une des communes les plus peuplées de la wilaya. (Abderrahmane & Bouaoua, 2015)

La commune de Boufarik s'étend sur une superficie d'environ 5 094 hectares, dont 483 hectares (9,5 % du territoire communal) sont occupés par le tissu urbain. Elle est localisée à 14 km au nord-est de la wilaya de Blida et à 32 km au sud-ouest d'Alger, lui conférant une position stratégique importante dans la région. (Ould-difallah & Rebhi, 2021) ; (Bouteldja & Mouhous, 2021)

II.3/ Situation administrative

Administrativement, La commune de Boufarik est délimitée par :

- Au Nord par la commune de Tessala El Merdja (wilaya d'Alger) ;
- À l'Est par les communes d'Ouled Chebel (wilaya d'Alger) et de Chebli ;
- Au Sud par les communes de Bouinan, Soumaa et Guerouaou ;
- À l'Ouest par les communes de Beni Mered et Ben Khelil. (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

La figure représente la position de la commune de Boufarik par rapport aux communes limitrophes :

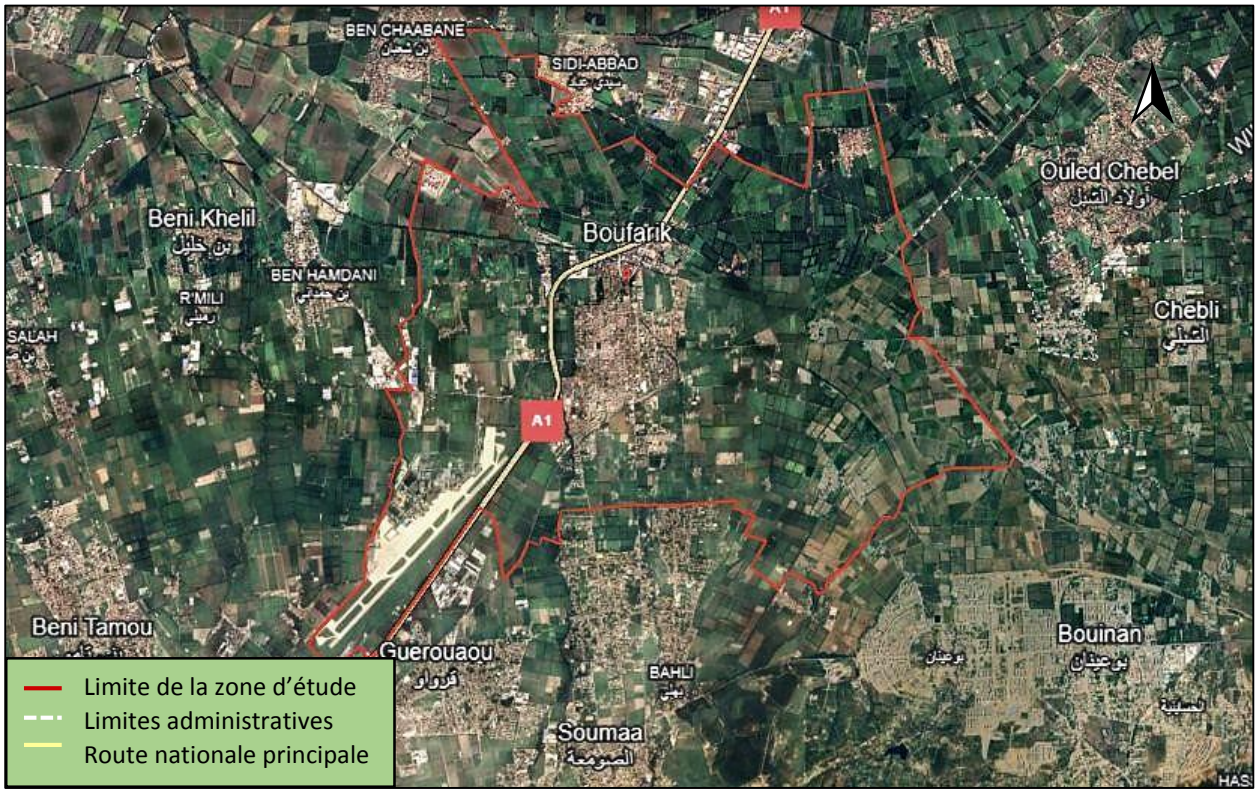

Figure II. 1: Délimitation de la zone d'étude. (Google Earth, 2025)

II.4/ Situation topographique

Les données concernant la situation topographique jouent un rôle essentiel dans la conception du réseau d'alimentation en eau potable, afin de définir le choix de l'emplacement des ouvrages hydrauliques et pour assurer une pression d'eau, soit gravitaire-ment ou par refoulement pour l'adduction, Vu que la distribution des eaux s'effectue gravitaire-ment sauf si le relief exige un relèvement dans ce cas on fait appel à un relevage.

La topographie de la ville Boufarik est constituée essentiellement d'un terrain plat avec une faible pente variant entre 2 % et 5 % du sud vers le nord, facilitant ainsi l'écoulement naturel de l'eau. Cependant, certains secteurs nécessitent des stations de pompage pour assurer une distribution efficace. Les altitudes varient entre 53 et 64 mètres du Nord au Sud, avec de légères fluctuations d'Ouest en Est. (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

II.5/ Situation géologique

La commune de Boufarik est située dans la plaine de la Mitidja et fait partie des formations sédimentaires qui recouvrent le nord de l'Algérie. Son relief est principalement constitué de plaines fertiles riches en dépôts argileux et sableux, résultant des activités fluviales anciennes,

notamment de l'oued Mazafran. Ces dépôts ont contribué à la formation d'un sol particulièrement fertile, rendant ainsi la zone propice à la culture des agrumes, pour laquelle Boufarik est réputée.

Elle est séparée des zones montagneuses voisines par une série de petites collines situées à l'est et à l'ouest. Son sol se caractérise par une grande diversité, alternant entre des couches d'argile et de sable, avec la présence de graviers et de limons accumulés au fil du temps. Les formations géologiques récentes confèrent à la région une stabilité relative, bien que de légères variations du niveau des eaux souterraines puissent survenir en raison de la nature sédimentaire du sol et de l'érosion continue.

La commune de Boufarik est située sur une faille tectonique entre les continents africain et européen, et instable géologiquement. Elle se situe dans la zone II-b où la sismicité est moyenne avec une période de retour de 30 à 40 ans, selon le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS). (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

II.6/ Situation climatique

Pour toute étude hydraulique, et surtout dans un projet d'alimentation en eau potable, le climat est un facteur important pour déterminer la disponibilité et la variabilité de l'eau dans la zone d'étude, et réagir correctement aux changements climatiques.

La commune de Boufarik est caractérisée par un climat méditerranéen correspondant à deux saisons, chaud et sec en été, humide et froid en hiver. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 641 mm Avec une température moyenne annuelle de 17.1 °C. (Bouteldja & Mouhous, 2021)

II.6.1/ Pluviométrie

D'après les observations de la station de Soumaa, les pluies ne sont pas régulièrement étalées et parfois torrentielles.

Tableau II. 1: Précipitations moyennes mensuelles (1990-2020).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
P (mm)	110.7	84.1	69	65.9	54.2	6.4	1.7	7.7	30.2	59.2	93.5	89.8

Source : ANRH Blida (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

Les observations des précipitations montrent que :

Novembre à Mars : période pluvieuse avec une hauteur maximale de précipitations 110.7 mm enregistrée en Janvier.

Juin, juillet et août : les 3 derniers mois sont les moins pluvieux avec un minimum de 1.7 mm de pluie en juillet. (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

II.6.2/ Température

La température est l'un des facteurs à prendre en compte car elle a un effet important sur la viscosité de l'eau. Les observations de température dans la Mitidja Est sont basées sur les variations enregistrées par l'ANRH (station de Boufarik). (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

Tableau II. 2: Répartition mensuelle de la température de la Mitidja Orientale (1980-2010).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Tmax(°C)	16.66	18.2	19.4	20.7	23.06	28	31.4	32.2	29.54	26.04	20.88	18.1
Tmin(°C)	5.6	5.1	7.1	9.4	13	16.5	19	20.1	17.6	14.2	10	6.9
Tmoy(°C)	11.13	11.65	13.25	15.05	18.33	22.25	25.2	26.11	23.57	20.12	15.44	12.5

Source : DRE Blida (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

II.6.3/ Évaporation

De mois d'avril à septembre, l'évaporation mensuelle varie de 150 à 208 mm. Sa répartition mensuelle montre une augmentation régulière d'avril à août, ainsi qu'une période d'octobre à mai qui représente 31% de la moyenne annuelle. (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

Tableau II. 3: Répartition mensuelle de l'évaporation.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moy (mm)	102.5	107.8	117.2	126.3	98.35	127.3	108.8	116.8	194.7	167	160.7	193.5

Source: ANRH Blida (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

II.6.4/ Vent

Le vent dominant est le vent d'ouest en automne et en hiver, tandis que le vent dominant est le vent du nord au printemps et en été. En outre, Les vents sont généralement accompagnés d'orages et de pluies. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 11,37 km/h, ce qui n'est pas assez fort. (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

Tableau II. 4: Répartition mencuelle de la vitesse des vents.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
V (km/h)	10.08	12.60	11.52	11.88	11.88	10.80	10.44	10.80	10.44	11.52	11.16	13.32

Source : DRE Blida (Ould-difallah & Rebhi, 2021)

II.7/ Situation démographique

La commune de Boufarik est l'un des plus grands quartiers populaires de la wilaya de Blida qui contient un nombre important de citoyens confiné dans une surface limitée, ce qui constitue une menace pour les terres agricoles qui composent cette région.

D'après le dernier recensement de la population effectué en 2008 le nombre d'habitants global de la commune a été estimé à 71 446 habitants. (DRE Blida)

II.8/ Situation hydraulique

II.8.1/ Les ressources hydrauliques de la commune de Boufarik

Le réseau d'alimentation en eau potable de la ville de BOUFARIK est alimenté par deux champs de captage (DRE Blida, 2023 ; ADE Boufarik, 2025) :

- **Champ de captage de Chebli**

Ce champ est situé à l'Est de Boufarik. Il est composé sept (07) forages en exploitation. Et refoule les eaux par une conduite DN500 Font qui se longe sur une grande partie de la RN N°61 jusqu'au croisement avec la voie ferrée à l'entrée de Boufarik, pour rejoindre le château d'eau CH1000 m^3 de Amiar.

De ce château d'eau CH1000 m^3, la distribution est assurée vers :

-Le château d'eau de BERRIANE 1500 m^3, DN500 mm Font.

-Le réseau de distribution de Boufarik, DN500 Font et DN250 PEHD.

Tableau II. 5: Les différents débits mobilisé par les forages du champ de captage « Chebli ». (ADE Boufarik, 2025)

Les forages	Débit actuel (l/s)
CH1	5
CH2	5
CH3	8
CH4	2,9
CH5	4,26
CH7	9,3
CH8	5

Ces forages produisent environ 2224 m³/jour, et alimentent un réservoir de 500 m³ ainsi qu'une station de pompage équipée de groupes électropompes (Q=63 L/s, HMT=70 m).

- **Champ de captage de Brisonnier**

Le champ de captage de Brisonnier se situé au Sud-ouest de la ville de Boufarik, Il alimente le château d'eau CH5000 et CH1000 m^3. Et après alimente le château d'eau CH1500 m^3 de BERRIANE par gravité. Les sept (07) forages qui contribuent à l'alimentation des châteaux d'eau mentionnés précédemment sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 6: Les différents débits mobilisé par les forages du champ de captage « Brisonnier ». (ADE Boufarik, 2025)

Les forages	Débit actuel (l/s)
BF1	8
BF2	1
BF3	3
BF4	0
BF6	0
BF8	3,9
F2	0

Ces forages produisent environ 1481 m³/jour.

- **Forages de la ville de Boufarik**

Tableau II. 7:Les différents débits mobilisés par les forages de « Boufarik ». (ADE Boufarik, 2025)

Les forages	Débit actuel (l/s)
BF5	1,2
BF7	0,4
BF cité mosquée	5,8
BF Berriane	0,5
BF cité des orangeries	4,0
BF 1140 log m	2,6
BF 1140 log	2,1
BF dallas	4,9
BF Lycée ZIDANE	4,4
BF Mimoun	0
BF Stade	3,5

Ces forages produisent environ 2282 m³/jour, où les forages BF5 et BF7 alimentent directement un réservoir de 500 m³ situé au centre de distribution de BERRIANE, qui joue un rôle central dans la distribution vers le centre-ville.

II.8.2/ Réseaux d'adduction

a/ Les stations de pompage existant

Le système de pompage est composé de deux stations principales qui jouent un rôle essentiel dans l'assurance du débit d'eau et la continuité de l'alimentation au niveau des différentes zones de la commune de Boufarik.

➢ Station de pompage de Chebli

La station a pour fonction de pomper les eaux du champ de captage de Chebli vers CH1000m^3 (£) de Boufarik, à travers une conduite en fonte de diamètre 500 mm. Elle est implantée à l'est de la commune de Boufarik.

Ses coordonnées géographiques, selon le système UTM-NGA sont :

X = 504288,00 m

Y = 4048443,00 m

Z = 59 m

Figure II. 2: Photo des équipements de la station de pompage de Chebli.
(ADE Boufarik)

➢ Station de pompage de centre ADE

La station se trouve dans le même site du centre ADE, elle a pour rôle de pomper les eaux stockées dans le réservoir 500 m^3 vers le château d'eau 1500 m^3.

Ce dispositif joue un rôle essentiel pour maintenir une pression suffisante pour le bon fonctionnement du système. Il assure à son tour une régulation efficace du débit et une alimentation continue du réseau de distribution.

Les coordonnées géographiques de la station, selon le système de projection UTM-NGA, sont les suivantes :

X = 491 435,86 m

Y = 4 046 766,20 m

Z = 66,47 m

Figure II. 3: Photo des équipements de la station de pompage du centre ADE. (ADE Boufarik)

b/ Réservoirs de stockage existants

- **Château d'eau CH1000 m³ « Amiar »**

Le château d'eau surélevé de 1000 m³, propriété de l'Amiar, constitue un ouvrage hydraulique important situé au sud de la ville de Boufarik. Il possède des coordonnées UTM-NGA ainsi que de niveaux définis :

Tableau II. 8: Coordonnées et niveaux du réservoir 1000 m³ « Amiar ». (ADE Boufarik).

Coordonnées	Valeurs (m)
X=	492 483.16
Y=	4 045 744.90
CTN=	76.80
CR=	102.70
CTP=	109.93

Figure II. 4: Photos de château d'eau 1000 m^3 d'Amiar.
(ADE Boufarik)

Le réservoir reçoit l'eau d'un forage dans la région de Chebli et les distribue par gravité vers deux directions principales : d'une part, à travers une canalisation DN500 FT puis DN500 PEHD, jusqu'au château d'eau central de l'ADE d'une capacité de 1500 m3, qui permet d'alimenter toute la ville de Boufarik, en particulier les zones hautes, en parallèle avec le château de Brissonier, d'autre part, vers la zone sud de la ville à travers une conduite DN250 PEHD dérivée directement de la conduite principale DN500 Font.

La chambre des vannes et des canalisations se trouve dans le fût du château, accessible par une petite porte située à sa base. Elle comprend une conduite d'arrivée en acier de 500 mm, une conduite de départ de 630 mm, ainsi qu'une conduite de trop-plein et de vidange de 400 mm. Il est important de prendre en compte qu'il n'y a pas de compteur d'eau à l'entrée de ce château d'eau.

- **Château d'eau CH5000 m^3 de Brisonnier**

Les deux châteaux d'eau, d'une capacité respective de 5000 m^3 est implanté environ 5 km à l'ouest de la ville de Boufarik, avec les coordonnées UTMNGA et de niveaux détaillés dans le tableau suivant :

Tableau II. 9: Coordonnées du château d'eau 5000 m3 de Brisonnier. (ADE Boufarik, 2019)

	Coordonnées	Valeurs (m)
CH5000 m³	X=	487659.14
	Y=	4044758.95
	CTN=	91,66
	CR=	101,66

Le château d'eau surélevé de 5000 m³, est conçu sous forme circulaire avec une base supérieure en coupole et une base inférieure plane, réalisée en dalle nervurée en béton armé. Il repose sur une série de poteaux et comprend un noyau central intégré à la fondation pour assurer une stabilité maximale. Le réservoir a été achevé en 1985 et mis en service en 1986. Il a une hauteur totale de 19 mètres. Il joue un rôle essentiel pour assurer un approvisionnement en eau continu et fiable de la ville en transportant l'eau jusqu'au centre de Boufarik via une canalisation de DN600mm.

Il est alimenté par le champ de captage de Brisonnier, à partir des forages BF1, BF2, BF3, BF4, BF6, BF8 et F2. Au niveau du poste de contrôle des vannes situé au pied du château d'eau de 5000 m³, la conduite principale de Ø500 mm en provenance du champ se divise en branches : une de 250 mm et une de 300 mm, qui alimentent ensemble le grand réservoir de 5000 m³.

Figure II. 5: Photo de l'extérieur du château d'eau CH5000 m^3 de Brisonnier. (ADE Boufarik)

- **Château d'eau 1500 m³ BERRIANE « CENTRE ADE »**

Le château d'eau de 1500 m³, situé sud-ouest du chef-lieu avec les coordonnées UTM-NGA et niveaux suivants :

Tableau II. 10: Coordonnées et niveaux du château d'eau 1500 m^3 (Centre ADE). (ADE Boufarik)

Coordonnées	Valeurs (m)
X=	491435.86
Y=	4046766.20
CTN=	66.47
CR=	89.97
CTP=	94.77

Le château d'eau de 1500 m³, à une structure en béton armé composée d'une cuve cylindrique reposant sur une tour circulaire. Construit en 1959 et mis en service dans les années soixante, il atteint une hauteur totale de 35 mètres. Ce réservoir assure l'alimentation en eau potable du centre-ville, recevant des apports en eau provenant des forages BF5 et BF7, ainsi qu'un complément provenant du château d'eau de 1000 m³ d'Amiar, renforçant ainsi la pression dans le réseau central.

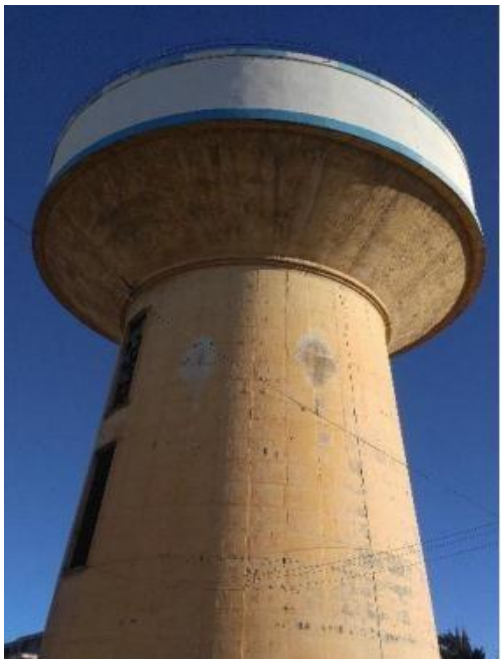

Figure II. 6: Photo de l'extérieur et intérieur du château d'eau 1500 m^3. (ADE Boufarik)

Cet ouvrage est accompagné d'un réservoir annexe de 500 m³ qui est semi-enterré de forme circulaire. Il est situé au sud-ouest du chef-lieu et possède des parois latérales en béton armé, protégées par une séparation en maçonnerie (brique). Toutes les conduites d'arrivée et de départ sont regroupées à la base du château d'eau, accessibles via une petite porte. L'équipement comprend une conduite d'entrée/sortie de 500 mm en amiante-ciment, deux conduites en acier de 400 mm, ainsi qu'une conduite de drainage de 250 mm en amiante-ciment.

II.8.3/ Réseaux d'adductions tertiaires

Il s'agit de réseaux d'adduction de faible importance en termes de capacité de leurs installations. Cela concerne les deux forages BF5 et BF7, qui refoulent directement l'eau dans le réservoir de 500 m³ situé au centre de l'ADE Boufarik.

Tableau II. 11: Adductions existants tertiaires. (ADE Boufarik)

Adductions tertiaires existantes	**Diamètre et matériau**	**Linéaire en (m)**
BF5 -R500 m3	100 mm - A	12
BF7 -R500 m3	80 mm - AG	352
Total		364

II.8.4/ Réseau de distribution de Boufarik

Le réseau de distribution d'eau couvre l'ensemble de la ville de Boufarik. Il est divisé en une partie supérieure alimentée par les châteaux d'eau du centre-ville et d'Amiar, et une partie inférieure alimentée par le château d'eau de Brisonnier et d'autres forages. Les deux réseaux sont séparés par des vannes de sectionnement fermées et fonctionnent de manière indépendante, y compris le quartier des Orangers qui est alimenté directement par le forage F1. La distribution suit une répartition géographique claire du sud au nord et d'est en ouest, avec des branchements réalisés pour améliorer l'alimentation de certaines zones comme Chebli.

Cependant, plusieurs problèmes ont été relevés dans le processus de distribution, notamment la courte durée de distribution malgré la division en zones, et la détérioration du château d'eau de 1500 m³ du centre-ville à cause de fissures. Le quartier des Orangers est alimenté en eau potable à partir des forages F1 et F2, bien qu'il soit censé être alimenté par les deux châteaux, ce qui a

nécessité le recours à un forage indépendant non équipé de poste de transformation électrique. De plus, le château d'Amiar reçoit une quantité d'eau de 2000 m^3 fournie quotidiennement par l'ONID. Il s'inscrit dans le cadre d'un système de renforcement de l'alimentation en eau potable.

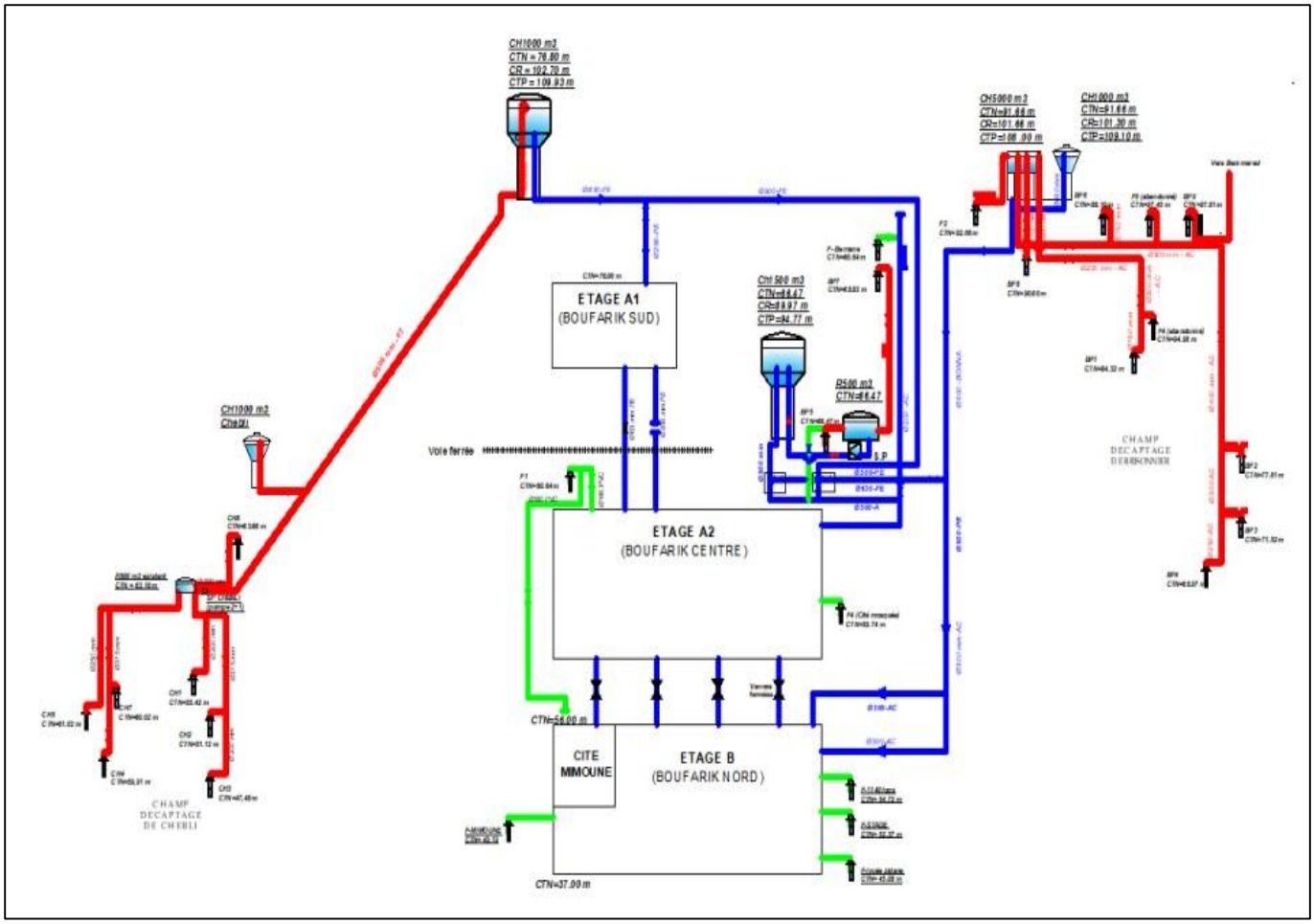

Figure II. 7: Schéma vertical des principales adductions existantes de la ville de Boufarik. (ADE Boufarik)

La station de pompage de Boufarik est alimentée principalement par les forages BF5 et BF7 pour le centre-ville, ainsi que par les forages du champ de captage Ben Ramdane et ceux de BRISSONIER. Ces forages, avec des débits variant de 2,5 à 15 L/s, fournissent une capacité totale importante pour assurer l'alimentation en eau potable de la ville. Ils sont reliés à des réservoirs de stockage (notamment un réservoir de 500 m^3 à BERRIANE) et à des stations de pompage qui permettent la distribution vers les différents quartiers de Boufarik.

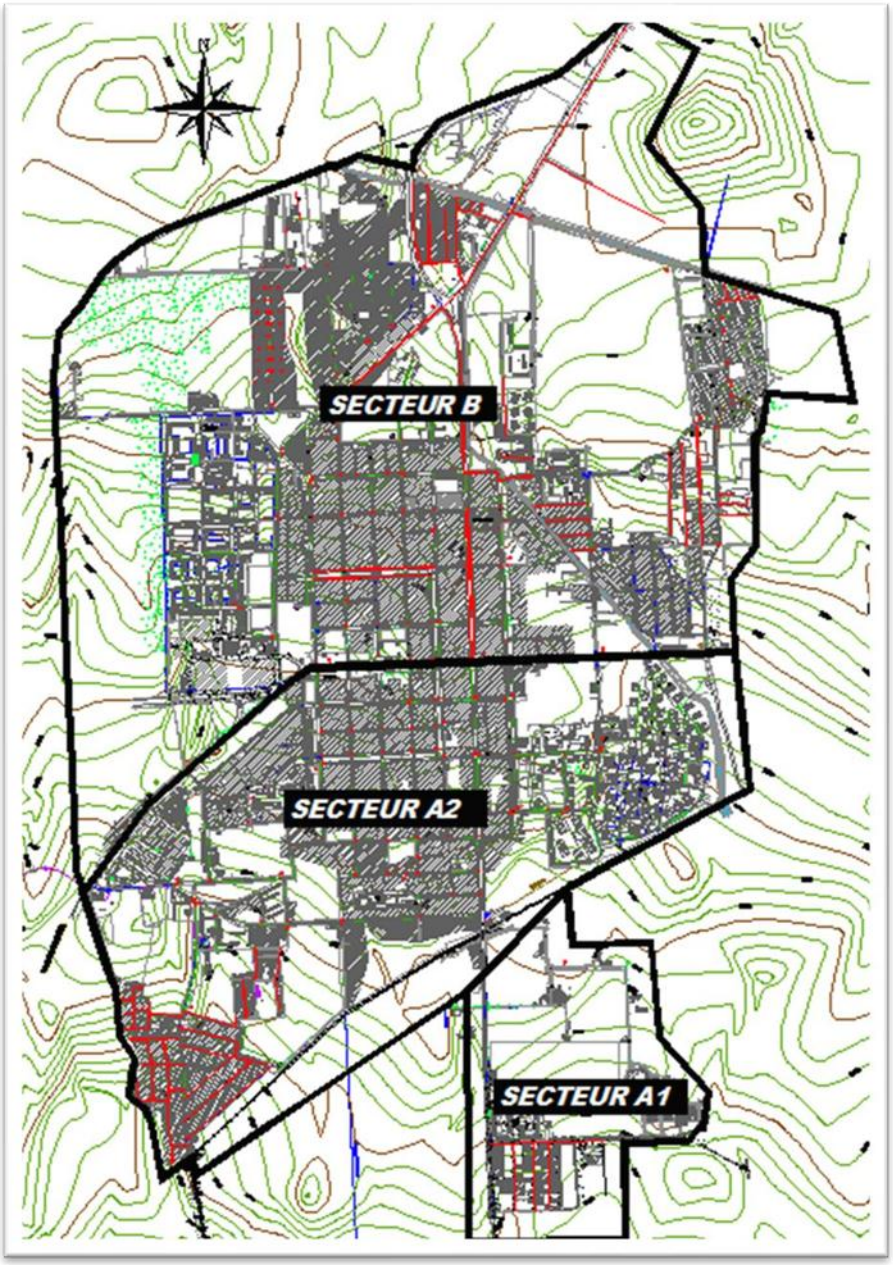

Figure II. 8: Limites des secteurs de distribution de la ville de Boufarik. (ADE Boufarik)

La commune de Boufarik est subdivisée en trois secteurs distincts afin de mieux gérer la distribution de l'eau potable. Cette distribution s'effectue selon un système de rotation, permettant à chaque secteur d'être alimenté en eau une fois tous les trois jours. Ce mode de gestion vise à faire face au déficit en ressource et à assurer une répartition équitable entre les habitants.

Conclusion

Ce chapitre a permis de définir les caractéristiques de la zone d'étude sur les plans topographique, géographique, climatique, démographique et même hydraulique, servant ainsi de base au projet. Il a également mis en évidence les informations et les données nécessaires pour estimer la demande et la production en eau potable, utiles les chapitres suivants de notre étude de projet à la conception du réseau d'AEP de Boufarik.

CHAPITRE III :

Matériels et méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes techniques et étapes de modélisation d'un réseau d'AEP, ainsi que le matériel utilisé pour cette opération. La simulation des réseaux d'adduction en eau potable (AEP) nécessite une approche méthodique et rigoureuse afin de garantir des résultats fiables et précis.

La modélisation a été réalisée à l'aide d'outils numériques tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et le logiciel WaterCAD, ce qui a permis d'analyser les performances hydrauliques du réseau et de mieux comprendre son fonctionnement. Cette démarche vise à améliorer la gestion du réseau et à détecter les éventuels dysfonctionnements ou besoins en réhabilitation.

III.1/ Collecte des données

La démarche de recherche adoptée consiste à combiner plusieurs méthodes et outils d'investigation. Les données hydrauliques concernant le réseau de la ville de Boufarik et de son fonctionnement ont été recueillies grâce à la collaboration des services techniques de l'algérienne des eaux (ADE) unité de Boufarik et la direction de ressources en eau (DRE) de la wilaya de Blida.

Le support cartographique permettant la compréhension du système de distribution correspond à des plans comprenant les indications sur les conduites constituants le réseau, les vannes, les poteaux d'incendies, etc. Ces dernières informations auront pour objectifs la planification de tout le travail de diagnostique à réaliser sur le terrain pour la réalisation des campagnes de mesures pour validation des résultats obtenus par la simulation. Il y'a aussi les données commerciales telle que la configuration des secteurs, les nombres d'abonnés, etc.

III.2/ Les outils de traitement des données

III.2.1/ Présentation du SIG

Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. La mise en place d'un système d'information géographique (SIG) pour le gestionnaire du réseau d'eau potable avec la constitution des bases de données descriptives du réseau, il aide à manipuler les données sur ordinateur pour simuler des solutions de rechange et prendre les décisions les plus efficaces. (Habbeddine, 2016)

Les informations nécessaires pour une simulation qui se rapproche au maximum du fonctionnement réel du réseau sont :

- Les informations sur les entités linéaires qui sont principalement les tronçons de conduites (Leurs longueurs, diamètre, nature, emplacement et si possible l'année du pose) ;

- Les informations sur les entités ponctuelles qui peuvent être les vannes, les nœuds, les poteaux d'incendies et même des réservoirs et forages. Dans ce cas se sont les caractéristiques techniques de chaque équipement et éléments qu'il faut connaitre. (Medjahdi & Medjdoub, 2019)

Le traitement des données collectées a été effectué sous diverses formes :

1. Le transfert des données collectées de notre zone d'étude vers le logiciel Arc Gis ;
2. Une base de données crée à travers ce logiciel pour regrouper les diverses informations concernant le réseau d'AEP de la ville de Boufarik
3. Utilisation de logiciel Arc Gis 10.5 pour des représentations cartographiques thématiques. (Kharchi, Medjeneh, & Legouireh, 2022) ; (Mosteghanemi & Taleb, 2017)

III.2.2/ Composant du SIG

Un SIG est constitué de cinq composants majeurs :

a. Les logiciels

Les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations sont offerts par les logiciels SIG. Les principales composantes logicielles d'un SIG sont :

- Acquisition : Les outils permettant la saisie et la manipulation des informations géographiques sous forme numérique.
- Archivage : Un système de gestion de base de données (SGBD).
- Analyse : Des outils géographiques de requête et manipulation.
- Affichage : mise en forme et visualisation.
- Abstraction : Une interface graphique utilisateur pour une utilisation facilitée, c'est-à-dire la représentation du monde réel.

b. Les données

Les données sont la composante la plus importante des SIG, comprenant Les données géographiques (spatiales) et les données attributaires (alphanumériques). Elles sont à la base d'un projet Géomatique.

1. Données géographique (spatiales)

Déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique quel que soit :

La localisation : coordonnée par rapport à une échelle graphique de référence.

La forme : point, ligne ou polygone.

La taille : longueur, périmètre ou surface.

2. Données associées

Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone. Parmi ses données on distingue:

- Donnée de classification : Elle range le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie (conduite de réseau d'eau, limite administrative…).
- Donnée d'identification : Elles permettent d'identifier chaque objet figurant sur le plan de façon unique.
- Données attributaires : Elles permettent d'apporter une information supplémentaire propre à chaque objet identifié (diamètre, longueur...).

Elles peuvent être obtenues de deux manières :

- Constitution interne, à travers une saisie manuellement effectuée par l'opérateur.
- Importées à partir de fichier ou les producteurs de données spécialisés.

c. Les matériels informatiques

Le traitement des données se fait à l'aide des logiciels sur un ordinateur. Pour cela, les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs.

d. Les méthodes

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation. Il fait appel à divers savoir-faire et donc diverses techniques qui proviennent généralement des compétences multidisciplinaires.

e. Les utilisateurs

Comme tous les utilisateurs de SIG ne sont pas forcément des spécialistes, un SIG propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet.

Avec l'évolution des SIG vers des plateformes en ligne, la communauté des utilisateurs de SIG s'accroît de façon considérable chaque jour.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Par conséquent, il est raisonnable de penser qu'à une échéance très courte, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG. (Habbeddine, 2016) ; (Atba, 2013) ; (Cherif, 2015) ; (Kharchi, Medjeneh, & Legouireh, 2022) ; (Mosteghanemi & Taleb, 2017).

III.2.3/ La structure du SIG

La structure d'un SIG repose sur 4 groupes de fonctionnalités au-dessous d'une couche d'application :

- L'acquisition des données géographiques d'origines diverses.
- La gestion pour le stockage et la recherche des données.
- L'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation.
- La présentation des résultats sous forme cartographique. (Habbeddine, 2016) ; (Atba, 2013) ; (Cherif, 2015)

III.3/ Utilisation des SIG pour l'étude du réseau d'AEP de Boufarik

III.3.1/ Le réseau

Le réseau d'AEP de commune de Boufarik a été modélisé à l'aide du logiciel ArcGIS. La carte ci- dessous représente la structure globale du réseau après la digitalisation :

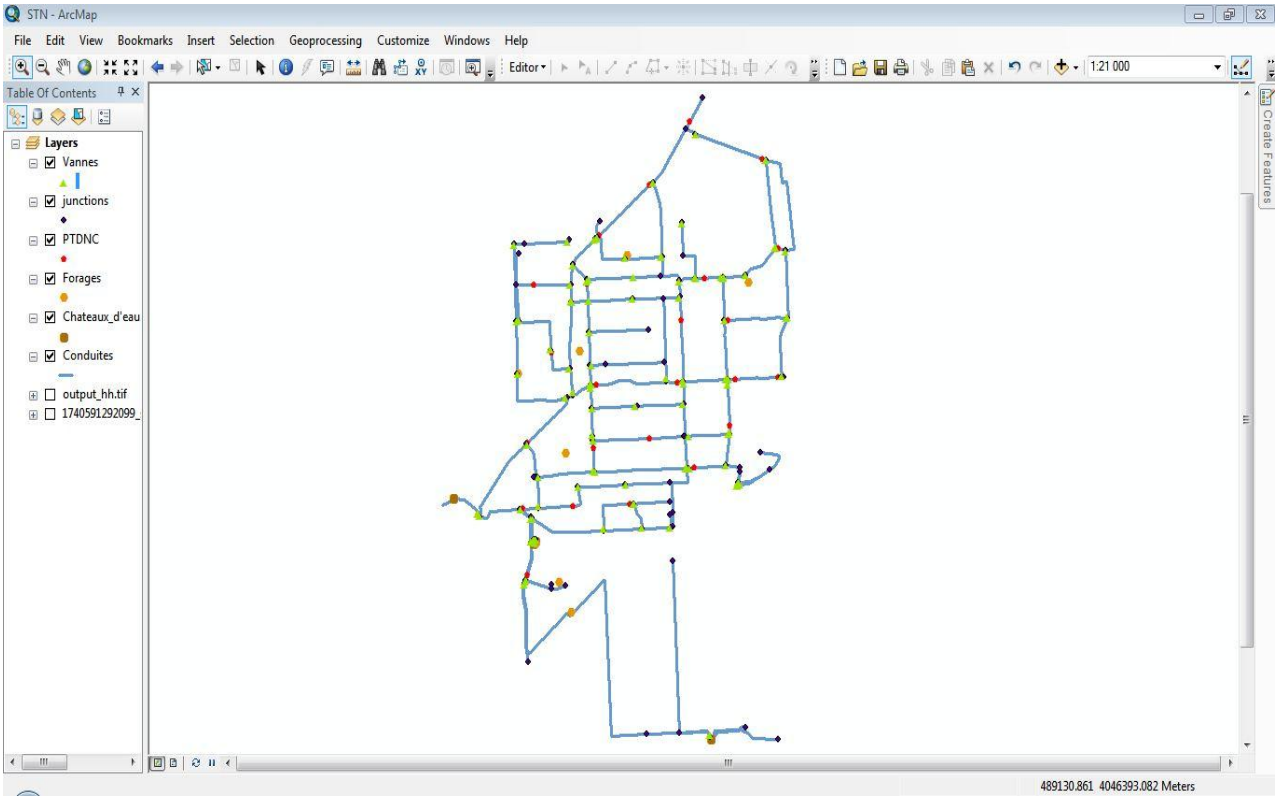

Figure III. 1: Cartographie du réseau d'AEP de Boufarik.

III.3.2/ Les conduites

La digitalisation de notre réseau s'est faite à partir de l'image raster du plan du réseau à l'échelle 1/3000 ème, alors que la saisie des données alphanumérique s'est faite à partir d'un listing décrivant les caractéristiques des conduites.

Les étapes suivies :

- Géo référencement de l'image raster.
- Vectorisation des conduites principales.

Création de la table attributaire « conduites » contenant les champs suivant :

- Le numéro de la conduite ;
- Matériau de la conduite ;
- Les Nœuds d'extrémité ;
- La longueur de la conduite ;
- Diamètre de la conduite.

Table

Conduites

Shape *	Nature	Label	NODE1	NODE2	LENGTH	DIAMETER
Polyline	AC	99905	743	501	406.849243	630
Polyline	TP	99936	743	554	232.701301	600
Polyline	FONTE	99937	743	555	431.476544	500
Polyline	PEHD	99938	46	550	204.460238	250
Polyline	PEHD	99939	550	549	888.97328	250
Polyline	FONTE	99901	501	4	2233.477768	500
Polyline	AM/C	99720	741	935	484.777572	300
Polyline	PEHD	99903	714	933	932.24258	315
Polyline	FONTE	99923	505	504	129.336334	500
Polyline	PEHD	99917	512	511	184.109622	160
Polyline	PEHD	99930	934	545	89.18671	160
Polyline	PEHD	99922	537	506	130.890752	250
Polyline	PEHD	99933	539	540	16.523525	250
Polyline	PEHD	99932	741	742	17.776722	250

Figure III. 2: La table attributaire des conduites.

III.3.3/ Les nœuds

Les nœuds représentés sont les points où se rejoignent trois conduites ou plus où bien deux conduites et une sortie

La saisie des données relatives à ces nœuds constitue une étape fondamentale dans la construction du SIG. Car c'est à partir de celle-ci que se définit la configuration physique du réseau.

Table

junctions

FID	Shape *	Label	Elevation
0	Point	501	75.487549
1	Point	502	63.838459
2	Point	504	64.052917
3	Point	505	63.947174
4	Point	506	63.923832
5	Point	511	67.274765
6	Point	512	68.116249
7	Point	537	63.8311
8	Point	539	63.938118
9	Point	540	64.504776
10	Point	545	66.092331
11	Point	549	64.022232

Figure III. 3: La table attributaire des nœuds.

III.3.4/ Les réservoirs

Les caractéristiques des réservoirs ont été communiquées par l'ADE.

La table réservoirs est organisée comme suit :

- La capacité des réservoirs ;
- Le type et la hauteur des réservoirs ;
- Les coordonnées des réservoirs ;

Chateaux_d'eau

Nom	Type	Capacité	CTN	CR	CTP	Coord X	Coord Y
CH1500	Surélevé	1500	66.47	89.97	94.77	491435.86	4046766.2
R500	Surélevé	500	66.47	66.97	69.77	491435.86	4046766.2
CH1000	Surélevé	1000	76.8	102.7	109.93	492483.16	4045744.9

Figure III. 4: La table attributaire des réservoirs de Boufarik.

III.3.5/ Forages

Cette table décrit les caractéristiques des forages, soit :

- Les coordonnées des forages ;
- Le débit exploité.

Forages

Forages	X	Y	CTN	Quartier	Débit Act	DC ID
F1	492643.48	4047056.48	60.64	Ville Boufarik	4	732
BF5	491439.29	4046754.69	66.47	Ville Boufarik	1.2	733
BF7	491577.87	4046553.75	68.83	Ville Boufarik	0.4	734
F4	491611.85	4047220.52	59.74	Ville Boufarik	5.8	735
BERRIANE	491646.77	4046400.87	71.04	Ville Boufarik	0.5	736
F 1140L	491330.79	4047634.03	54.72	Ville Boufarik	2.1	737
MIMOUNE	492704.89	4048105.36	49.19	Ville Boufarik	0	738
LYCEE ZIDANE	491983.29	4048243	45.08	Ville Boufarik	4.4	739
STADE	491700.55	4047748.86	52.37	Ville Boufarik	3.5	740

Figure III. 5: La table attributaire des forages de Boufarik.

III.4/ Le modèle WaterCAD

III.4.1/ Présentation du modèle

WaterCAD est une application facile à utiliser qui offre la possibilité de simuler le fonctionnement hydraulique et la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution (Gasmi, 2024). Beaucoup de service municipalités, services publics et entreprises d'ingénierie font confiance à WaterCAD en tant qu'outil fiable et économique qui facilite la prise de décision pour leurs infrastructures hydrauliques. (Aboubekr & Baba ahmed, 2017) ; (Benzineb & Wendpouire, 2018)

WaterCAD est disponible avec plusieurs interfaces :

- Interface utilisateur graphique autonome.
- Interface Auto CAD intégrée.
- Interface Arc View vs Arc Info intégrée. (Abekhti & Harid, 2018)

Water CAD offre une assistance pour analyser, concevoir et optimiser les réseaux de distribution d'eau, que ce soit pour le contrôle des systèmes de lutte contre les incendies à l'analyse de l'eau, de la consommation énergique et à la gestion des coûts. (Aboubekr & Baba ahmed, 2017) ; (Gasmi, 2024)

WaterCAD propose de nombreux outils logiciels :

- Planification intelligente pour un système fiable : La capacité du réseau d'eau à servir ses usagers de manière adéquate doit être évaluée dès que la croissance du système est anticipée. WaterCAD permet d'identifier efficacement les éventuelles zones de difficultés, tenir compte de la croissance de la zone de service et planifier les améliorations majeures.

- Exploitation optimisée pour un système efficace : Il peut être difficile de modéliser de manière réaliste le fonctionnement d'un système d'eau complexe alors que WaterCAD permet de modéliser précisément les pompes, optimiser les stratégies de pompage, et planifier les fermetures et les opérations de routine afin de minimiser les perturbations.

- Soutien fiable à la décision de renouvellement de l'actif pour un système durable : Quand vient le moment de renouveler ou de remplacer les infrastructures d'eau, la quantité d'informations relatives aux actifs à prendre en compte est énorme. Les outils de WaterCAD tels que Pipe Renewal Planner facilitent la tâche en analysant et comparant une large gamme de variables afin de hiérarchiser les décisions de renouvellement. (Gaouas & Fellah, 2017)

Les fonctions intégrées de gestion de la qualité de l'eau permettent aux ingénieurs d'analyser les constituants, l'âge de l'eau, le mélange d'eau dans les réservoirs et la traçabilité de la source afin d'assurer la programmation complète de la chloration. (Madouni, 2013)

Avec Water CAD, les utilisateurs peuvent également évaluer le volume d'eau disponible pour la défense incendie. L'application calcule la quantité d'eau mobilisable à chaque bouche d'incendie ou groupe de bouches d'incendie, Les utilisateurs déterminent rapidement et avec précision la capacité du réseau à assurer une protection efficace contre les incendies. (Madouni, 2013) ; (Aboubekr & Baba ahmed, 2017)

Il est important de préciser la capacité du réseau à garantir une protection efficace contre les feux. En outre, les commandes d'exploitation basées sur des règles, le pompage à vitesse variable, la modélisation des fuites et les dispositifs de vidange unidirectionnelle permettent aux utilisateurs de repérer les goulets d'étranglement, diminuer la consommation d'énergie et représenter diverses actions sur le réseau. (Madouni, 2013) ; (Gasmi, 2024)

III.4.2/ Les outils d'importation des données

Les outils permettant l'importation de données depuis ces programmes sont :

- Trex : permet d'assigner des altitudes aux éléments à partir de programmes comme AutoCAD, Excel, etc.

- ModelBuilder : utilisé pour importer la topologie du réseau à partir d'un autre logiciel de dessin.

- Thiessen Polygon Builder : utilisé pour l'attribution des demandes en créant et important des polygones de Thiessen dans un logiciel SIG. (Rodrigo, 2020)

- LoadBuilder : sert à importer des bases de données SIG pour attribuer les demandes aux nœuds. Ce module présente une réelle aide aux ingénieurs et un gain de temps considérable, car il donne l'avantage de calculé les demandes de base pour chaque nœud en juste quelques secondes et cela au travers de multiples méthodes de calcul de répartition de débit. (Benzineb & Wendpouire, 2018) ; (Rodrigo, 2020)

III.4.3/ Principales caractéristiques de WaterCad

Les principales caractéristiques de WaterCAD sont les suivantes :

- Simulation sur période prolongée pour les systèmes de distribution d'eau, incluant les pompes, réservoirs, canalisations, connexions, égouts, canaux ouverts et vannes ;
- Étude de la lutte contre les incendies dans des conditions extrêmes du système ;
- Simulation en régime permanent ;
- L'analyse de criticité ;
- Suivi de la source ;
- Analyse du mélange d'eau dans les réservoirs ;
- Le pompage à vitesse variable ;
- La gestion de la consommation d'énergie et des coûts d'infrastructure ;
- L'analyse de la consommation en fonction de la pression ;
- La modélisation des vannes ;
- Analyse de l'âge de l'eau ;
- Commandes basées sur des règles ou logiques. (Madouni, 2013) ; (Gasmi, 2024) ; (Boukhari & Bacha, 2018) ; (Bensalah & Bensalah, 2020) ; (Benzineb & Wendpouire, 2018)

La saisie et l'affichage des informations des systèmes sur le dessin de logiciel et dans les tableaux des résultats (Flex Table) peuvent être affichés en unités métrique ou impériale selon les préférences de l'utilisateur.

La réalisation de la simulation nécessite la connaissance des données suivantes :

- La structure du réseau hydraulique ;
- Les caractéristiques des conduites longueur, diamètre, matériaux… ;
- Les courbes caractéristiques des pompes ;
- Les consignes des vannes installées. (Derrar, 2023)

III.5/ Buts de la modélisation du réseau d'AEP sur ArcGIS - WaterCAD

- Connaitre le fonctionnement hydraulique du réseau sur les différents horizons actuels et futurs et aussi d'estimer les besoins en renforcement et en extension du réseau.
- Ce couplage nous a permis de faire la simulation de fonctionnement du réseau dans la même base de donnée déjà créée sur arc gis c'est-à-dire que les données hydrauliques tels que

la vitesse, pression, perte de charge peuvent être consultés directement dans la même table attributaire d'ArcGIS.

- 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.
- Coté exploitation, cette modélisation offre la possibilité d'analyser 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 précieux pour l'établissement des programmes de développement durable et des projets de mobilisation à l'échelle sectorielle. (Gaouas & Fellah, 2017)

Conclusion

La modélisation à l'aide de WaterCAD et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) a démontré l'importance des outils numériques dans la compréhension du comportement des réseaux complexes et l'évaluation de leurs performances. Ce travail a mis en évidence les possibilités d'amélioration de l'exploitation du réseau ainsi que la planification de sa réhabilitation ou de son redimensionnement. Ce type d'analyse demeure une étape essentielle pour tout projet visant à assurer la continuité et la qualité de l'alimentation en eau potable.

CHAPITRE IV :

Résultats et interprétation

Introduction

L'automatisation d'un système hydraulique est un assemblage des composants hydraulique, mécanique, électronique et même informatique qui fonctionnent de manière élémentaire et complémentaire.

Ce chapitre contient le noyau de notre projet, dans lequel nous avons procédé à la réalisation d'un système prototype d'automatisme du circuit hydraulique du projet étudié en chapitre précédent sur un modèle réduit.

Nous avons montré les éléments constituant l'installation de notre circuit hydraulique. Ces différents éléments sont utiles à la conception de notre projet, ainsi nous allons commander ce petit réseau hydraulique par le biais d'un microcontrôleur.

IV.1/ Les données nécessaires à la construction du modèle

La réussite de la modélisation d'un réseau d'alimentation en eau potable repose essentiellement sur la qualité, la fiabilité et la rigueur des données techniques mobilisées. Avant toute simulation, un travail préliminaire indispensable consiste à concevoir le schéma topologique et hydraulique du réseau, en s'appuyant sur des données précises et complètes. Ce schéma, réalisé à l'aide du logiciel WaterCAD, constitue la base de toutes les analyses hydrauliques futures.

Cette étape fondamentale implique la collecte, la structuration et l'intégration de multiples informations : les longueurs, diamètres nominaux et coefficients de rugosité des canalisations (selon la formule de Hazen-Williams), les points de consommation, les débits de base affectés aux nœuds, ainsi que les caractéristiques géométriques des réservoirs (cote de radier, cote de trop-plein, capacité de stockage). Ces paramètres sont cruciaux pour assurer une représentation fidèle du comportement réel du système.

La topographie du terrain, quant à elle, joue un rôle déterminant. Elle permet de calculer les pressions piézométriques en comparant l'altitude du sol -saisie dans le modèle- à la cote hydraulique issue des calculs. Ainsi, la précision altimétrique conditionne directement la fiabilité des résultats simulés.

L'exploitation des données issues du Système d'Information Géographique (SIG) facilite la localisation exacte de chaque composant du réseau, tout en assurant une meilleure intégration des relevés topographiques et des coordonnées GPS. Ces données, généralement fournies par les

autorités de gestion (telles que l'ADE), sont organisées dans des formats exploitables par les logiciels de modélisation.

Une fois l'ensemble des paramètres saisis, vérifiés et validés, la simulation en régime permanent est lancée via WaterCAD. Le calcul hydraulique, effectué à l'aide des outils intégrés au logiciel, génère des résultats graphiques quasi instantanés. Ces derniers permettent d'évaluer la répartition des pressions, les vitesses d'écoulement, les pertes de charge, ainsi que d'identifier d'éventuelles anomalies telles que des surpressions ou des sous-pressions.

En somme, la représentativité d'un modèle hydraulique dépend avant tout de la rigueur méthodologique adoptée lors de la phase de collecte des données. Plus ces données sont précises, plus le modèle sera fiable et exploitable pour la prise de décisions techniques.

IV.2/ Modélisation hydraulique sur WaterCAD

La modélisation hydraulique du réseau d'alimentation en eau potable de la commune de Boufarik repose sur des données issues principalement des plans fournis par l'Algérienne des Eaux (ADE) de Boufarik, enrichies par des relevés topographiques et des coordonnées GPS.

L'essentiel du réseau structurant a été intégré dans le modèle informatique. La topologie a été construite à partir de fichiers shapefiles importés dans le logiciel WaterCAD, permettant une schématisation fidèle du réseau réel. (SOGREAH, 2011)

Le modèle se compose de :

• 128 nœuds ;

• 157 conduites ;

• 3 châteaux d'eau surélevés ;

• 3 champs de captage ;

La simulation a été effectuée en régime permanent (Steady-State), sur la base d'une consommation journalière moyenne estimée à 150 litres par habitant et par jour. Le fonctionnement des réservoirs est supposé normal, sans prise en compte des fuites ni des pertes non maîtrisées.

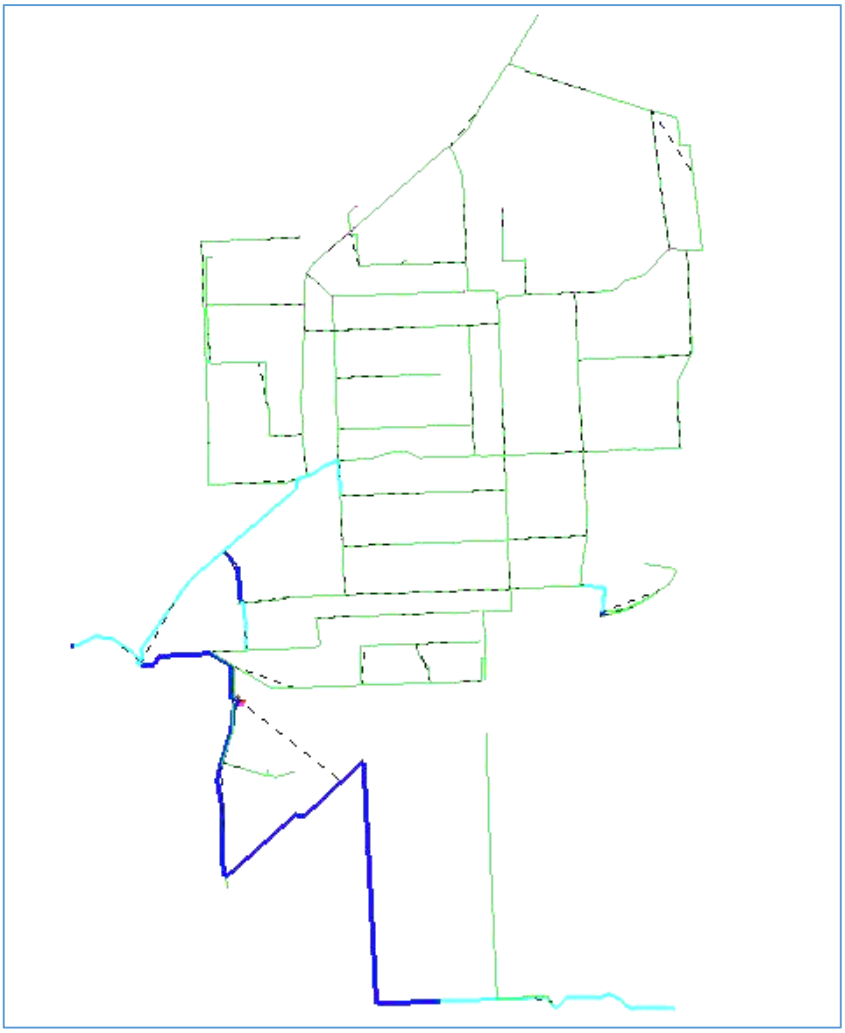

Figure IV. 1: Schéma du réseau de distribution.

IV.3/ Diagnostic du réseau d'AEP de Boufarik

IV.3.1/ Nœuds du réseau

Dans un modèle hydraulique, chaque nœud représente un point stratégique du réseau, tel qu'un départ de branchement, un changement de diamètre, un point haut topographique, un point de desserte ou encore une connexion avec un équipement. (SOGREAH, 2011)

L'analyse des pressions statiques enregistrées aux nœuds montre une distribution généralement conforme aux standards urbains, avec des valeurs comprises entre 2,5 et 6 bars, assurant ainsi une alimentation correcte aux niveaux bas des habitations.

Tableau IV. 1: Les caractéristiques extraites des nœuds dans WaterCAD.

ID	Label	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (bars)	X (m)	Y (m)
32	J-2	49	94.99	4.501	491 320.81	4 047 633.60
34	J-3	46	94.86	4.782	491 314.79	4 047 904.60
35	J-4	45	94.81	4.875	491 328.76	4 047 905.13
37	J-5	59	93.03	3.33	492 249.10	4 046 841.49
38	J-6	59	92.97	3.324	492 234.03	4 046 836.72
40	J-7	62	93.23	3.057	491 425.17	4 046 776.47
41	J-8	62	93.14	3.048	491 424.11	4 046 759.98
47	J-12	41	94.47	5.233	491 967.10	4 048 227.86
49	J-13	51	94.95	4.301	491 621.93	4 047 510.81
50	J-14	50	94.91	4.395	491 652.91	4 047 523.13
53	J-16	43	93.96	4.988	492 681.00	4 048 144.82
55	J-17	41	93.94	5.181	492 919.85	4 048 273.15
56	J-18	40	93.96	5.281	492 859.99	4 048 279.17

IV.3.2/ Tronçons

Les tronçons représentent les conduites reliant deux nœuds, et sont définis dans le modèle par leurs dimensions (longueur, diamètre) ainsi que par leurs caractéristiques hydrauliques, notamment la rugosité interne.

L'analyse des vitesses d'écoulement met en évidence une dynamique satisfaisante dans les zones situées en altitude, avec des vitesses conformes aux normes recommandées.

En revanche, des vitesses d'écoulement faibles ont été relevées au niveau de certaines sections périphériques, favorisant la stagnation de l'eau, l'accumulation de particules en suspension, et entraînant une détérioration progressive de la qualité de l'eau distribuée.

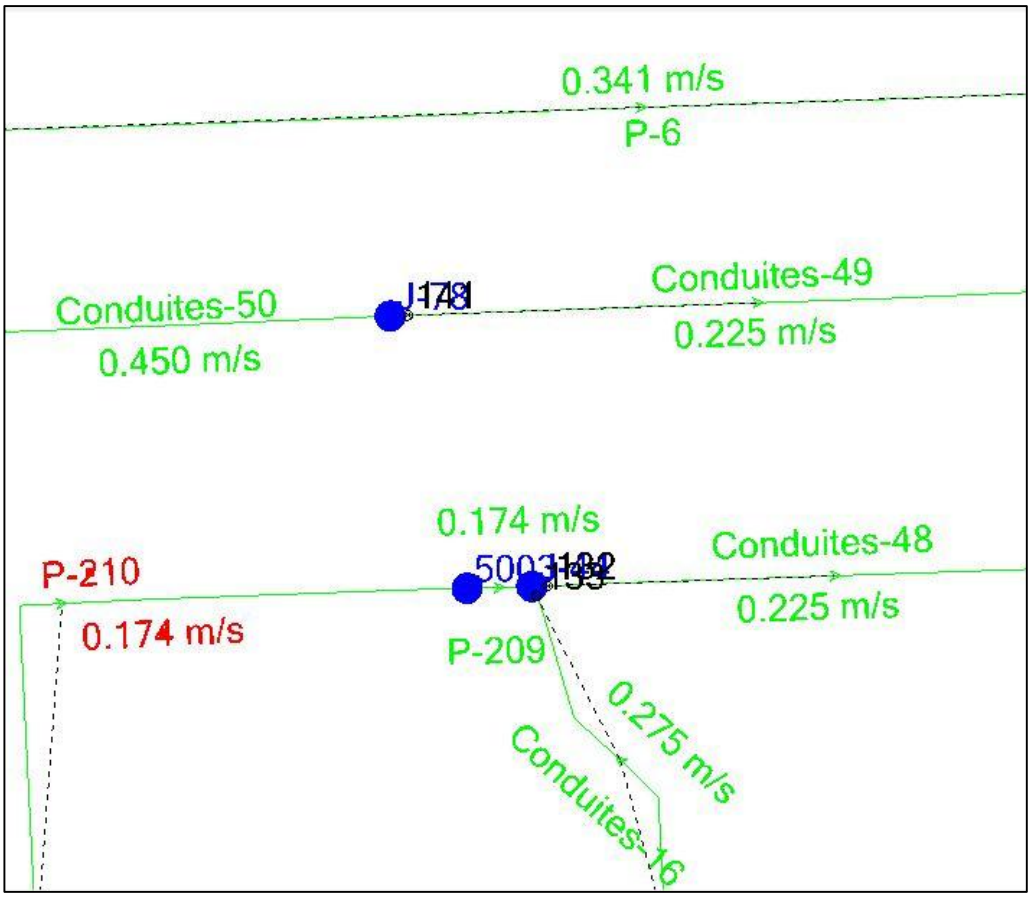

Figure IV. 2: Conduites à faible vitesse d'écoulement représentées dans le modèle WaterCAD.

Cette situation traduit un déséquilibre hydraulique manifesté entre les zones centrales et les extrémités du réseau, nuisant à l'uniformité de la desserte. Afin de compenser ce déficit d'alimentation dans certaines zones mal desservies, l'ADE a mis en œuvre une solution transitoire consistant en une injection directe à partir des forages F1 et F2. Toutefois, ce dispositif d'injection directe est susceptible de perturber l'équilibre hydraulique du réseau et d'engendrer des dysfonctionnements à moyen ou long terme.

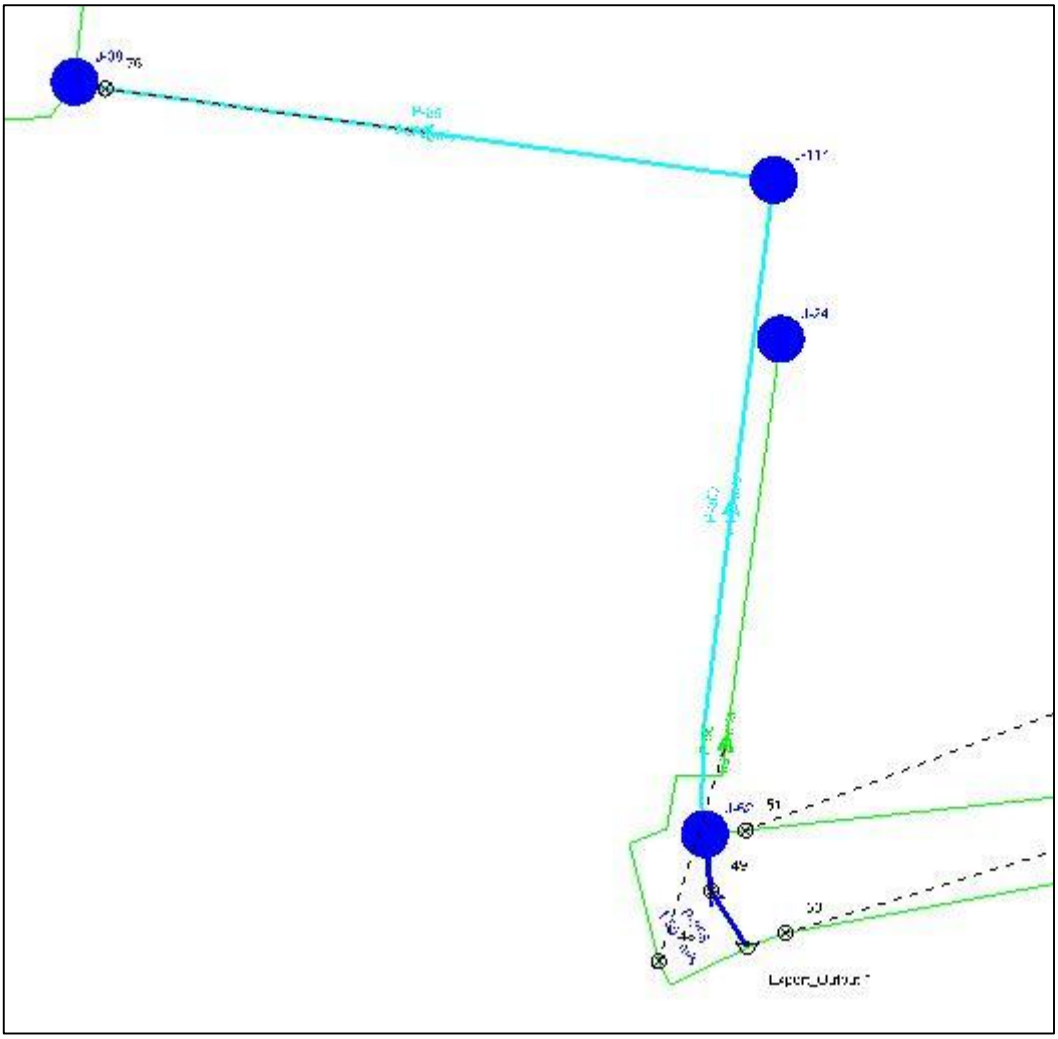

Figure IV. 3: Représentation de conduite d'injection directe.

IV.3.3/ Réservoirs

Les réservoirs inclus dans le modèle sont définis par leurs altitudes (sol, radier et trop-plein), leurs formes géométriques ainsi que leurs surfaces de base. Leur modélisation permet de simuler leur rôle réel dans la régulation du débit et de la pression au sein du réseau.

Ainsi, nous avons relevé une différence importante d'altitude entre les réservoirs et certaines zones desservies entraînant une irrégularité de pression, notamment dans les quartiers situés à des altitudes intermédiaires ou élevées.

Tableau IV. 2: Caractéristiques géométriques et hydraulique des réservoirs d'eau.

ID	Label	Elevation (Base) (m)	Elevation (Min) (m)	Elevation (Int) (m)	Elevation (Max) (m)	Diameter (m)	Hydraulic Grade (m)
336	Château d'eau 1	66.47	89.97	91.97	94.77	2	91.97
338	Château d'eau 3	76.8	102.7	104.7	109.93	2	104.7
910	Château d'eau 2	91.66	101.66	103.66	108	2	103.66

IV.4/ Simulation hydraulique du réseau d'AEP

Le réseau de distribution d'eau potable de la commune de Boufarik est considéré comme relativement récent, ce qui pourrait laisser penser qu'il fonctionne correctement. Cependant, la simulation hydraulique réalisée à l'aide du logiciel WaterCAD a révélé plusieurs anomalies dans certaines zones du réseau. Cela montre qu'un réseau peut sembler en bon état, tout en présentant des déséquilibres au niveau de la pression ou du débit. Cette simulation nous a ainsi permis de mieux comprendre le comportement réel du système et d'identifier les points à améliorer.

IV.4.1/ Pression dans les nœuds

L'analyse globale de la carte de pression générée par le modèle met en évidence une variation significative entre les différentes zones du réseau. Si la majorité des secteurs présente un fonctionnement hydraulique satisfaisant, certaines parties du réseau connaissent des pressions faibles ou irrégulières.

Les pressions enregistrées varient généralement entre 2,5 et 6 bars (en bleu), assurant ainsi une alimentation en eau satisfaisante, notamment dans les zones urbaines situées à une altitude moyenne. En revanche, les zones apparaissant (en rose) correspondent à des secteurs où la pression est excessive, un phénomène souvent observé dans les zones basses ou à proximité

des réservoirs, où l'effet gravitationnel et la courte distance entraînent une pression dépassant les 6 bars.

Ces constats soulignent la nécessité d'un renforcement hydraulique localisé dans certaines zones sensibles, qu'il s'agisse d'un ajustement des équipements existants, d'un recalibrage des conduites, ou de la mise en place de solutions alternatives pour garantir une pression constante et conforme aux normes de distribution.

Cependant, des écarts apparaissent dans certains secteurs : les zones d'habitat collectif de grande hauteur affichent des pressions supérieures à 6 bars, ce qui est nécessaire pour satisfaire les besoins d'alimentation des étages supérieurs, comme c'est le cas de la zone (G18), qui regroupe plus de 3400 abonnées et comprend des bâtiments de R+5 à R+7.

Cette disparité soulève plusieurs enjeux :

- Un excès de pression dans des tronçons anciens, augmentant les risques de fuites à long terme.
- Une variabilité de pression entre les zones basses et hautes, indiquant une inadéquation entre la configuration altimétrique et la distribution hydraulique.

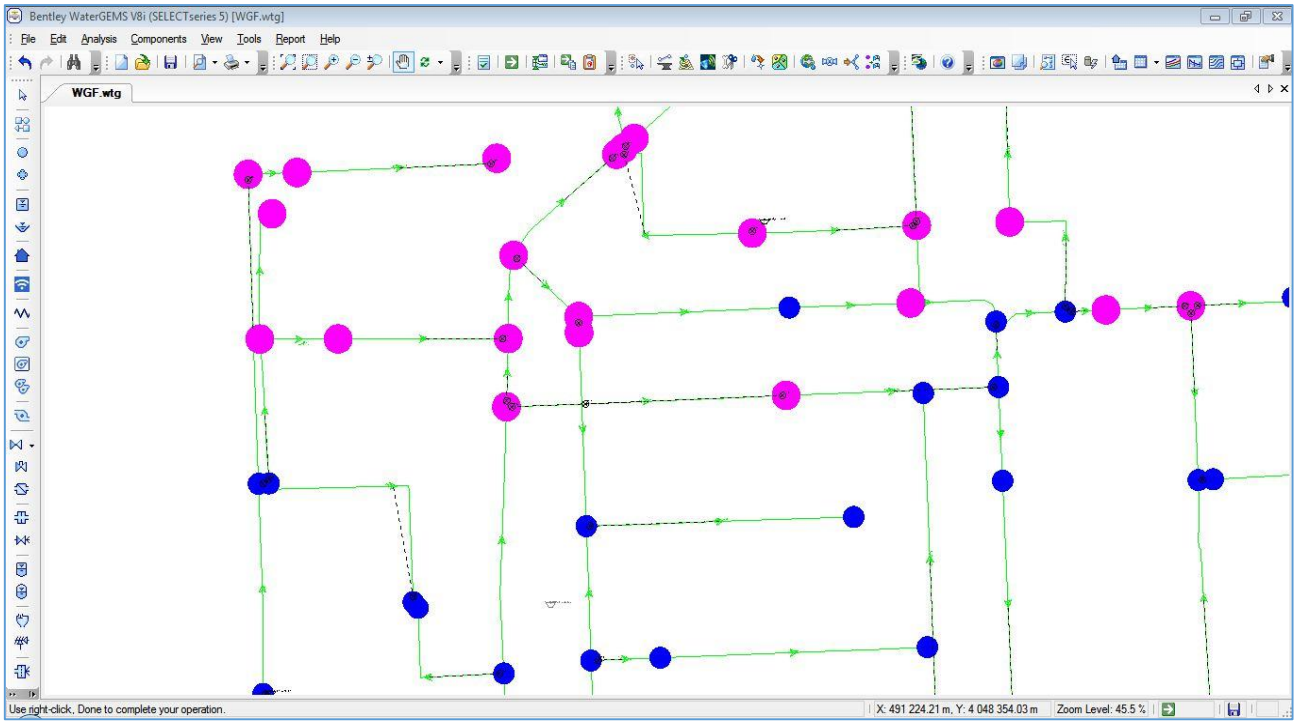

Figure IV. 4: Variation des pressions aux nœuds.

IV.4.2/ Débit dans les conduites

Les conduites principales affichent des débits globalement conformes à leur capacité nominale, à l'exception de certaines sections (par exemple la conduite, où un débit très faible a été observé). Cette situation peut indiquer soit un surdimensionnement de la conduite, soit une insuffisance d'alimentation, comme en témoignent les pressions faibles relevées en amont ou en aval.

Le calcul des débits a été effectué en s'appuyant sur des relations hydrauliques établies (notamment la formule de Hazen-Williams).

Methodologies de calcul appliqué

- **Le débit de pointe**

Pour calculer le débit de pointe dans un réseau d'alimentation en eau potable, on utilise une expression basée sur la population desservie, la dotation journalière moyenne par habitant, ainsi qu'un coefficient de pointe qui tient compte des variations maximales de la consommation (journalières ou saisonnières).

Ce modèle est largement utilisé dans la phase de dimensionnement des réseaux afin de déterminer les diamètres des conduites, la capacité des réservoirs ainsi que les pressions de fonctionnement. Il est validé dans la littérature technique nationale et internationale. (OMS, 2011 ; Tchobanoglous,Schroeder**,** 1985 **;** NF**,** 1992 ; MRE, 2006)

$$Q = \frac{\mathrm{P} \times \mathrm{Dotation} \times K_P}{T}$$

Avec :

Q : débit de pointe (l/s ou m³/s).

P : la population.

Dotation : dotation journalière par habitant (l/hab/j**).**

K_p : coefficient de pointe.

Ainsi :

$$Q = \frac{71446 \times 150 \times 3}{86400} = 372{,}11 \text{ l/s.}$$

- **Le débit spécifique**

Après avoir déterminé le débit de pointe global, celui-ci est réparti sur les différentes sections du réseau en utilisant le débit spécifique. Cette approche permet une meilleure estimation des pertes de charge, des pressions et du choix des diamètres des conduites (Mays,2000), notamment lorsqu'il n'existe pas de données de consommation précises par secteur :

$$Q_S = \frac{Q}{\sum longeur\ des\ conduit}$$

Avec :

Q_s : débit spécifique **(**l/s/m)

Q : Débit de pointe

Ainsi : $Q_s = \frac{372.11}{30290} = 0{,}12$ l/s/m.

L'estimation des pertes de charge et des pressions disponibles au niveau de chaque tronçon du réseau constitue une étape essentielle dans l'analyse des performances hydrauliques du système. En s'appuyant sur les résultats obtenus lors des étapes précédentes, le débit a été déterminé pour chaque section du réseau, à l'aide de la relation présentée ci-après :

$$Q_t = Q_S \times L$$

Q_t : le débit dans la conduite

Q_S : débit spécifique **(**l/s/m)

L : longueur de conduite (m)

IV.4.3/ Les pertes de charge (Hazen-Williams)

Le logiciel WaterCAD met en œuvre l'équation de Hazen-Williams de manière automatique afin d'estimer les pertes de charge au sein du réseau, en prenant en considération les caractéristiques hydrauliques introduites (diamètre, matériau, rugosité, débit).

L'analyse des résultats de la simulation effectuée à l'aide du logiciel WaterCAD, et en s'appuyant sur les équations hydrauliques standards, nous avons intégré le tableau suivant qui présentent les valeurs calculées pour les différentes sections du réseau.

Tableau IV. 3: Résultats hydrauliques extraits du modèle WaterCAD.

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Velocity (m/s)	Debit_Lin (L/s)	Headloss (m)
33	Conduites-21	14	J-3	J-4	147.6	PVC	147	0.703	0.168	0.0448
72	Conduites-81	91	J-29	J-30	141	PEHD	147	0.45	1.098	0.13522
88	Conduites-8	131	J-39	J-40	220.4	PEHD	149	0.466	1.571	0.11978
137	Conduites-89	278	J-69	T-3	600	AC	148	1.139	3.342	7.42335
458	P-9	187	J-4	J-87	141	PEHD	147	0.456	2.24	0.28318
479	P-30	91	J-71	J-6	220.4	PEHD	149	0.414	1.096	0.06721
484	P-35	146	J-57	J-80	220.4	PEHD	149	0.57	1.749	0.1935
485	P-36	119	J-37	J-80	220.4	PEHD	149	0.8	1.422	0.29472
497	P-48	24	Export_Output-8	J-12	277.6	PEHD	149	0.645	0.285	0.0303
506	P-57	15	Château d'eau-3	J-58	630	AC	148	1.154	0.18	0.02185
507	P-58	392	J-58	J-98	630	AC	148	1.12	4.698	0.54031
508	P-59	116	J-104	J-81	176.2	PEHD	149	0.476	1.392	0.14351
519	P-70	464	J-111	J-69	300	AM/C	147	1.52	5.568	2.71312

IV.5/ Analyse des profils en long du réseau hydraulique

L'étude des profils en long constitue un outil fondamental pour l'évaluation hydraulique du réseau. Elle permet de visualiser à la fois la topographie du terrain et la ligne piézométrique (HGL), offrant ainsi une meilleure compréhension du comportement de l'écoulement gravitaire et des pressions exercées dans les différentes zones du système. Cette analyse facilite l'identification des secteurs à risque de surpression ou de sous-pression, et oriente les décisions techniques en matière d'optimisation du réseau.

a/ le profil en long (l'axe Est-Ouest)

Le profil en long selon l'axe Est-Ouest (Figure IV.3), constitue un outil d'analyse efficace permettant d'appréhender la répartition des pressions en fonction des variations topographiques. Les résultats obtenus mettent en évidence un bon équilibre hydraulique, principalement dû à la disposition judicieuse des réservoirs et aux différences d'altitude entre les différents secteurs du réseau. Cette configuration permet une alimentation gravitaire fluide et continue. La ligne piézométrique (HGL) reste globalement au-dessus du terrain naturel, ce qui garantit une pression suffisante dans les points du réseau. Le réservoir R-8, situé à une altitude de 125 mètres, joue un rôle central dans la fourniture d'une hauteur manométrique adéquate. Toutefois, des pressions élevées (> 5 bars) ont été enregistrées dans certaines zones basses du réseau, notamment aux nœuds J-13 et J-69. Pour y remédier, l'installation de vannes de réduction de pression (PRV) est fortement recommandée afin d'éviter les surpressions et de préserver l'intégrité des équipements.

b/ le profil en long (Nord-Sud)

Le profil en long tracé sur l'axe Nord-Sud (Figure IV.4) révèle lui aussi une performance hydraulique stable, grâce à une conception soignée du réseau. La ligne piézométrique reste constamment au-dessus du terrain naturel, assurant ainsi un écoulement gravitaire efficace sans nécessité de pompage. Le réservoir en amont, situé à 104 mètres d'altitude, fournit une pression constante et suffisante sur l'ensemble de ce tronçon. Toutefois, la topographie est ici plus contrastée : certains points bas atteignent 35 mètres, ce qui entraîne localement des pressions très élevées, dépassant les 7 bars. Il est donc recommandé d'installer des PRV dans ces secteurs pour limiter les risques de surpression. Par ailleurs, la pente de la ligne piézométrique reste régulière et aucune zone de sous-pression n'a été identifiée, ce qui témoigne d'une distribution hydraulique bien équilibrée dans cette section du réseau.

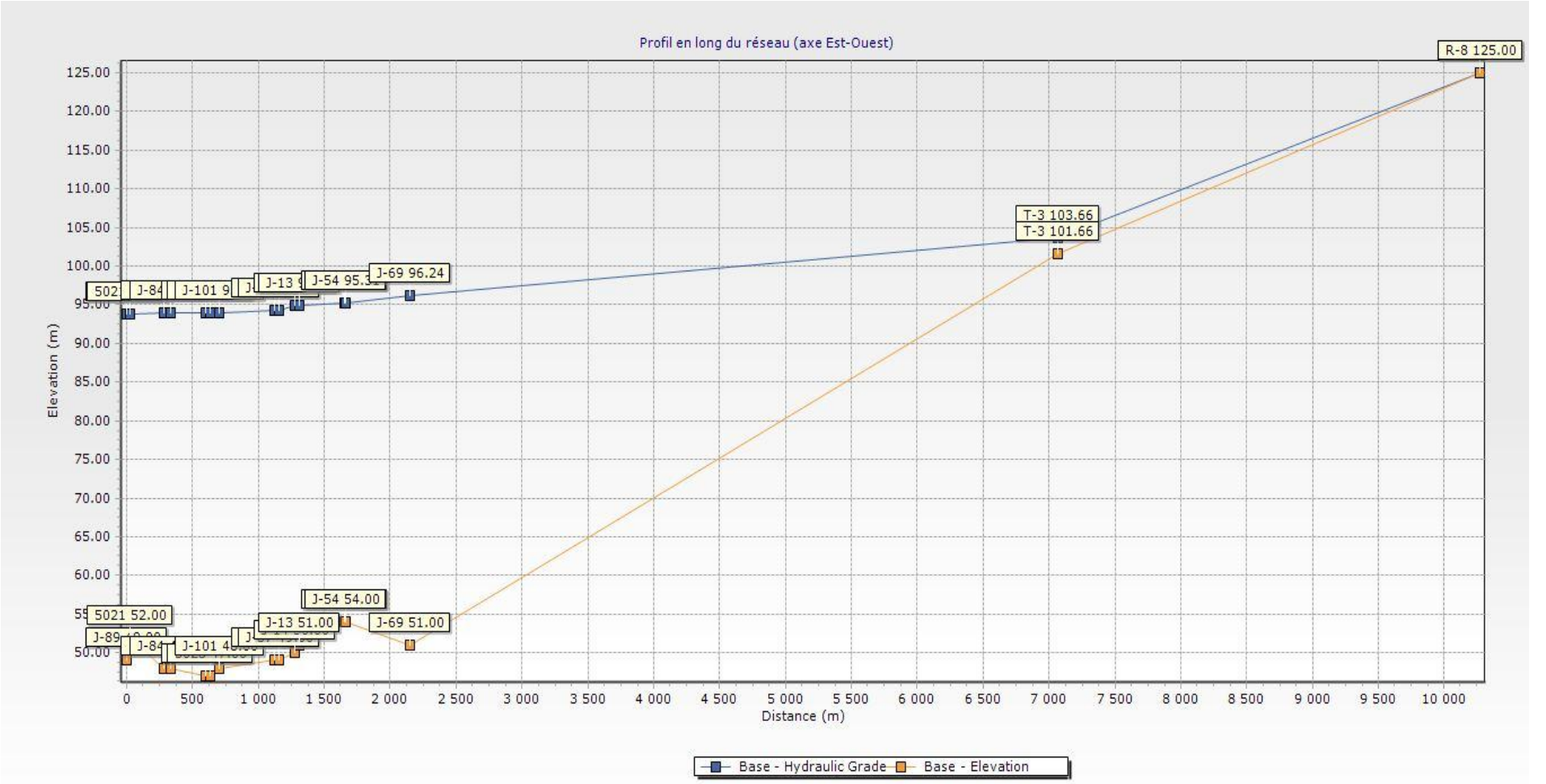

Figure IV. 5: le profil en long (l'axe Est-Ouest).

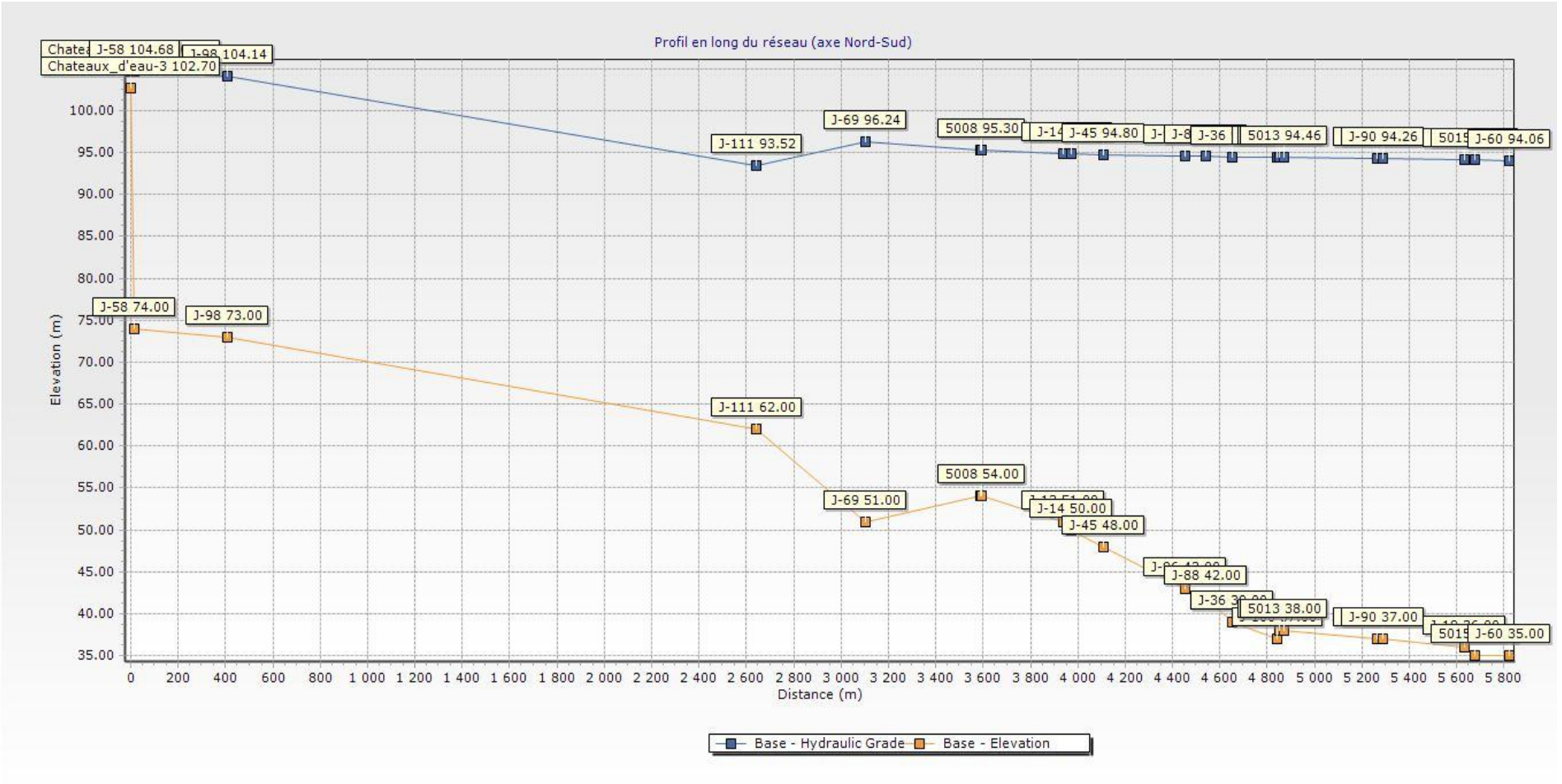

Figure IV. 6: Le profil en long (Nord-Sud)

IV.6/ Recommandations pour l'amélioration du réseau AEP de Boufarik

La simulation hydraulique a mis en évidence plusieurs déséquilibres dans la répartition des pressions au sein du réseau, principalement dus à la topographie irrégulière et à la configuration actuelle des réservoirs. Certaines zones basses enregistrent des pressions excessives, souvent supérieures à 5 bars, tandis que les zones en altitude présentent des pressions insuffisantes, compromettant la qualité du service.

Afin de remédier à ces dysfonctionnements et d'optimiser la performance globale du réseau, les recommandations suivantes sont proposées :

- Dans le but d'améliorer les performances hydrauliques du réseau, il est impératif de traiter l'anomalie constatée au niveau de la conduite reliant La conduite reliant le château d'Amiar au centre de l'ADE au réseau (en rouge). Cette conduite remplit à la fois les fonctions de refoulement et de distribution, ce qui engendre des déséquilibres en exploitation et augmente les risques de dysfonctionnement. Pour y remédier, deux approches peuvent être envisagées : soit l'aménagement d'un by-pass pour séparer les flux, soit la création de conduites spécifiques pour chaque usage. Cette séparation permettrait non seulement de mieux contrôler le régime d'écoulement, mais aussi d'optimiser le rendement du système et de maîtriser avec précision le temps de remplissage des réservoirs.

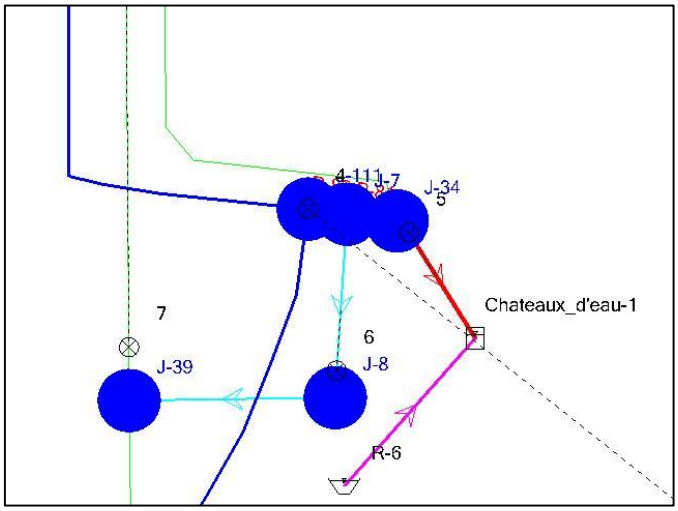

Figure IV. 7: La conduite reliant le château d'Amiar au centre de l'ADE au réseau.

- Certaines zones ont été identifiées avec des vitesses d'écoulement inférieures à 0,5 m/s, ce qui favorise le risque d'accumulation de dépôts au fil du temps. Pour y remédier, nous

prévoyons d'installer des regards de vidange à ces emplacements, afin d'éviter la formation de dépôts et de garantir la continuité du fonctionnement hydraulique.

- L'intégration d'un système de pompage automatisé, basé sur la demande réelle, permet de moduler l'injection d'eau en fonction des besoins, réduisant ainsi les risques de surpression pendant les périodes creuses.

- L'ajout de réservoirs tampons dans les secteurs sensibles permet de compenser les pics de consommation et d'atténuer les variations brusques de débit, garantissant un fonctionnement plus stable.

- L'installation de vannes de régulation de pression (PRV) dans les zones où la pression est excessive constitue une mesure de protection essentielle pour les équipements et favorise la durabilité des infrastructures.

- La mise en œuvre d'un système de télégestion garantit une surveillance continue du réseau, permettant une détection rapide des anomalies.

Conclusion

L'analyse des résultats issus de la simulation hydraulique a permis de révéler les points forts et les insuffisances du réseau actuel d'AEP. En examinant les différents éléments constitutifs du modèle (nœuds, tronçons, réservoirs et équipements hydrauliques) une lecture précise du comportement du système a été rendue possible.

Les pressions irrégulières, les vitesses faibles dans certaines sections, ainsi que les écarts altimétriques non compensés, traduisent une configuration hydraulique qui nécessite des ajustements ciblés. Ces constats confirment l'intérêt de la modélisation numérique comme outil d'aide à la compréhension et à l'optimisation du fonctionnement du réseau.

L'intégration des propositions formulées dans ce chapitre constitue ainsi une première étape vers une meilleure gestion du système d'alimentation en eau potable, à la fois plus performante et plus adaptée aux contraintes locales.

Conclusion générale

Dans le cadre de cette étude, une démarche analytique rigoureuse fondée sur l'utilisation d'outils numériques avancés a été mise en œuvre, combinant ArcGIS pour la modélisation géographique et WaterCAD pour la simulation du comportement hydraulique du réseau d'AEP de la ville de Boufarik. Cette méthodologie a permis une représentation fidèle de l'architecture du réseau ainsi qu'une compréhension approfondie des interactions entre ses composantes (nœuds, conduites, réservoirs, équipements).

Les résultats de la simulation ont montré une concordance significative avec les observations de terrain, et ont permis de diagnostiquer avec précision les dysfonctionnements du réseau, notamment les déséquilibres de pression, les faibles vitesses d'écoulement et l'influence de la topographie sur le fonctionnement hydraulique. Afin d'améliorer les performances du réseau, un ensemble de mesures techniques ont été proposées, incluant le renforcement du contrôle de la pression, l'automatisation du pompage en fonction de la demande, l'ajout de réservoirs tampons dans les zones sensibles, l'installation de dispositifs de vidange dans les sections à faible vitesse, ainsi que la mise en place d'un système de télégestion pour un suivi efficace du fonctionnement du réseau.

L'une des principales anomalies nécessitant une intervention spécifique concerne la conduite reliant la zone d'Amiar au centre de l'ADE, qui assure simultanément les fonctions de refoulement et de distribution. Cette configuration engendre des déséquilibres d'exploitation et accroît le risque de dysfonctionnement. Deux solutions peuvent être envisagées : soit l'aménagement d'un by-pass permettant de séparer les flux, soit la création de conduites distinctes pour chaque fonction. Une telle séparation permettrait un meilleur contrôle hydraulique, une optimisation du rendement global et une gestion plus précise des temps de remplissage des réservoirs.

Enfin, cette étude met en évidence le rôle fondamental de la modélisation hydraulique dans l'optimisation de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. Elle souligne également l'importance d'une stratégie proactive, intégrant des outils numériques intelligents et orientée vers la durabilité, face aux défis posés par l'évolution des besoins, les contraintes topographiques et les mutations urbaines.

Références Bibliographiques

Abderrahmane, M., & Bouaoua, Y. (2015). Rénovation et amélioration urbaine au niveau de la périphérie (La ville de Boufarik). Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Abekhti, F., & Harid, I. (2018). Modélisation d'un réseau d'AEP par deux logiciels avec élaboration d'un SIG. Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 -Guelma-.

Aboubekr, M., & Baba ahmed, M. (2017). Apport des SIG et de la modélisation hydraulique dans la gestion d'un système d'approvisionnement en eau potable- Cas du GUT. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Ameziane, S., & Belgherib, A. (2018). Prédiction des fuites dans les réseaux d'AEP en utilisant les réseaux Bayésiens. Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Atba, M. (2013). Modélisation d'un réseau d'alimentation en eau potable et contribution à sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique - Cas de la ville de GHAZAOUET-. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Attachi, Y., & Guerradi, M. (2019). Contribution du SIG à la modélisation d'un réseau d'AEP : Cas du quartier d'Al Shaab région du Noumerat (Metlili Nouvelle). Mémoire de Master. Université de Ghardaia.

Azzazi, F., & Benkarra, M. (2022). Étude du Schéma Directeur de renforcement à court terme du réseau d'AEP de la commune de Beni Messous (Wilaya d'Alger). Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Azzi, L. (2016). Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution a sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique. Diplôme de Magister. Université Mohamed Khider -Biskra-

Bakhtawar, B., Fares, A., & Zayed, T. (2024). AloT-Driven Leak Detection in Real Water Networks Using Hydrophones. Article scienifique. The Hong Kong Polytechnic University, Chine.

Benhamza, O. (2019). Méthodes de détection de fuites dans un système hydraulique par analyse de l'onde de pression. Mémoire de Master. Université Badji Mokhtar -Annaba-.

Benmessaoud, F., & Meroune, N. (2020). Méthode et technique de réduction des pertes physiques sur le réseau de distribution de la wilaya d'Alger. Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Bensalah, M., & Bensalah, I. (2020). Étude critique et simulation d'un réseau d'AEP : cas du réseau de Sidi Yacine (ville de Sidi Bel Abbes). Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Benzineb, M., & Wendpouire, A. N. (2018). Contribution à l'optimisation du réseau d'AEP de BOUJLIDA à l'aide d'EPANET et PORTEAU. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Berrezel, Y., & Benabdelkrim, M. (2017). Apport des SIG et de la modélisation hydraulique dans la gestion d'un réseau d'AEP - Cas du GUT. Mmémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Bessioud, S. (2024). Évaluation des pertes d'eau dans les réseaux de distribution. Mémoire de Master. Université 08 mai 1945 Guelma.

Blindu, I. (2004). Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France.

Bouazzi, K. (2016). Etude de la consommation eau des ménages à Tlemcen). Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Bouizem, I., & Boudaoud, S. (2019). Etude de la réhabilitation du réseau d'AEP de Remchi. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Boukhari, H., & Bacha, A. (2018). Analyse du fonctionnement d'un reseau d'alimentation en eau potable a forte denivele topographique cas du reseau de boussedra el bouni. Mémoire de Master. Université Badji Mokhtar -Annaba-.

Bousalaa, S., & Benbekhti, F. (2018). Etude diagnostic d'un réseau d'AEP à l'aide du logiciel Epanet - Cas du chef-lieu de la ville de Hennaya -. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Bouteldja, M. & Mouhous, A. (2021). Etude de diagnostique pour la réhabilitation du réseau d'AEP de la ville de Boufarik (Mémoire de Master). Université Saad Dahleb – Blida.

Bouteldja, M., & Mouhous, A. (2021). Étude de diagnostique pour la réhabilitation du réseau d'AEP de la ville de Boufarik. Memoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Camara et al. (2004). Guide méthodologique des projets d'alimentation en eau potable : en milieux rural, semi-urbain et urbain pour les collectivités territoriales. Guide technique. Direction Nationale de l'Hydraulique, Mali.

Chehri, A., & Azegagh, M. (2012). Diagnostic du réseau d'Alimentation en Eau Potable de la ville de BOURKIKA Wilaya de Tipaza. Mémoire de Master. Ecole Nationale Polytechnique.

Chemidi, M., & Kaddour, Y. (2016). Etude diagonstique du réseau d'AEP de M'dig et Aissa, Chetouane. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid.

Cherif, F. (2015). Etude critique et modélisation du réseau d'AEP du chef-lieu de Chetouane. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Derrar, H. (2023). Modélisation du réseau de distribution d'AEP par MIKE URBAN. Mémoire de Master. Université d'Ain-Temouchent Belhadj Bouchaib.

Derras, S., & Djedaini, I. (2019). Etude de dimensionnement et asservissement des ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable avec mise en place d'une maquette de simulation réduite Etude du cas d'AEP du Nouveau Quartier de Sidi Djillali – Wilaya de Tlemcen. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Dib, A. (2016). Conception optimale du transfert des eaux d'Oued Athmania-Ourkiss-Koudiat Medouar et simulation du comportement hydraulique. Mémoire de Master. Ecole Nationale Polytechnique. Récupéré sur master .

Doghri, M. (2019). Ggestion de la pression dans les réseaux de distribution d'eau potable en vue de la rédaction des fuites : évaluation dans le contexte des réseaux nord-américains. Thèse de Doctorat. Université du Québec , Québec.

Dorbani, A. (2020). étude d'un réseau d'AEP à Alger . Alger : université de Blida 1.

g&pid=ImgRaw&r=0, h. (s.d.).

Gaouas, M., & Fellah, Y. (2017). Modélisation et contribution à la gestion du système d'AEP de la zone VML et POS B de la ville d'Oum El Bouaghi a l'aide d'un couplage ArcGIS-WaterGEMS. Mémoire de Master . Université Larbi Ben M'hidi -Oum-El-Bouaghi-.

Gasmi, N. (2024). Modélisation des réseaux d'AEP Etude comparative PORTEAU/EPANET : Etude de cas. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Habbeddine, A. (2016). Etude critique et modélisation du réseau d'AEP duOudjlida Sud. Mmémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Haidar, H. (2006). Réhabilitation des réseaux d'eau potable : méthodologie d'analyse multicritère des patrimoines et des programmes de réhabilitation. Thèse de Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.

Harrat, Z. (2020). Diagnostic des défauts de fonctionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable Cas de la localité Mechtat Ain Zitouna, La ville de Houari Boumedienne W. de Guelma. Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 -Guelma-.

Hartem, N. (2020). Etude des pertes d'eau dans les réseaux d'eau potable (cas réseau de la commune de Bendjerrah). Mémoire de Master. Université 08 mai 1945 -Guelma-.

Imamouine, N. (2024). Etude de réalisation du réseau d'alimentation en eau potable du 853 logements AADL à Beni Tamou, Wilaya de Blida. Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Irstea, & Onema. (2012). Réduction des fuites dans les réseaux. Edition ONEMA. France.

Kacimi El Hasssani, A. N. (2020). Etude des fuites dans les réseaux d'AEP : Application du logiciel criticité sur le réseau d'AEP de Boufarik (partie Nord) (Mémoire de Master). École Nationale Supérieure d'Hydraulique – Alger.

Kessi, M., & Hamitouche, C. (2020). Prédiction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable en utilisant les ontologies probabilistes . Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Kharchi, I., Medjeneh, D., & Legouireh, A. (2022). Système d'information géographique pour l'étude de la gestion des ressources en eau dans une région semi-aride (cas de la région de Bou Saada - M'sila / Algérie). Mémoire de Master. Université Mohamed Boudiaf -M'sila-.

Kherbache, N. (2014). La problématique de l'eau en Algérie (Magister). Université Abderrahmane Mira – Béjaïa.

Khettab, O., & Rahmoun, H. (2017). Conception et élaboration d'un simulateur de consommation d'eau domestique ASTER,. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Lakhal, A. (2021). Contrôle et Suivi de la qualité de l'eau traitée (Station de traitement-Chaiba). Mémoire de Master. Université Badji Mokhtar -Annaba-.

Madouni, A. (2013). Modélisation du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Maghnia avec le logiciel PORTEAU. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Medjahdi, H., & Medjdoub, F. (2019). Etude de la sectorisation du réseau d'AEP de l'agglomération de Chteibo – Oran. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-

Mokssit. (2023). Contribution à la gestion de la distribution non continue de l'eau potable : comprendre le fonctionnement sociotechnique de l'intermittence des services d'approvisionnement en eau pour optimiser l'intervention de l'opérateur du réseau. Thèse de Doctorat. École des Ponts ParisTech, Francais.

Mosteghanemi, S., & Taleb, C. (2017). Modélisation d'un réseau d'AEP à l'aide du logiciel Epanet: Cas de la partie Sud du réseau du GUT. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Ould-difallah, A., & Rebhi, Y. (2021). Diagnostic du réseau d'assainissement de la ville de Boufarik. Mémoire de Master. Université Saad Dahlab -Blida 1-.

Rodrigo, A. (2020). Watergems frente al diseño convencional de redes de agua para la ciudad de Querecotillo. Tesis para optar el Título. Universidad de Piura.

Savane, M. (2012). Dimensionnement des réseaux d'AEP et d'assainissement de la localité de M'SALA commune de CHETOUANE. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.

Sidibe, F. & Yaye Arbi, A. (2017). La gestion intégrée de l'eau et le développement durable en Algérie : Cas de la wilaya de Tizi-Ouzou (Mémoire de Master). Université M. Mammeri – Tizi-Ouzou.

Tembe, L. W., & Rafael, G. C. (2022). Diagnostic et réadaptations du réseau d'AEP du chef-lieu de ville d'Ouled khelouf(Wilaya de Mila). Mémoir de Master. Université Saad Dahlab -Blida1-.

Webographie

[1] https://sl.bing.net/fLtWLBnWwE0.

[2] https://www.ats-ffa.org/wpcontent/uploads/2020/02/acier-inox-en-tube.jpg.

[3] g&pid=ImgRaw&r=0, h. (s.d.).

[4] https://www.pipsisland.org/pe-vs-hdpe-pipe/.

[5]https://th.bing.com/th/id/OIP.lQEY2oHbeMsw3KmES8pzrAAAAA?rs=1&pid=ImgDetMain.

[6] https://www.elalem-elidara.dz/?p=2981.

[7] https://www.elitihadcom.dz/.

[8] https://www.aps.dz/ar/regions/160797-22024.