

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÉRI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
Département d'Hydraulique

Filière : Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour Obtenir le Diplôme de Master

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Thème

Priorisation des travaux de réhabilitation des réseaux d'AEP en utilisant AHP-TOPSIS : Cas de Tizi-Rached (Wilaya de Tizi-Ouzou)

Réalisé par :

M. BOUNSIAR Malek

Mlle KEDOUNI Anais

Soutenus devant le jury composé de :

<i>NOM et Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Lieu d'exercice</i>	<i>Qualité</i>
<i>M. BOUHALI Sofiane</i>	<i>MAA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Président</i>
<i>Mme IGROUFA Meriem</i>	<i>MCB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Promotrice</i>
<i>Mme GOUDJIL Sarah</i>	<i>MAB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Examinatrice</i>

Date de soutenance : le 25/06/2025

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu **le bon Dieu**, de nous avoir donné la force, la patience, la volonté afin d'accomplir ce travail qui présente le fruit de plusieurs années de sacrifices.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à **nos familles** et en particulier à **nos parents** pour leur soutien constant et leurs sacrifices.

Nos sincères remerciements à notre promotrice **Mme IGROUFA MERIEM** pour son précieux soutien, son encouragement, ses orientations et le temps qu'elle nous a accordé pour notre encadrement.

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions tout le personnel de la subdivision d'hydraulique et d'agricole de Tizi-Rached pour leur aide en particulier **Mr HACHEMI** et **Mme MADOUNI**. Ainsi que tous les ingénieurs de l'ADE de Tizi-Rached.

Nous remercions également tous **les enseignants** du département d'hydraulique pour avoir su nous transmettre leurs connaissances et leur expertise avec passion et professionnalisme.

KEDOUNI Anais & BOUNSIAR Malek

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce travail de fin d'étude à tous ceux qui me sont chers.

A ma chère mère **NAIMA**, ma source de bonheur qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes études et mes rêves, sans elle je n'aurais jamais acquis la force et la résilience nécessaire pour aboutir à ce stade. Que dieu la protège et l'accorde une bonne santé et une vie heureuse.

A mon cher père **ABDENOUR**, qui est la lumière de ma vie, ce modeste travail est le fruit de ses sacrifices, que dieu le garde et le protège et l'accorde une vie heureuse.

A mon adorable petit frère **AMAYES** pour son soutien et pour l'amour qu'il me réserve.

A la mémoire de mes grands-parents **MOHAMMED TAHAR** et **KHELOUDJA** décidés trop tôt, qui m'ont toujours soutenu, poussé et motivé dans mes études. Puisse DIEU les accueillir dans son paradis.

A mon binôme **MALEK IDIR** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout ou long de ce projet.

A tous les membres de **ma famille paternelle** et **maternelle** qui m'ont encouragé et soutenu.

A tous **mes amis** qui ne m'ont jamais laissé et qui m'encourage toujours d'avancer.

A toutes les personnes que **j'aime** et qui **m'aiment**.

Anais



Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce travail de fin d'étude à tous ceux qui me sont chers.

A ma chère mère **YAMINA**, ma source de ma joie et mon bonheur, la femme qui allume ma vie, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes études. Que dieu la protège et l'accorde une bonne santé et une vie heureuse.

A mon cher père **SAID**, qui est le protecteur de ma vie, ce modeste travail est le fruit de ses sacrifices, que dieu le garde te le protège et l'accorde une vie heureuse.

A mes frères **IDRIS** et **YAKOUB** pour leurs soutiens et encouragements.

A ma chère sœur **SELMA** qui remplit ma vie de joie et d'amour.

A mon binôme **ANAIS** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout ou long de ce projet.

A tous les membres de **ma famille paternelle** et **maternelle** qui m'ont encouragé et soutenu.

A tous **mes amis** qui ne m'ont jamais laissé et qui m'encourage toujours d'avancer.

A toutes les personnes que **j'aime** et qui **m'aiment**.

Malek



Résumé :

Ce mémoire propose une approche méthodologique pour prioriser les travaux de réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable dans la commune de Tizi-Rached. L'étude combine deux méthodes d'aide à la décision à savoir : AHP et TOPSIS. La première sert à trouver le poids des critères déjà identifié selon la disponibilité des données. La deuxième sert à classer les conduites du réseau selon leur urgence de réhabilitation. Cette approche vise à optimiser la planification des interventions et à améliorer la performance des réseaux d'eau potable.

Mots Clés : Conduites d'AEP, AHP, TOPSIS, priorisation de la réhabilitation, Tizi-Rached

Abstract:

This thesis proposes a methodological approach to prioritize rehabilitation works for drinking water networks in the municipality of Tizi-Rached. The study combines two decision support methods: AHP and TOPSIS. The first one is used to determine the weight of each criteria already identified according to the availability of data. Second method is to classify network sections according to their rehabilitation urgency. This approach aims to optimize intervention planning and improve the performance of drinking water networks.

Keywords: Drinking Water Networks, AHP, TOPSIS, rehabilitation prioritization, Tizi-Rached.

ملخص:

هذا العمل يقترح طريقة لتحديد أولويات إصلاح شبكات مياه الشرب في بلدية تيزي راشد , يستخدم هذا البحث نهجا منهجيا يجمع بين طريقتين لمساعدة في اتخاذ القرار. الطريقة الاولى (عملية التحليل الهرمي) لتحديد وزن المعايير بناء على توفر البيانات . الطريقة الثانية (تقنية ترتيب التفصيل حسب التشابه مع الحل المثالي) لتصنيف أنابيب الشبكة حسب استعجال اعادة تأهيلها, الهدف هو تخطيط التدخلات و رفع كفاءة أداء شبكات مياه الشرب في البلدية. من هذا المنهج

الكلمات المفتاحية:

شبكات مياه الشرب , عملية التحليل الهرمي , تقنية ترتيب التفصيل حسب التشابه مع الحل , تحديد اولويات اعادة التأهيل, تيزي راشد

Sommaire

Remerciement	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste d'abréviation	
Liste des symboles	
Introduction générale	

Chapitre I : Généralités sur les réseaux d'AEP

I.1 Introduction	01
I.2. Présentation générale d'un système d'AEP	01
I.2.1. Captage des eaux	01
I.2.2. Traitement des eaux	02
I.2.3. L'adduction	04
I.2.4. Stockage	05
I.2.5. La distribution	06
I.3. Défaillances des conduites d'AEP	09
I.3.1. Définition de la défaillance des conduites d'AEP	09
I.3.2. Les différents types des défaillances	09
I.3.3. Les causes des défaillances des conduites d'AEP	12
I.3.4. Les effets des défaillances	13
I.3.5. Durée de vie et défaillance	13
I.3.6. Fonctions utilisées en analyse de survie et prévision des défaillances	14
I.4. Réhabilitation des conduites d'AEP	15
I.4.1. Définition de la réhabilitation	15
I.4.2. Les motifs de la réhabilitation	15
I.4.3. Les volets de la réhabilitation	16
I.4.4. Les techniques de la réhabilitation	16
I.4.5. Les Coûts de réhabilitation	21
I.5. Conclusion	21

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction	22
II.2. Présentation de la ville de Tizi-Rached	22
II.2.1. Situation géographique	22
II.2.2. Situation hydrographique	23
II.2.3. Situation climatique	24
II.2.4. Situation démographique	25
II.3. Système actuel d'AEP	26
II.3.1. Caractéristiques du réseau d'adduction	28
II.3.2. Caractéristiques du réseau de distribution	29
II.4. État structurel et fonctionnel du réseau	30
II.5. Conclusion	32

Chapitre III : Présentation de l'outil d'aide à la priorisation

III.1. Introductio	33
III.2. Démarche suivie	33
III.2.1. Représentation des données et identification des critères	34
III.3. Principe de la méthode AHP	35

III.3.1. Définition de la méthode AHP	35
III.3.2. Fonctionnement de AHP	35
III.4. Principe de la méthode TOPSIS	39
III.4.1. Définition de la méthode TOPSIS	39
III.4.2. Fonctionnement de TOPSIS	39
III.5. Conclusion	42

Chapitre IV : Application de la méthodologie

IV.1. Introduction	43
IV.2. Application de la méthode AHP et résultats	43
IV.2.1. Construction de la matrice de comparaison	43
IV.2.2. Détermination des poids des critères	44
IV.2.3. Calcul de la valeur propre λ_{\max}	45
IV.2.4. Étude de la cohérence des jugements	47
IV.3. Application de la méthode TOPSIS et résultats	48
IV.4. Analyse critique des deux méthodes	56
IV.4.1. Analyse critique d'AHP	56
IV.4.2. Analyse critique de TOPSIS	56
IV.5. Conclusion	57
Conclusion générale et perspectives	58
Bibliographie	59

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Types de captage des eaux	02
Tableau I.2 : Types des conduites de distribution	08
Tableau II.1 : Moyennes de précipitation calculées avec les données de la station météo TIZI-OUZOU situe à 6 km de TIZI RACHED	25
Tableau II.2: Caractéristiques du réseau d'adduction	28
Tableau II.3 : Caractéristiques du réseau de distribution	29
Tableau II.4. : L'état du réseau d'adduction	31
Tableau II.5. : L'état du réseau de distribution	32
Tableau III.1 : Différents critères, leurs définitions et leurs valeurs	34
Tableau III.2 : L'échelle de comparaison binaire	37
Tableau III.3 : L'indice aléatoire	39
Tableau IV.1 : Matrice de comparaison par paire des critères	43
Tableau IV.2 : Matrice de la somme de chaque colonne	44
Tableau IV.3 : Matrice de la division par le total de chaque colonne	44
Tableau IV.4 : Matrice du poids de chaque critère	45
Tableau IV.5 : Matrice du vecteur priorité	45
Tableau IV.6 : Matrice du vecteur priorité comme facteurs	46
Tableau IV.7 : Matrice des colonnes pondérées	46
Tableau IV.8 : Matrice de la somme pondérée	46
Tableau IV.9 : Calcul de la valeur propre λ_{max}	47
Tableau IV.10 : Scores des critères	49
Tableau IV.11 : Matrice normalisée	50
Tableau IV.12 : Matrice normalisée pondéré	51
Tableau IV.13 : La valeur idéale et la valeur idéale pire de chaque critère	52
Tableau IV.14 : La distance euclidienne de la meilleure valeur idéale et la distance euclidienne de la pire valeur idéale	53
Tableau IV.15 : Note de performance	54
Tableau IV.16 : Classement des conduites	55

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma générale d'un système d'AEP	01
Figure I.2 : Les étapes de traitement des eaux	03
Figure I.3 : Système d'adduction gravitaire	04
Figure I.4 : Système d'adduction par refoulement	04
Figure I.5 : Un réservoir surélevé	05
Figure I.6 : Un réservoir au sol	05
Figure I.7 : Un réseau d'AEP ramifié	06
Figure I.8 : Un réseau d'AEP maillé	07
Figure I.9 : Un réseau d'AEP combiné	07
Figure I.10: Un réseau d'AEP étagé	08
Figure I.11: Différents types de rupture d'une conduite d'eau potable	10
Figure I.12 : Vieillessement des conduites	12
Figure I.13 : Évolution du taux de défaillance	15
Figure I.14 : Terminologie utilisée dans la réhabilitation (norme EN 752) et relation avec les autres opérations	16
Figure I.15 : Pose en tranchée ouverte	17
Figure I.16 : Procédé par forage	17
Figure I.17 : Schéma d'un remplacement destructif d'une conduite (éclatement)	18
Figure I.18 : Schéma d'un tubage simple	19
Figure I.19 : Tubage avec espace annulaire	19
Figure I.20 : Tubage sans espace annulaire	20
Figure I.21 : Schéma du procédé de chemisage partiel	20
Figure I.22 : Schéma d'un étanchement par injection	21
Figure II. 1 : Localisation géographique de la région d'étude	23
Figure II. 2 : La topographie de la région d'étude	24
Figure II. 3 : Schéma hydraulique vertical du système de refoulement du village ikherivene vers le réservoir Affensou, Tala Amara et Agouni Djilvane commune Tizi-Rached.	27
Figure III.1 : La décomposition hiérarchique de L'AHP	33
Figure III.2 : Exemple d'une structure hiérarchique de trois niveaux.	36
Figure III.3 : Matrice de comparaison	38
Figure IV.1 : Variation du poids des différents critères	48
Figure IV.2 : Note de performance de chaque conduite	55

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable
ADE : Algérienne des eaux
AHP : Analyse hiérarchique des procédés
PEHD : Polyéthylène Haute Densité.
RC : Le ratio de cohérence
RI : Indices aléatoires
CI : Indice de cohérence
TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution
DIAM : Diamètre des conduites
TYP-MAT : Le type de matériau
AGE : L'âge de la conduite
LONG : La longueur de la conduite
TEC-R : Technique de réhabilitation
REND : Rendement
ET-S : Etat structurel de la conduite
ET-F : Etat fonctionnel de la conduite

Liste des symboles

n : Nombre d'éléments (critères) à comparer

W_j : Le poids des critères

A : Matrice de comparaison

λ_{\max} : La valeur propre maximale de la matrice

m : Nombre d'alternative

V_{j+} : La valeur idéale

V_{j-} : La valeur idéale pire

P_i : La note de performance

S_{i+} : La distance euclidienne par rapport à la valeur idéale

S_{i-} : La distance euclidienne par rapport à la valeur idéale pire

Introduction générale

Introduction générale

L'eau potable constitue un service essentiel pour la santé publique et le développement durable des collectivités. En Algérie, les réseaux d'Alimentation en Eau Potable (AEP) présentent un état de dégradation préoccupant, caractérisé par des fuites importantes, des ruptures de conduites et un vieillissement des infrastructures, phénomène qui varie selon les régions et les villes. Ces dégradations sont principalement dues aux conditions d'exploitation, à l'environnement et à l'usure naturelle des matériels, ce qui nécessite la mise en place des programmes de réhabilitation adaptés [ELNABOULSI & ALEXANDRE, 1998].

Pour cela et depuis les années 2000, l'Algérie a renforcé sa politique nationale de réhabilitation des infrastructures hydrauliques, avec un accent particulier sur la réduction des pertes en eau et l'amélioration de la performance des réseaux d'AEP. Ce programme s'appuie sur des diagnostics approfondis et des travaux ciblés dans plusieurs villes, afin d'assurer un service pérenne et de qualité aux populations [IKHLEF & HALICHE, 2018]. Cependant, la planification des interventions reste complexe, car elle doit tenir compte de multiples critères techniques, économiques et sociaux, tout en optimisant les ressources limitées.

C'est dans cette optique que s'inscrit ce présent travail de recherche. En effet, nous proposons une démarche méthodologique combinant AHP et TOPSIS pour la priorisation des travaux de réhabilitation des réseaux d'AEP dans la commune de Tizi-Rached. La première étape consiste à identifier et pondérer des critères pertinents, adaptés aux spécificités locales et à la disponibilité des données, tandis que la seconde vise à classer les tronçons du réseau selon leur urgence d'intervention. Cette recherche fait suite aux études menées en Algérie sur la gestion efficace des réseaux d'eau potable. [BOUCHERMA et al., 2020 ; BOUTEBBA et al., 2014].

Pour atteindre ses objectifs, ce projet de recherche est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre examine les défaillances courantes des réseaux d'AEP et souligne l'importance de la réhabilitation et la maintenance des réseaux d'AEP.

Le deuxième chapitre présente la zone d'étude et ses caractéristiques, en expliquant la méthodologie adaptée ainsi que les critères sélectionnés pour l'analyse.

Le troisième chapitre détaille les deux méthodes AHP et TOPSIS utilisées pour la pondération des critères et la priorisation des travaux.

En fin le quatrième chapitre explique ces méthodes à un cas concret à Tizi-Rached, avec l'évaluation de l'état des conduites et un classement des conduites selon leur priorité de réhabilitation.

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux d'AEP

I.1 Introduction

Le réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP) constitue un maillon essentiel pour assurer l'accès à l'eau potable et satisfaire les besoins de la population en termes de quantité et de qualité. Cependant, ces réseaux d'AEP sont complexes et nécessitent une gestion efficace pour garantir la qualité et la sécurité de l'eau distribuée.

Ce chapitre présente des généralités sur les réseaux d'AEP, en abordant trois points essentiels. D'abord, nous allons commencer à présenter et à définir les différents constituants d'un système d'AEP. Par la suite, nous allons identifier les différents dysfonctionnements pouvant survenir dans les réseaux d'AEP. Enfin, nous allons aborder l'importance de la maintenance et de la réhabilitation pour garantir l'efficacité des réseaux d'AEP d'une part, et de prolonger leurs durées de vie d'une autre part.

I.2. Présentation générale d'un système d'AEP

Un système d'AEP est composé d'un ensemble d'infrastructures et d'installations nécessaires à assurer la satisfaction de tous les besoins en eau potable d'une zone urbaine ou industrielle. Cela commence par un captage des eaux que ce soit superficiel (1) ou souterraine (3), par la suite, cette eau est transportée (2, 6,8) au traitement (5) ensuite au stockage (7), enfin à la distribution (9) aux différents consommateurs (10) (figure I.1).

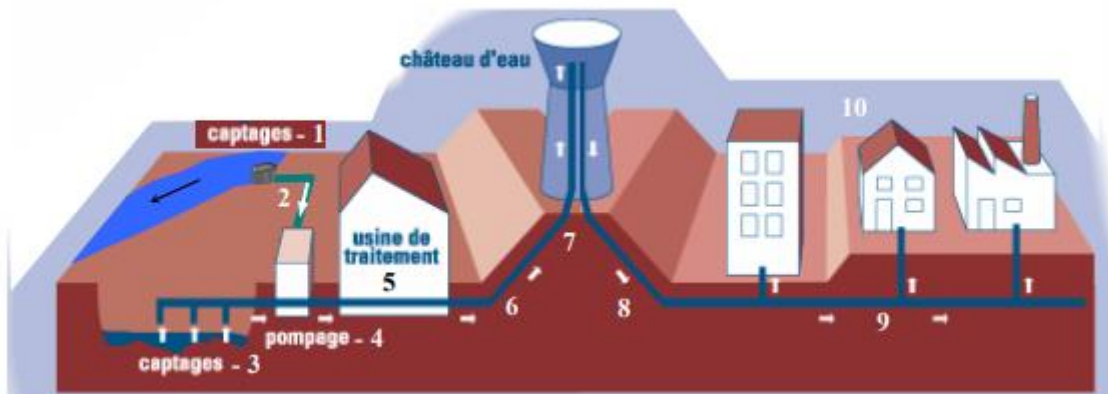


Figure I.1 : Schéma générale d'un système d'AEP [BLINDU, 2004].

I.2.1. Captage des eaux

Un captage d'eau potable est un dispositif de prélèvement d'eau potable à partir d'une source naturelle. Il existe deux types de captage : le captage des eaux souterraines (par des forages ou des puits), et le captage des eaux superficielles (des barrages, un cours d'eau ou les eaux de mer). Le captage est soumis à des règles de protection pour préserver la qualité de l'eau. Le tableau suivant présente les caractéristiques de chaque type de captage.

Chapitre I : Généralités sur les réseaux d'AEP

Tableau I.1 : Types de captage des eaux.

Type de captage	Caractéristiques
Le captage des eaux de surface	<p>lorsque la source d'eau est superficielle (barrage, rivière ou mer), la prise d'eau doit être installée après avoir connaître le maximum d'information sur le régime de l'écoulement et le débit, et bien sûr à la recherche où l'eau est de meilleure qualité. Il existe plusieurs méthodes de prise des eaux de surface :</p> <ul style="list-style-type: none">- Soit au fond du lit après le remplissage avec de gros gravier autour de la crépine d'aspiration ;- Soit avec une crépine d'aspiration flottante ;- Soit à la berge d'une rivière avec une profondeur convenable dans le but d'éviter l'influence de la sédimentation du fond du lit, et la présence éventuelle d'hydrocarbures. <p>Elles sont chargées d'une concentration importante en matières en suspension et matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux.</p>
Le captage des eaux souterraines	<p>Ces eaux sont captées soit à leurs sources, au cœur même de la nappe ou dans le gisement pour les eaux circulant en terrains fissurés. Les caractéristiques physico- chimiques des eaux varient en fonction de site. Nous devons dans chaque cas faire une étude pour déterminer quel traitement est le plus adaptable pour rendre l'eau potable.</p>

I.2.2. Traitement des eaux

Le traitement d'eau brute après son captage dépend de sa qualité et de ses constituants. L'eau puisée dans l'environnement doit donc être analysée en continu avant de subir le traitement de potabilisation approprié. Ce traitement diffère en fonction de la variation de la qualité de l'eau captée. La figure I.2 présente les principales étapes de traitement de l'eau qui sont : le dégrillage, le tamisage, la floculation, la décantation, la filtration sur sable, l'ozonation, la filtration sur charbon, et la chloration.

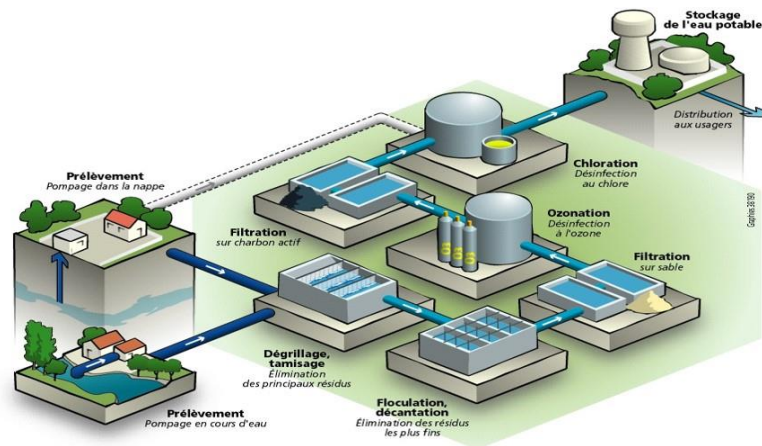


Figure I.2 : les étapes de traitement des eaux

A. Les étapes de traitement

Le traitement des eaux est un processus essentiel pour garantir la qualité de l'eau destinée à l'AEP. Il permet d'éliminer les impuretés, les contaminants microbiens, chimiques et organiques, rendant l'eau sûre et propre pour l'utilisation. Dans ce qui suit, nous décrivons les étapes principales de traitement [ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 2019].

a. Dégrillage / tamisage :

À son entrée dans l'usine de traitement, l'eau traverse une grille de barreaux, espacés d'environ 5cm les uns des autres, qui stoppe les plus gros déchets (Dégrillage). L'eau continue son chemin et traverse un grillage plus serré (Tamisage).

b. Coagulation / floculation :

Dans cette phase, nous versons un coagulant dans l'eau qui est transporté dans un bassin. Les impuretés se regroupent et forment de petits paquets qui tombent au fond du bassin de décantation qui vont être éliminés ensuite par le décanteur [PLECK, 2010].

c. Filtration sur sable :

L'eau traverse une épaisse couche de sable qui arrête les dernières petites impuretés visibles.

d. Ozonation :

Le gaz d'ozone est diffusé dans l'eau pour supprimer les impuretés invisible (virus et bactérie sont détruits, les matières organiques sont cassées en morceaux) [BECHARA & DAMASIO, 2019].

e. Filtration sur charbon :

L'eau passe à travers une couche de grains de charbon actif. Maintenant, nous pouvons dire que l'eau est potable [TREMBLAY, 2008]

f. Chloration :

Pour que l'eau conserve sa bonne qualité en parcourant les canalisations aux consommateurs, nous ajoutons du chlore (un désinfectant).

I.2.3. L'adduction

L'adduction est désignée comme l'ensemble des techniques de transport de l'eau des lieux de captage au traitement et au stockage grâce à des conduites ou des aqueducs.

En fonction de la position de source de captage, nous distinguons deux types d'adduction :

- **Adduction gravitaire :**

Cette adduction utilise la supériorité d'altitude de la source de captage pour que l'eau s'écoule à l'effet de gravité.

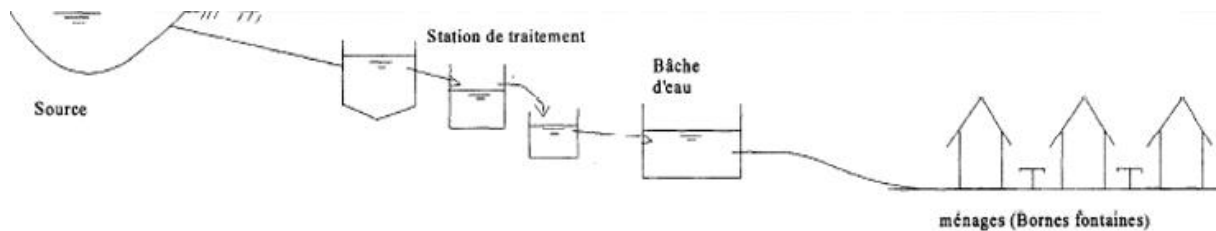


Figure I.3 : système d'adduction gravitaire.

- **Adduction par refoulement :**

Dans ce cas, l'altitude de la source de captage est inférieure. L'utilisation d'une station de pompage est nécessaire.

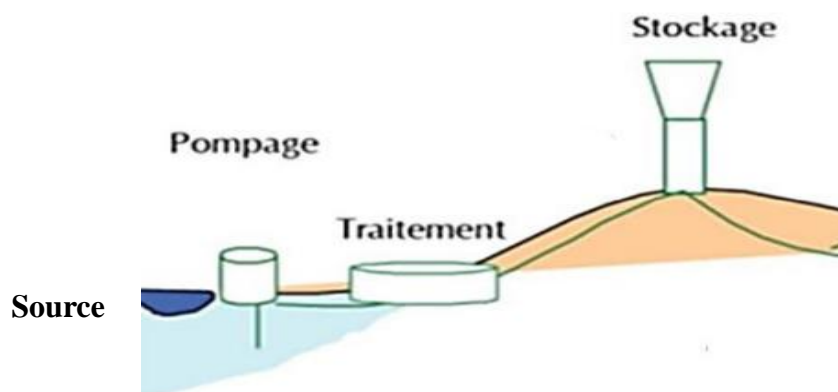


Figure I.4 : système d'adduction par refoulement.

I.2.4. Stockage

C'est tous les ouvrages hydrauliques qui assurent l'emmagasinement de l'eau afin de les transporter aux consommateurs à travers des conduites. Il consiste aussi à harmoniser la demande d'eau potable avec sa production. Ces ouvrages de stockage sont les réservoirs et les bâches à eau.

A. Les réservoirs

Ils sont des ouvrages hydrauliques avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau peut varier au cours du temps. Cette variation est décrite par la courbe de volume, qui pour un point de stockage définit la relation entre le niveau de l'eau et le volume qu'il contient.

Nous pouvons classer les réservoirs selon : La technique de construction (métal, maçonnerie, béton armé), L'intégration de site (surélevé, au sol) et les caractéristiques topographiques de la région ainsi que les caractéristiques hydrauliques de distribution.

Les figures I.5 et I.6 présentent les schémas d'un réservoir surélevé et d'un réservoir au sol.

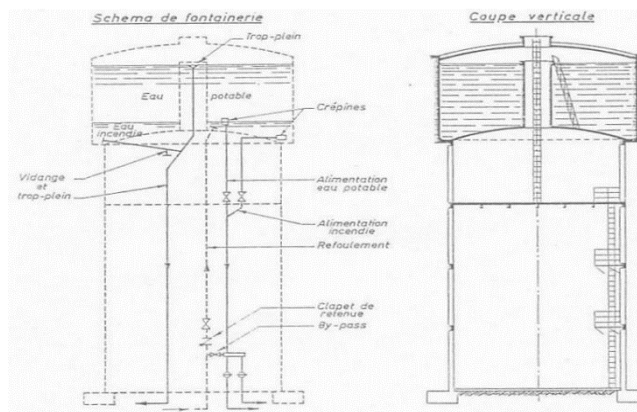


Figure I.5 : Un réservoir surélevé [IKHLEF & HALICHE 2018].

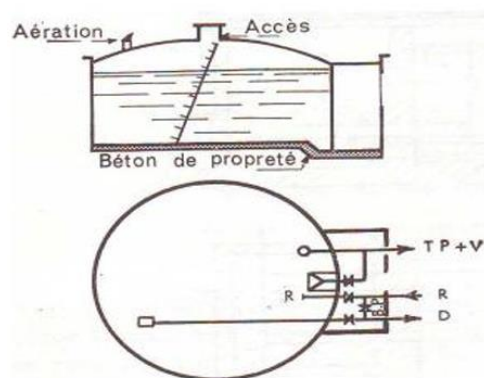


Figure I.6 : Un réservoir au sol [TARFAYA, 2012].

B. Les Bâches

Les bâches sont des points de stockage à une grande capacité (lac, fleuve, barrage). Les bâches sont caractérisées par un niveau d'eau fixe [NAFI, 2006].

I.2.5. La distribution

Le réseau de distribution d'eau potable est un ensemble des conduites enterrées interconnectées fonctionnant sous pression, et assurent l'alimentation de la ville à partir des réservoirs. À cela, il faut ajouter les accessoires du réseau qui permettent une bonne exploitation et un bon entretien de ce dernier. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer les vannes de sectionnement, les vannes de réduction de pression, les poteaux d'incendie, les compteurs, les ventouses...Etc [Valiron, 1994].

A. Les types des réseaux de distribution

Désignée en fonction de la structure et l'importance de l'agglomération, nous distinguons essentiellement :

a. Réseau ramifié :

Le réseau ramifié est constitué par une conduite principale et des conduites secondaires branchées tout le long de la conduite principale. C'est un réseau arborescent (ramifié) qui n'assure aucune distribution de retour. Il suffit qu'une panne se produise sur la conduite principale, toute la population à l'aval sera privée d'eau [Dupont, 1979]. Le schéma est présenté sur la figure I.7.

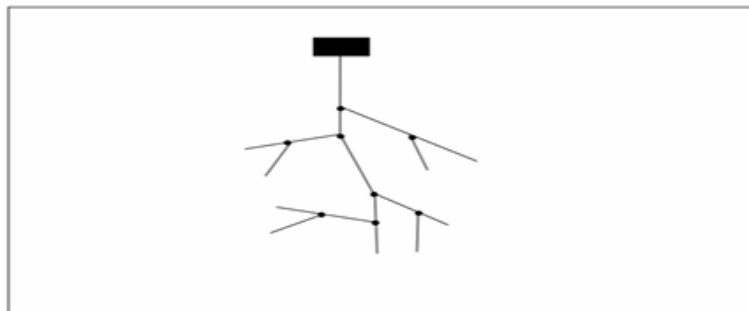


Figure I.7 : Un réseau ramifié [Dupont, 1979].

b. Réseau maillé :

Un réseau maillé est constitué d'une série des tronçons disposés de telle manière qu'il soit possible de décrire une ou plusieurs boucles fermées. Le réseau maillé assure une distribution de retour en cas de panne d'un tronçon [Dupont, 1979]. Le schéma est présenté sur la figure I.8.

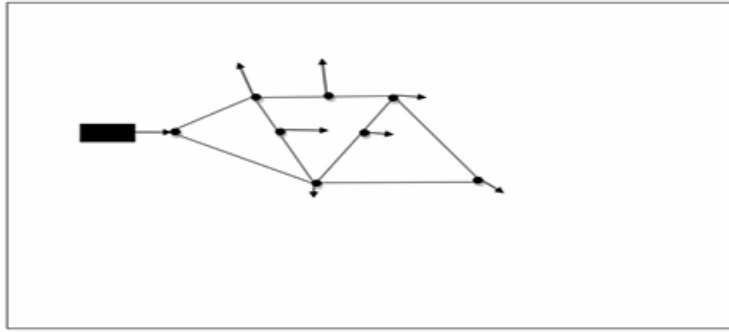


Figure I.8 : Un réseau maillé [Dupont, 1979].

c. Réseau combiné :

Un réseau dit combiné (ramifié et maillé) lorsqu'il est constitué d'une partie ramifiée et une autre maillée. Ce type de schéma est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville par les ramifications issues des mailles utilisées dans le centre-ville [Dupont, 1979]. Le schéma est présenté sur la figure I.9.

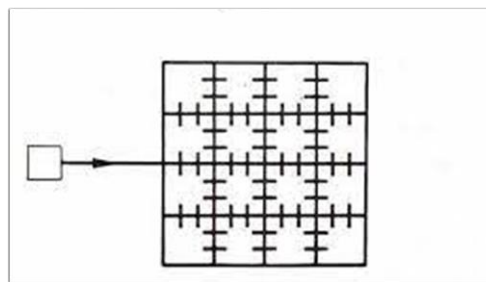


Figure I.9 : Un réseau combiné

d. Réseau étagé :

Le réseau étagé est caractérisé par les différences de niveau très importantes. La distribution de l'eau par le réservoir donne donc des fortes pressions au point le plus bas. En effet, ce système nécessite une installation d'un réservoir intermédiaire alimenté par le premier qui permet de régulariser la pression dans le réseau [Dupont, 1979]. Le schéma est présenté sur la figure I.10.

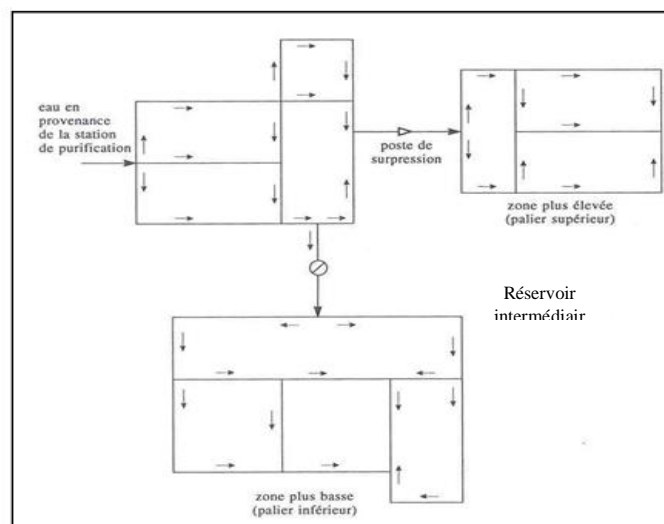


Figure I.10 : Un réseau étagé.

B. Les types des conduites de distribution

Plusieurs matériaux sont utilisés à la fabrication des canalisations et chaque un a des avantages et des inconvénients. Le tableau suivant présente les caractéristiques de chaque type de conduite.

Tableau I.2 : Types des conduites de distribution.

Type de conduite	Caractéristiques
L'acier	Permet une réduction importante du nombre de joints et est concurrentiel à la fonte au niveau du prix. Cependant, il nécessite une protection cathodique contre la corrosion [BELHARRANE & DJEMAI, 2017].
Le béton	Est un bon compromis entre l'acier et la fonte (pose continue sans joint, protection cathodique inutile). Cependant, il peut affecter les caractéristiques organoleptiques de l'eau [BOUSALAA & BENBEKHTI, 2018].
Le PE	Résiste à la corrosion, à la casse et aux UV, et il permet une manutention plus aisée. Cependant, il demande un savoir spécifique pour les raccords, il a des risques d'ovalisation pour les gros diamètres, et il coûte cher pour les gros diamètres [BOUSALAA & BENBEKHTI, 2018].
fonte ductile	Les tuyaux en fonte ductile offrent une grande résistance à la traction, à la flexion et aux chocs, et offre une bonne durabilité. Cependant, et vu son poids lourd, il peut augmenter les coûts de transport et rendre l'installation plus difficile dans les zones à accès limité.
PVC	N'est pas cher pour les petits diamètres, il résiste à la corrosion, et il permet une manutention plus aisée. Cependant, il se dégrade à la lumière et au gel et rélargie certaines substances dans l'eau.

I.3. Défaillances des conduites d'AEP

L'eau potable est transportée dans des conduites fermées et généralement enterrées. Avec le vieillissement lié aux caractéristiques des canalisations et de leur environnement, les performances hydrauliques et la qualité d'eau diminuent, les pertes d'eau et les casses augmentent et peuvent provoquer des dégâts importants [GUEDDOUJ & OUARET, 2002].

I.3.1. Définition de la défaillance des conduites d'AEP

Les défaillances des conduites d'AEP se réfèrent à toute détérioration pouvant provoquer ou accentuer le risque de dysfonctionnement du réseau ou de l'un de ses éléments, ou diminuer son rendement.

I.3.2. Les différents types des défaillances

A. Les fuites

Selon **BOUKENKEN & RIANE, 2018**, les fuites sont des pertes physiques de quelques quantités d'eau, mais qui n'empêchent pas le fonctionnement normal du réseau. Les fuites sont généralement localisées dans les joints, les vannes, les raccordements, les points de jonction entre deux éléments ou dans le corps même de la conduite.

B. Les pertes

Nous distinguons deux types de pertes. Les pertes techniques et les pertes administratives.

- 1. Les pertes techniques :** désignent les volumes d'eau perdus physiquement en raison de dysfonctionnements techniques du réseau. Elles résultent principalement de fuites, de défauts hydrauliques et de dégradations matérielles, distinctes des pertes commerciales (fraudes, erreurs de comptage).
- 2. Les pertes administratives :** ce sont les eaux consommées mais non comptabilisées comme :
 - La consommation des organismes publics ;
 - La défektivité ou l'insensibilité des compteurs ;
 - Absence de compteurs chez les abonnés ;
 - Pertes par branchements illicites.

C. Les ruptures

Elles représentent les défaillances structurelles du tuyau ou de l'emboîtement [TARFAYA, 2012]. Les ruptures au niveau du tuyau peuvent être de différentes natures.

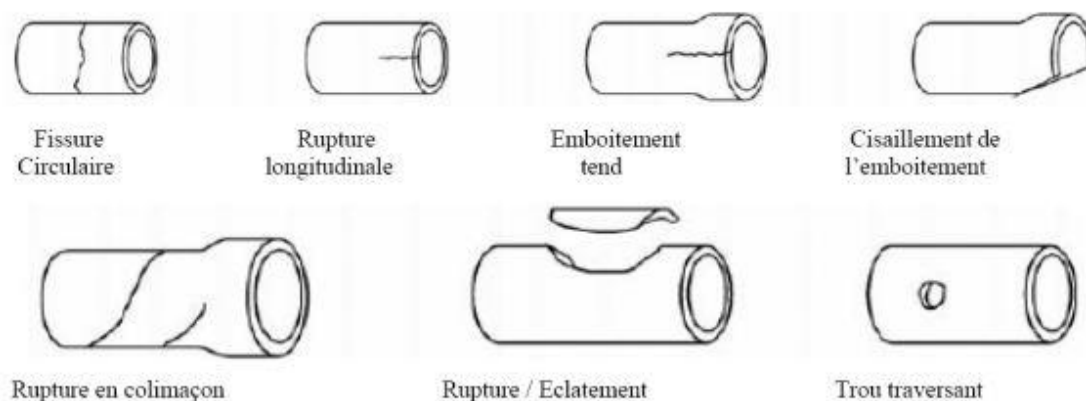


Figure I.11 : Différents types de rupture d'une conduite d'eau potable [BLINDU, 2004].

D. Dégradation de la qualité de l'eau

La dégradation de l'eau, qu'elle soit d'origine naturelle ou humaine, représente une problématique environnementale préoccupante [OUELLABI & CHETTOUH, 2015].

Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans le réseau est indispensable pour les services d'exploitation afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels tels que les risques sanitaires [CELERIER & FABY, 2000]. Les facteurs susceptibles de provoquer la dégradation de la qualité de l'eau sont :

a) Les facteurs biologiques

Selon CELERIER & FABY, 2000 et GUEDDOUDJ & OUARET, 2002, l'eau produite dans les stations de traitement passe par le réseau et arrive aux usagers sans jamais être stérile. Les facteurs biologiques sont principalement liés à la présence des microorganismes dans les réseaux de distribution : bactéries, virus, champignons et organismes pluricellulaires. La plus grande partie des germes présents dans l'eau et notamment tous ceux qui sont pathogènes doivent être éliminés.

b) Les facteurs physico-chimiques

1. Paramètres de corrosion :

- **PH** : Un PH non équilibré (<7 ou >8) accélère la corrosion des métaux (acier, fonte), favorisant la libération de fer, manganèse et autres métaux lourds dans l'eau ;
- **Oxygène dissous** : Une faible concentration d'oxygène (<1 mg/L) crée des conditions anaérobies, tandis qu'un excès accélère l'oxydation des métaux ;
- **Déséquilibre calco-carbonique** : Favorise la dissolution ou le dépôt de carbonate de calcium, influençant à la fois la corrosion et l'entartrage ;

2. Facteurs de minéralisation :

- **Conductivité électrique** : due à la concentration en ions (chlorures, sulfates) qui accélèrent les réactions électrochimiques ;
- **Température** : Une augmentation de 10°C peut doubler la vitesse des réactions chimiques et microbiologiques ;

3. Polluants organiques et nutriments :

- **Matières organiques (DBO5, DCO)** : Leur dégradation consomme l'oxygène dissous et favorise la croissance bactérienne ;
- **Nitrates/Nitrites** : Des concentrations >50 mg/L (dépassant souvent les normes OMS) indiquent une pollution agricole ou domestique ;
- **Phosphates** : Contribuent à l'eutrophisation et au développement algal dans les réservoirs ;

c) Facteurs liés à la conception et à la gestion du réseau

1. Le temps de séjours et la vitesse d'écoulement : La conservation de la qualité de l'eau est facilitée par la réduction du temps de séjour dans le réseau. Les stagnations d'eau favorisant la corrosion et les dépôts apparaissent dès que la vitesse de l'eau est inférieure à 0,5 m/s [GUEDDOUJ & OUARET, 2002].

2. Le choix des matériaux : Les interactions entre l'eau et les matériaux du réseau peuvent être à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau distribuée [GUEDDOUJ & OUARET, 2002].

E. Les interruptions

Les interruptions dans les conduites d'AEP sont souvent le résultat de dysfonctionnement de quelques ouvrages hydrauliques ou de ruptures dans le réseau. Ces événements peuvent être causés par divers facteurs physico-chimiques et mécaniques qui affectent la qualité et l'intégrité des conduites.

F. Les plaintes des consommateurs

Selon **GUEDDOUJ & OUARET, 2002**, les plaintes des usagers ne sont en réalité que les conséquences des différentes défaillances qui surviennent sur le réseau. Elles sont dues à la non satisfaction vis-à-vis de la qualité de service. Le plus souvent, nous enregistrons des plaintes sur le manque de pression, sur la qualité de l'eau et les interruptions fréquentes d'alimentation en eau.

I.3.3. Les causes des défaillances des conduites d'AEP

a. Vieillissement des matériaux

Le vieillissement naturel des matériaux (béton, PVC, etc.) utilisés pour les conduites et les ouvrages annexes (réservoirs, chambres de vannes, etc.) peut entraîner une perte de résistance structurelle au fil du temps [BLINDU, 2004].



Figure I.12 : Vieillissement des conduites [IKHLEF & HALICHE, 2018].

b. Erreurs d'installation et défauts de pose

- **Mauvais remblaiement** : Compactage insuffisant (>80% des cas) entraînant des tassements différentiels ;
- **Raccords défectueux** : selon BENHAMZA, 2019, des joints inadaptés aux pressions nominales et les angles de coudes excessifs (>45°) génèrent des turbulences ;
- **Profondeur incorrecte** : Exposition aux charges routières ou au gel [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, (2013-2014)].

c. Facteurs environnementaux

- **Mouvements de sol** : le gonflement/retrait argileux (sécheresse/humidité), les vibrations du trafic routier [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, (2013-2014)] ;
- **Conditions climatiques** : les températures élevées accélèrent la dégradation des polymères.

d. Paramètres hydrauliques et opérationnels

- **Variation de pression** : le coup de bélier et les surpressions fragilisent les conduites [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, (2013-2014).] ;
- **Qualité d'eau** : le PH déséquilibré, excès des minéraux favorisent la corrosion interne [DETERIORATION ET INSPECTION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU CANADA, 2002].

I.3.4. Les effets des défaillances

a. Impacts environnementaux

Les fuites d'eau résultantes des défaillances des conduites peuvent contaminer les sols, les eaux souterraines et les cours d'eau. Cela produit des impacts néfastes sur les écosystèmes aquatiques [EL ALAMI, 2020].

b. Risques pour la santé publique

Les défaillances des conduites d'AEP contaminent l'eau potable par des bactéries, des virus et des parasites, ce qui peut provoquer des maladies d'origine hydrique (MOH) [BEN SALEM, 2019].

c. Coûts économiques

Les défaillances des conduites d'AEP entraînent des coûts importants pour les réparations, les remplacements et les mesures de mitigation. Tout cela a des impacts significatifs sur les budgets des municipalités et des entreprises de distribution d'eau [BOUKHERRROUB, 2018].

d. Impacts sur la qualité de l'eau

Les défaillances des conduites entraînent des changements dans la qualité de l'eau, notamment en termes de turbidité, de PH et de concentration en substances chimiques, ce qui peut avoir des impacts sur la santé publique et l'environnement [BEN HASSINE, 2018].

e. Impacts sur la sécurité des approvisionnements en eau

Selon BENKIRANE, 2019, les interruptions dans les approvisionnements en eau causées par les défaillances des conduites, peuvent avoir des impacts significatifs sur la santé publique, l'économie et la sécurité nationale.

I.3.5. Durée de vie et défaillance

La durée de vie d'une entité correspond au temps écoulé pendant lequel cette entité assure le service sans aucune anomalie. Au bout de ce temps, le système cesse de satisfaire aux conditions d'utilisation, cette transition correspond à la défaillance [HAIDAR, 2003].

I.3.6. Fonctions utilisées en analyse de survie et prévision des défaillances

a. Fiabilité

D'après les études menées par **Haidar, 2003**, la fiabilité est la probabilité pour qu'une entité continue d'accomplir sa fonction requise, dans des conditions déterminées après un temps d'utilisation t . La fonction fiabilité est donnée par la formule suivante : $S(t) = P(T \geq t)$

Nous définissons également la fonction de défaillance qui donne la probabilité pour que l'entité ou le système soit en panne avant l'instant t . La fonction de défaillance est donnée par la formule suivante : $F(t) = P(T < t) = 1 - S(t)$

b. Taux de défaillance

Les conduites d'eau potable connaissent plusieurs défaillances avant leur renouvellement. La norme AFNOR définit le taux de défaillance de la manière suivante :

« Limite, si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour que l'instant t d'une défaillance d'une entité soit comprise dans un intervalle de temps donné $[t, t + dt]$ par la durée dt de l'intervalle de temps, lorsque dt tend vers zéro, sachant que l'entité n'a pas été défaillante entre 0 et t ».

L'allure de $h(t)$ peut être une courbe en baignoire, où l'on distingue trois périodes :

- $h(t)$ décroissante (1) : période de jeunesse ;
- $h(t)$ constante (2) : période de vie utile ;
- $h(t)$ croissante (3) : période de vieillesse ;

La fonction $h(t)$ rend compte de l'évolution du risque de défaillance au cours du temps et reflète donc le vieillissement des entités. En d'autres termes, si les entités sont sujettes à un vieillissement, $h(t)$ sera croissante. Si la défaillance est accidentelle, $h(t)$ sera constante [VALIRON, 1986].

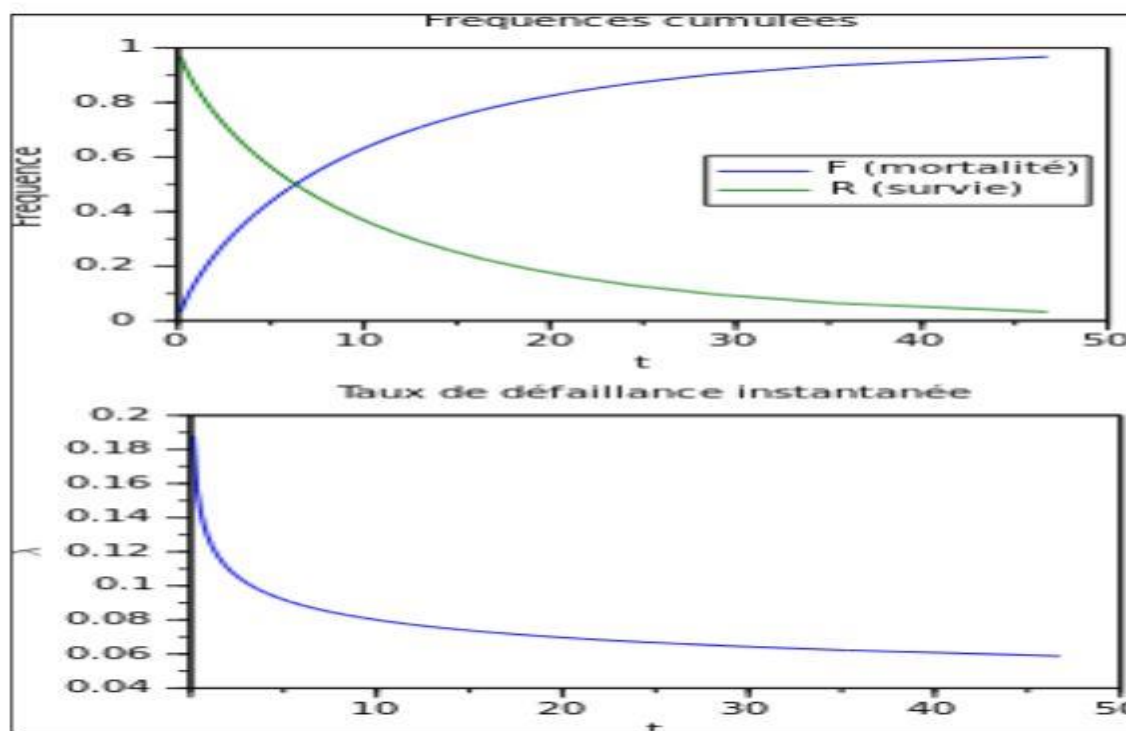


Figure I.13 : Évolution du taux de défaillance [VALIRON, 1986].

I.4. Réhabilitation des conduites d'AEP

Année après année, les réseaux d'AEP se dégradent sous l'effet de multiples facteurs. La réhabilitation constitue donc une solution techniquement et économiquement adaptée pour faire face aux différentes dégradations.

I.4.1. Définition de la réhabilitation

La réhabilitation est définie comme « toute mesure entreprise pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'AEP ou d'assainissement ». En effet, la réhabilitation d'un système peut être réalisée par une action ou une combinaison d'actions telles que remplacement, rénovation ou réparation de composants ou ouvrages [HAIDAR, 2006].

I.4.2. Les motifs de la réhabilitation

Selon HAIDAR, 2006, plusieurs motifs sont à l'origine de la réhabilitation des réseaux d'AEP : Dégradation de la qualité de l'eau par le réseau, nombre de fuites enregistrées, probabilité de casse, évaluation de la demande, Les plaintes des abonnés que ce soit pour l'insuffisance de pression ou la qualité de l'eau, risques des dommages liés à d'éventuelles fuites, la dégradation visible de la conduite, pose d'un autre réseau à proximité, travaux de voirie, ...Etc.

I.4.3. Les volets de la réhabilitation

L'adaptation de la théorie de la maintenance NF X 60-010 à la gestion des infrastructures et en particulier la gestion des réseaux d'AEP permet de distinguer deux volets de la réhabilitation [HAIDAR, 2006] :

- **La réhabilitation corrective** : c'est la réhabilitation qui se base sur une défaillance signalé (déjà existée), nous pouvons citer comme cas :
 - Les interventions non programmées, après une casse de conduite ;
 - Les interventions programmées, après constat d'une fréquence de casse d'une conduite dépassant un seuil fixé par les gestionnaires.
- **La réhabilitation préventive** : c'est la réhabilitation qui consiste à réduire des situations de risque détectée, elle s'appuie sur :
 - Des indicateurs relatifs à la probabilité d'une défaillance ;
 - Des indicateurs relatifs à la gravité des impacts possible (sur la nature, le milieu urbain et les consommateurs).

I.4.4. Les techniques de la réhabilitation

Les techniques de réhabilitation se sont particulièrement développées depuis des décennies. Elles ont été largement recensées par les services concernés. En revanche, le recul n'est pas suffisant pour apprécier les qualités respectives de chacune des solutions inventoriées. En outre, il convient de vérifier que la solution retenue permettra, non seulement de corriger l'anomalie, mais également de résister à une nouvelle anomalie pouvant résulter de la même cause si cette cause n'a pas été supprimée [VALIRON, 1994].

A. Le classement des techniques de réhabilitation

La réhabilitation d'un système peut être réalisée par une action ou une combinaison d'actions, et il est important d'expliquer les frontières entre les différentes actions [HAIDAR, 2006] (regarder Figure I.14).

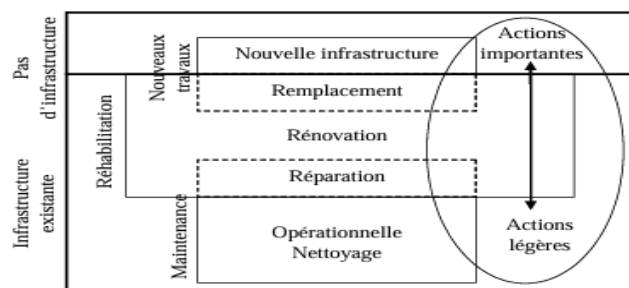


Figure I.14 : terminologie utilisée dans la réhabilitation (norme EN 752) et relation avec les autres opérations [HAIDAR, 2006].

D'après la figure I.18, nous déduisons qu'il y a trois concepts de la réhabilitation :

- **Remplacement** : c'est la construction d'une conduite toute neuve ;

- **Rénovation** : ce sont des travaux qui utilisent tout ou une partie de système pour améliorer ses performances actuelles ;
- **Réparation** : rectification des défauts localisés.

a. Les techniques de remplacement

1. Pose en tranchée ouverte :

Il s'agit d'une méthode traditionnelle, elle est parfaitement adaptée aux zones peu denses. Cette solution est généralement préférée à une technique de réhabilitation si l'état de l'ouvrage en place interdit toute intervention ou si le coût se révèle moins important. Le nouveau réseau peut être choisi de nature différente de l'ancien si les causes de la dégradation constatées ne sont pas éliminées ou si les conditions économiques ont changé [BLINDU, 2004].



Figure I.15 : pose en tranchée ouverte.

2. Pose sans tranchée :

Ces procédés consistent à mettre en œuvre une nouvelle canalisation sans ouverture de tranchée. Ces techniques s'appliquent lorsque l'état de l'ouvrage est tel qu'aucune autre méthode n'est envisageable et que la pose avec tranchée est rendue difficile ou coûteuse du fait de l'environnement. Ce procédé pourra aussi être utilisé pour éviter de couper les routes nouvellement construites [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, 2013].

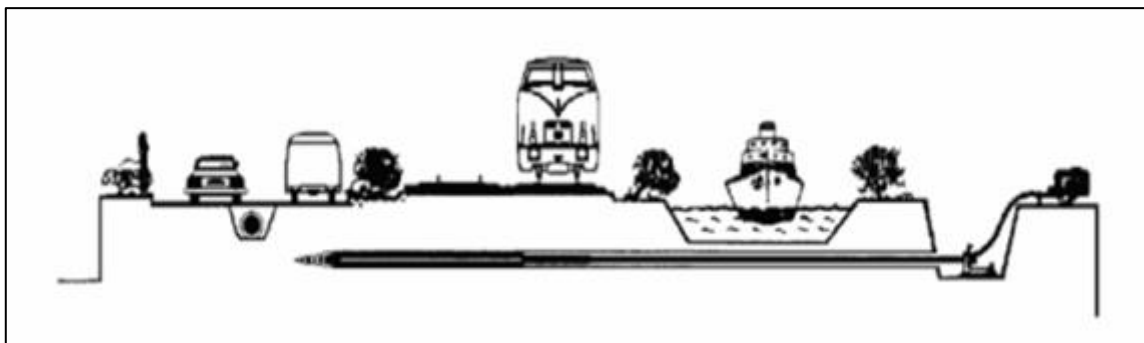


Figure I.16 : Procédé par forage [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, 2013].

3. Techniques destructives :

Les procédés de renouvellement de type destructif consistent à mettre en œuvre une nouvelle canalisation à l'emplacement de celle existante défectueuse qui est détruite par le procédé. Ces techniques s'appliquent lorsque l'état de l'ouvrage ou les contraintes d'environnement sont tels qu'aucune autre technique n'est envisageable [BLINDU, 2004]. Ce procédé a trois techniques :

- **Les techniques par éclatement** : s'effectuent par têtes à vérins hydrauliques ou par percussion, sans évacuation de la canalisation existante. Le nouveau tuyau généralement tracté derrière la machine est de type thermoplastique long en barres soudées sur chantier [BLINDU, 2004].
- **Les techniques par « mange-tube »** : s'effectuent par micro-tunnelier, avec évacuation de la canalisation existante. Le nouveau tuyau, poussé derrière la machine assurant le creusement, est constitué d'éléments assemblés et de nature adaptée à ce type de travail (béton âme -tôle, fibres-ciment, ...) [BLINDU, 2004].
- **Les techniques par extraction ou par arrachage de l'ancien ouvrage** : (généralement en plomb ou fonte) et substitution immédiate par un nouveau tuyau généralement en thermoplastique [BLINDU, 2004].

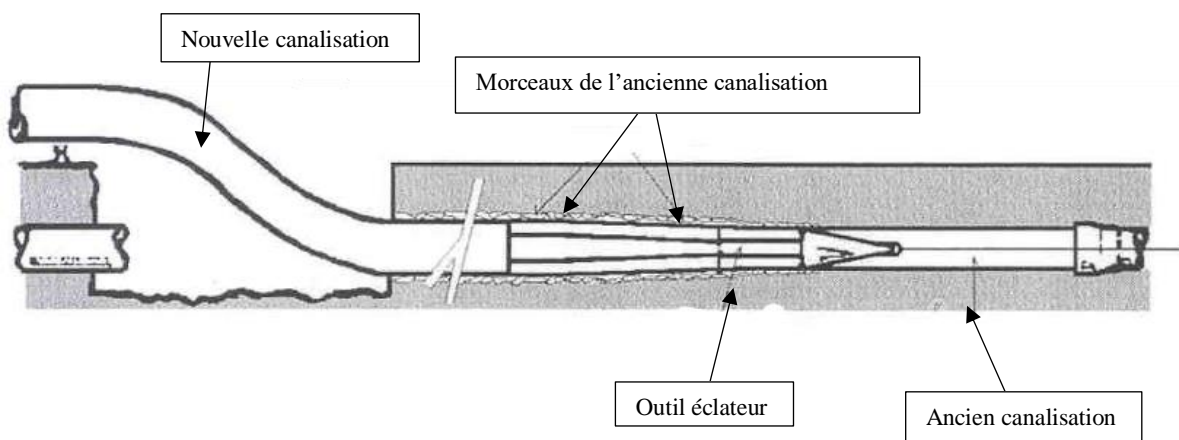


Figure I.17 : Schéma d'un remplacement destructif d'une conduite (éclatement) [BLINDU, 2004].

b. Techniques de rénovation

1. **Tubage** : Il s'applique aux canalisations dont la structure défaillante ne peut être maintenue en service. La canalisation est utilisée comme fourreau pour l'introduction d'une nouvelle canalisation de diamètre inférieur [VALIRON, 1994].

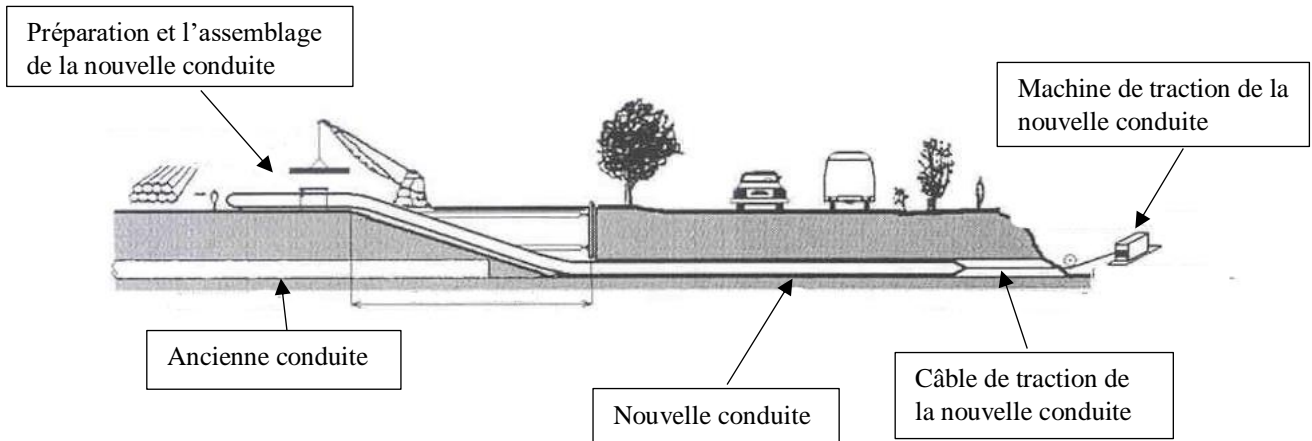


Figure I.18 : Schéma d'un tubage simple [BLINDU, 2004].

- **Tubage avec espace annulaire** :

Cette technique consiste à utiliser en place comme fourreau pour le passage d'une nouvelle conduite (principalement PEHD). Celle-ci, dont les dimensions extérieures sont inférieures au diamètre de la conduite existante peut, éventuellement, réduire de manière significative le diamètre de la conduite. Cela peut d'ailleurs constituer un atout lorsque l'on veut réduire le temps de séjour dans une partie du réseau de distribution. Après tubage, l'espace annulaire entre l'ancienne et la nouvelle conduite pourra être comblé par injection d'un coulis de ciment qui a pour rôle de transmettre les sollicitations extérieures sur la nouvelle conduite [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAÏTI, 2013].

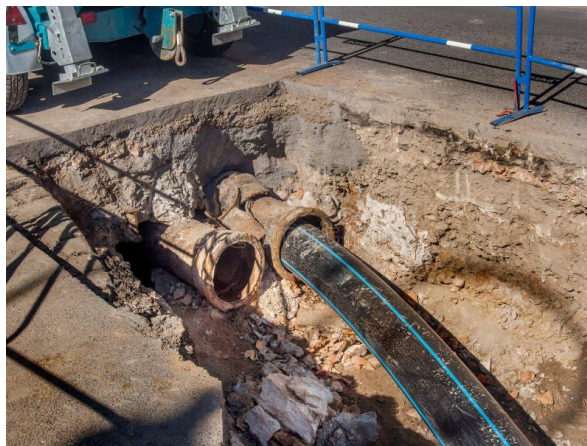


Figure I.19 : tubage avec espace annulaire.

- **Tubage sans espace annulaire :**

Cette technique, qui consiste à réaliser un chemisage de la conduite à réhabiliter par enfilage d'un tube pré déformé en PEHD (polyéthylène haute densité) se plaquant à l'intérieur de la canalisation en place, sans laisser de vide annulaire. Contrairement à la méthode précédente, la diminution du diamètre de la conduite n'est pas significative, car sous l'action d'air sous pression et de vapeur, la nouvelle canalisation est plaquée sur l'ancienne [DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, 2013].



Figure I.20 : tubage sans espace annulaire [YAHYAOU, 2000].

2. Chemisage :

Cette technique consiste à mettre en place à l'intérieur de la canalisation un feutre non tissé imprégné, à l'extérieur, d'une résine. Le chemisage est obtenu par polymérisation [VALIRON, 1994]. Nous distinguons essentiellement le chemisage par tractage et le chemisage par inversion

c. Techniques de réparations

1. Manchette (Le chemisage partiel) :

Il s'agit d'une réparation ponctuelle d'un désordre singulier sur un tronçon. La manchette de longueur variable, permet de corriger localement les faiblesses de la structure et d'étanchéité, telles que les fissures multiples, les perforations, les casses, la condamnation des branchements hors services,

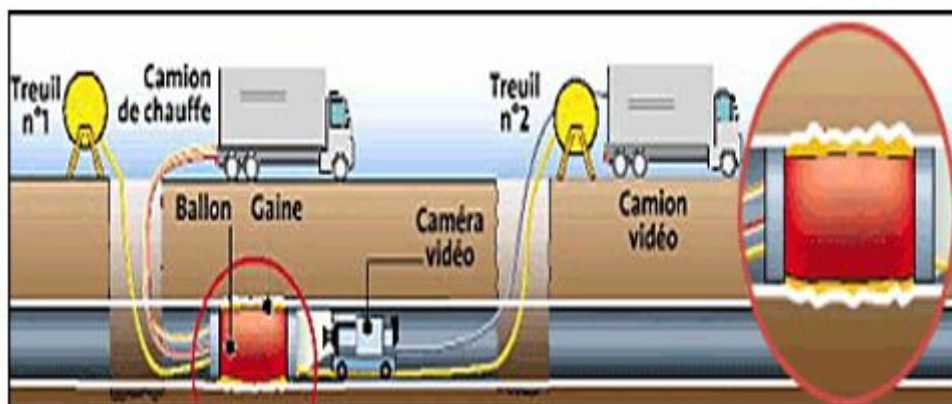


Figure I.21 : Schéma du procédé de chemisage partiel [HUGO, 2016].

2. Etanchement par injection :

Cette technique non structurante consiste à injecter de la résine depuis l'intérieur des ouvrages afin de rétablir l'étanchéité de la canalisation. Ainsi, sont traitées localement la défaillance des joints, les fissures circulaires et les perforations de la canalisation [YAHYAOU, 2000].

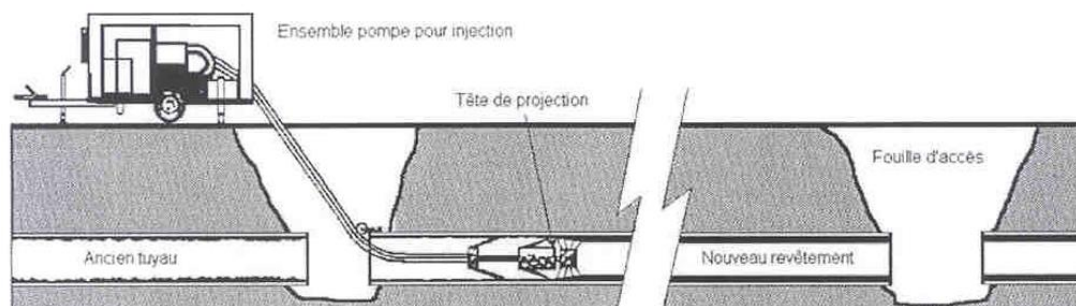


Figure I.22 : Schéma d'un étanchement par injection [BLINDU, 2004].

I.4.5. Les Coûts de réhabilitation

Les coûts de la réhabilitation dépendent de : l'état de la conduite, des travaux préliminaires à exécuter, du diamètre et de la profondeur de la conduite, du tracé et du profil en long de la conduite, du nombre de branchement, de l'importance des eaux à dérivé (ou à maintenir), et du type de réhabilitation [VALIRON, 1994].

I.5. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les généralités sur les réseaux d'AEP. D'abord, nous avons présenté les principes généraux des systèmes d'AEP, en décrivant les différents composants des réseaux d'AEP. Puis nous avons examiné les défaillances des conduites d'AEP et leurs effets, notamment les fuites, les ruptures ...Etc. Enfin, nous avons exploré les différentes techniques de réhabilitation des conduites d'AEP essentielles pour maintenir la qualité et la sécurité de l'eau distribuée.

Cette compréhension globale des réseaux d'AEP est fondamentale pour assurer une gestion efficace et durable de ces infrastructures critiques. Il est essentiel de poursuivre les efforts pour améliorer la gestion et la maintenance des réseaux d'AEP, afin de garantir la qualité et la sécurité de l'eau distribuée.

Chapitre 2

Présentation de la zone d'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

Ce chapitre expose la démarche méthodologique adoptée pour prioriser les travaux de réhabilitation des conduites d'eau potable dans la région de Tizi-Rached. Nous présenterons tout d'abord une description détaillée de la zone d'étude, en mettant en évidence ses caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques et démographiques. Cette analyse nous permettra de mieux comprendre les défis et les enjeux liés à la gestion du réseau d'eau potable dans cette région.

Ensuite, nous décrirons le système d'alimentation en eau potable (AEP) de la ville, en détaillant les caractéristiques des réseaux existants. Cette description nous permettra de comprendre les spécificités du réseau et d'identifier les zones critiques qui nécessitent une attention particulière.

Cette approche nous permettra de développer une méthodologie de priorisation efficace et adaptée aux besoins spécifiques de la région de Tizi-Rached.

II.2. Présentation de la ville de Tizi-Rached

Tizi-Rached est une ville qui présente des caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, démographiques... uniques. Nous allons explorer ces différents aspects pour mieux comprendre les spécificités de cette zone et leurs implications sur la gestion du réseau d'eau potable.

II.2.1. Situation géographique

La commune de Tizi-Rached est l'une des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle est localisée à 20 kilomètres de l'est du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle a une superficie de 31.05 km² et une altitude moyenne de 406 m [BOUARABA & BENAMEUR, 2021].

Ses contours géographiques de définissent comme suit :

- Au Nord : elle est limitrophe des communes de Ouagnoune et Freha ;
- À l'Est : elle est voisine des communes de Mekla et Ait Oumalou ;
- Au Sud : elle partage ses frontières avec les communes de Larbaa Nath Irathen et Irdjen ;
- À l'ouest : elle est délimitée par la commune de Tizi Ouzou.

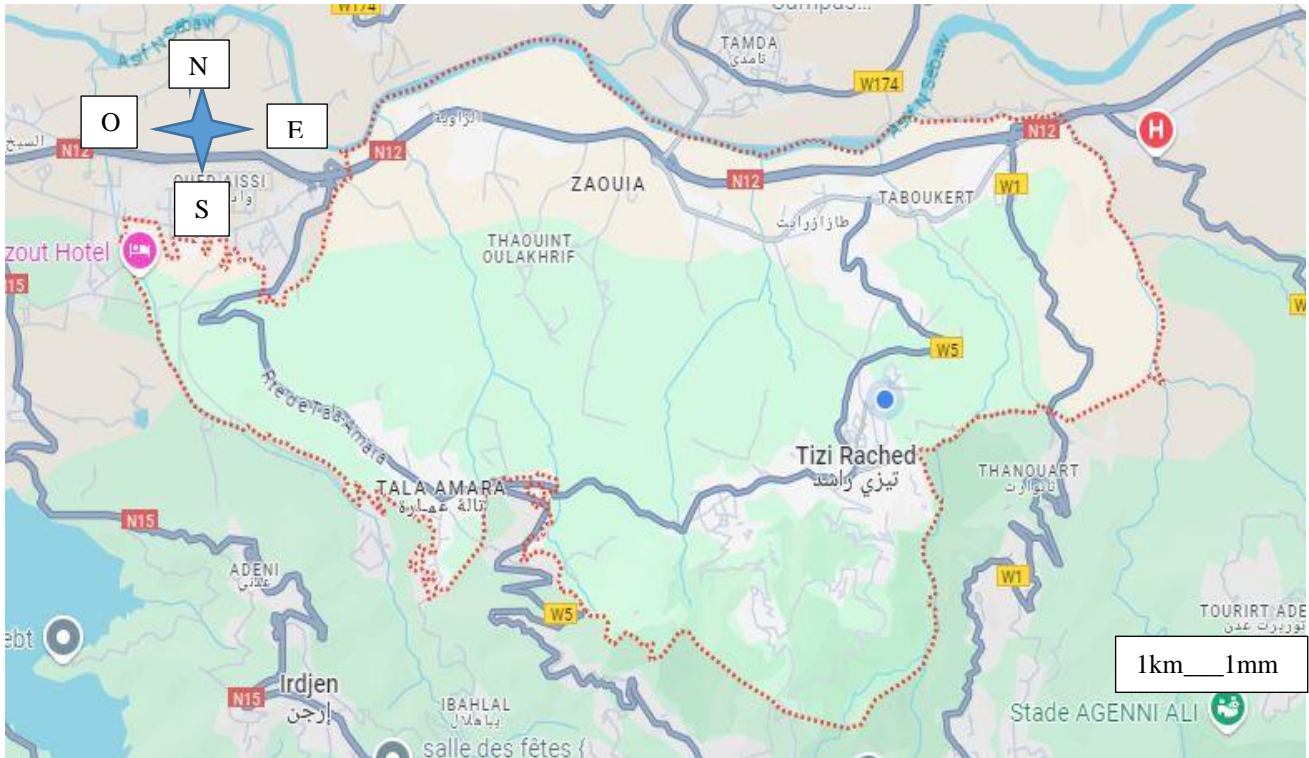


Figure II. 1 : Localisation géographique de la région d'étude [Google maps, 2025].

II.2.2. Situation hydrographique

Le réseau hydrographique de la commune de Tizi Rached est traversé par trois cours d'eau principaux qui font partis du bassin du Sebaou. Ces oueds sont :

1. Oued Sebaou : il constitue l'artère principale du bassin versant et parcourt la commune du nord sur environ 19 km ;
2. Oued Rebta : situé à la limite de la commune, il s'étend sur environ 6 km et se jette dans l'Oued Sebaou ;
3. Oued Bousmahel : cet oued marque la limite ouest de la commune [BOUARABA & BENAMEUR, 2021] .

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

La commune de Tizi-Rached bénéficie de plusieurs sources naturelles qui fournissent de l'eau potable aux habitants, particulièrement pendant les périodes de sécheresse. En outre, de nombreux résidents disposent des puits privés pour répondre à leurs besoins en eau.

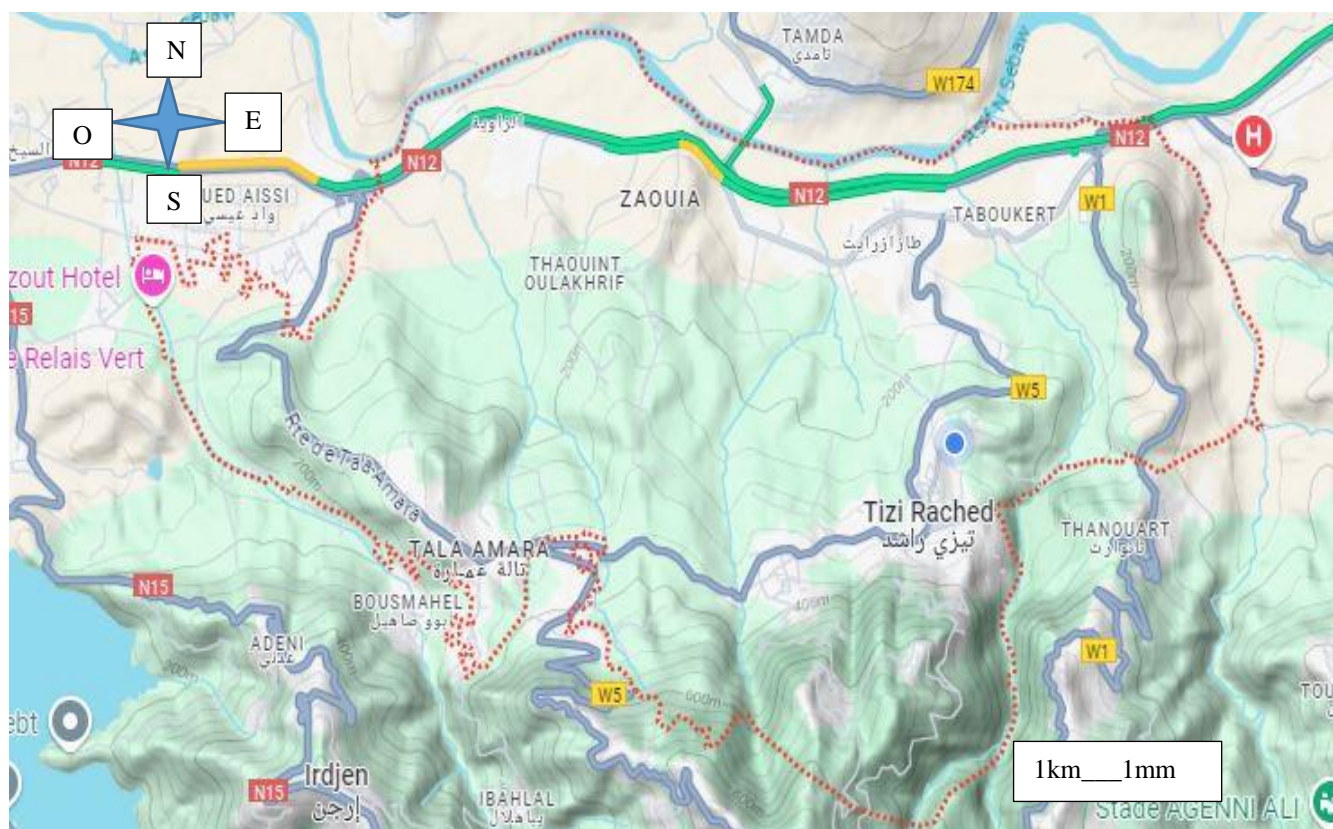


Figure II. 2 : La topographie de la région d'étude [Google maps, 2025].

II.2.3. Situation climatique

II.2.3.1. Le climat

D'après la **météo algérienne** La région de Tizi-Rached est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré, marqué par deux saisons distinctes : un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Les températures varient considérablement entre l'été et l'hiver, avec des moyennes de : 27,8°C en juillet et août et 10,55°C en janvier et février.

II.2.3.2. Les vents

Selon **weatherspark, 2024**, les vents sont généralement plus forts en hiver, avec des moyennes supérieures à 12,4 km/h (Décembre est le mois le plus venteux). En été, les vents sont plus faibles avec une vitesse moyenne inférieure à celle de l'hiver.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.2.3.3. La Pluviométrie

Selon la station météorologie de Boukhalfa et l'ONM d'Algérie, les précipitations moyennes annuelles à Tizi-Rached sont de 752,05 mm. Elles sont réparties de manière inégale tout au long de l'année, elles se concentrent principalement pendant les mois d'hiver de novembre jusqu'au mois d'avril.

Tableau II.1 : Moyennes de précipitation calculées avec les données de la station météo TIZI-OUZOU située à 6 km de TIZI RACHED

Mois	Précipitation (mm)
Janvier	105
Février	105
Mars	100
Avril	81
Mai	61
Juin	14
Juillet	2
Aout	6
Septembre	31
Octobre	54
Novembre	123
Décembre	114

II.2.4. Situation démographique

Selon le dernier recensement qui a été effectué en 2008 par le service de l'APC de Tizi-Rached, la population de la région était de 17 161 habitants. La densité de la population est relativement élevée qui est de 553 habitants par kilomètres carré avec un taux d'accroissement de 1 % considéré comme modéré.

La démographie de Tizi-Rached présente une évolution démographique prévisible et des besoins en matière des services publics et d'infrastructures. Cependant, la région doit faire face à des défis tels que la pénurie de main-d'œuvre et la pression sur les ressources naturelles.

II.3. Système actuel d'AEP

Le système d'alimentation en eau potable de Tizi-Rached est confronté à des défis importants en raison de la détérioration avancée des infrastructures et de la croissance démographique rapide. Actuellement, le réseau repose sur un ensemble de conduites gravitaires et de refoulement qui desservent les différents quartiers de la ville. Cependant, les pertes d'eau considérables dues aux fuites et aux ruptures des canalisations compromettent la capacité du réseau à répondre à la demande croissante de la population. De plus, le manque des stations de traitement d'eau adéquates constitue un problème majeur, car les installations existantes sont insuffisantes pour traiter les volumes d'eau nécessaires pour répondre aux besoins de la population. Face à cette situation, les autorités locales ont initié un plan de réhabilitation et d'extension du réseau d'eau potable, qui prévoit le remplacement des canalisations anciennes par des matériaux plus résistants, la construction de nouvelles stations de traitement d'eau pour augmenter la capacité de traitement, ainsi que la construction de nouveaux réservoirs pour améliorer la capacité de stockage et la fiabilité de l'approvisionnement.

Le schéma suivant présente le schéma hydraulique vertical du système de refoulement du village ikherivene vers le réservoir Affensou, Tala Amara et Agouni Djilvane commune Tizi-Rached.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

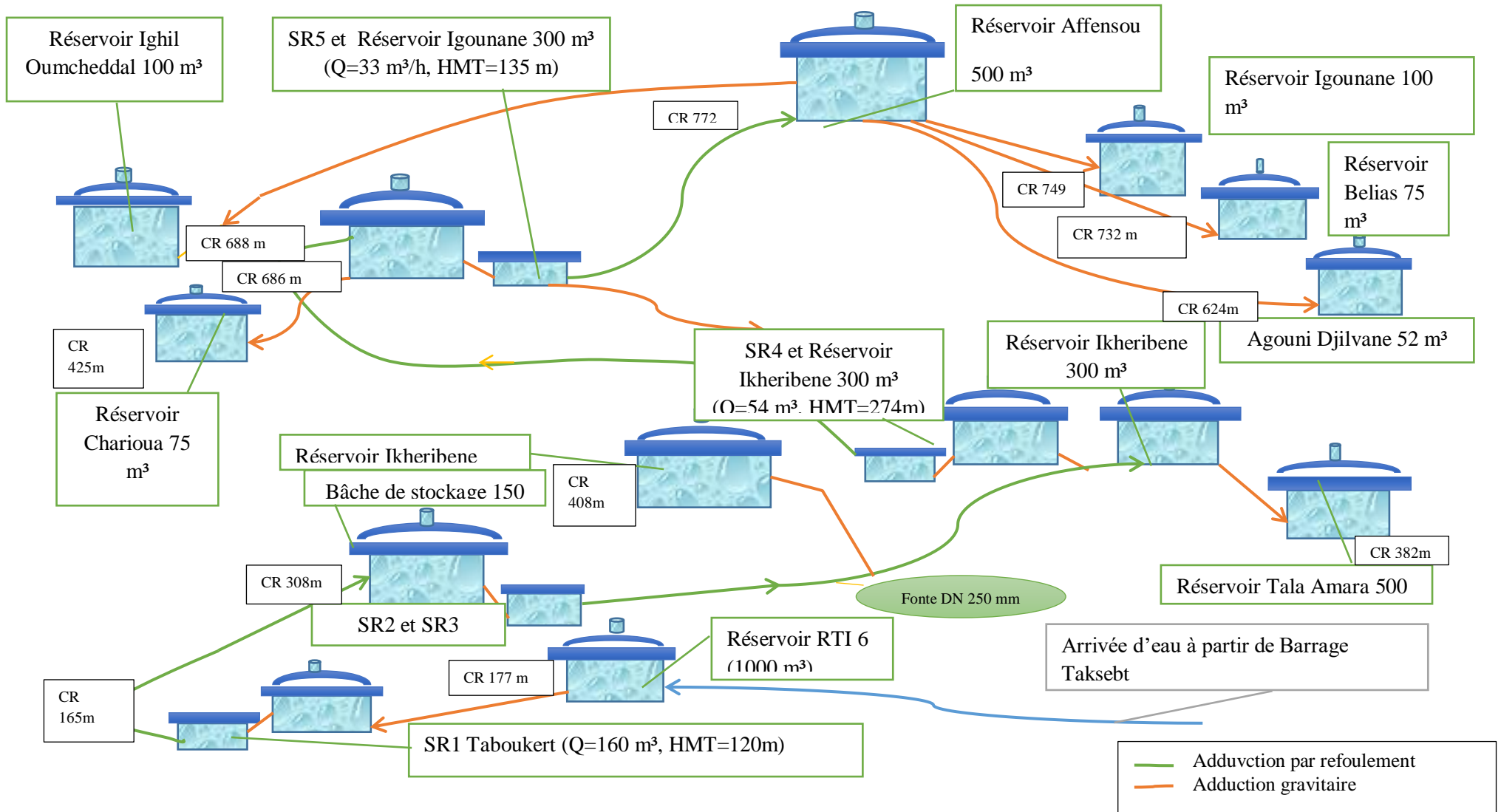


Figure II. 2 : schéma hydraulique vertical du système de refolement du village Ikeribene vers le réservoir Affensou, Tala Amara et Agouni Djilvane commune Tizi-Rached.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.3.1. Caractéristiques du réseau d'adduction

Le réseau d'adduction en eau potable de la région d'étude est composé de plusieurs conduites qui alimentant un ou plusieurs villages. Notre étude porte sur 11 conduites de refoulement et par gravité, principalement en acier, fonte et en PEHD, de diamètres et de longueurs variables. Ces conduites sont alimentées par cinq stations de pompage situées à Tizi-Rached, à savoir SR1 Taboukert, SR2 Boushel, SR3 Boushel, SR4 Ikherivene et SR5 Igounane. Grâce à ces infrastructures, la distribution d'eau potable est efficace et optimisée, répondant ainsi aux besoins diversifiés de la région.

Le tableau ci-dessous détaille les caractéristiques de chaque conduite, notamment le type de matériau, le diamètre nominal, la désignation, la destination, la longueur et le type d'écoulement.

Tableau II.2: Caractéristiques du réseau d'adduction.

Les conduites d'adduction	Désignation	Destination	Nature de la conduite	Diamètre nominale (mm)	Longueur (km)	Écoulement
Conduite 1	SR1 Taboukert	SR2 Boushel	Acier	250	1.5	Refoulement
Conduite 2	SR2 Boushel	SR4 Ikheribene	fonte	250	1.8	Refoulement
Conduite 3	Réservoir Tala Amara (500 m ³)	Réservoir Tala Amara (200 m ³)	PEHD	160	2.8	Gravitaire
Conduite 4	SR3 Boushel	Réservoir Takaats	Acier	80	2	Refoulement
Conduite 5	Réservoir Takaats	Réservoir Amalou	PEHD	110	0.98	Refoulement
Conduite 6	Réservoir Affensou	Réservoir Ighil Oumechedal	PEHD	63	1.1	Gravitaire
Conduite 7	Réservoir Affensou	Réservoir Charioua	PEHD	75	3	Gravitaire
Conduite 8	Réservoir Agouni Djilbane	Réservoir Iboudrarene	PEHD	50	0.5	Gravitaire
Conduite 9	SR4 Ikheribene	Réservoir Lazib Charioua	PEHD	90	3.8	Gravitaire
Conduite 10	Réservoir Affensou	SR5 Igounane	PEHD	90	0.3	Gravitaire
Conduite 11	Réservoir Affensou	Réservoir Belias	Acier	80	1.5	Gravitaire

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.3.2. Caractéristiques du réseau de distribution

Le réseau de distribution d'eau potable comprend un ensemble de conduites gravitaires et de refoulement, chacune alimente un ou plusieurs villages. Ces conduites, réalisées en polyéthylène haute densité (PEHD), sont alimentées principalement par le réservoir de transfert du barrage de Taksebt, qui approvisionne cinq stations de refoulement dans la région. Un appoint supplémentaire est assuré par le piquage de Tizi-Rached sur la conduite de transfert du barrage. Les conduites, de diamètres et longueurs divers, sont conçues pour répondre aux besoins spécifiques de chaque village, garantissant ainsi une distribution d'eau potable fiable et de qualité.

Les détails des caractéristiques de chaque conduite du réseau de distribution sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau II.3 : Caractéristiques du réseau de distribution

Les conduites de distribution	Désignation	Destination	Nature de la conduite	Diamètre nominal (mm)	Longueur (km)	Écoulement
Conduite 1	SR1 Taboukert	SR2 Boushel	PEHD	de DN110 au DN40	16.57	Refoulement
Conduite 2	SR2 Boushel	SR4 Ikheribene	PEHD	de DN 160 au DN40	7.15	Refoulement
Conduite 3	Réservoir Tala Amara (500 m ³)	Réservoir Tala Amara (200 m ³)	PEHD	de DN160 au DN40	12.89	Gravitaire
Conduite 4	SR4 Ikheribene	Village Tiznaguine	PEHD	de DN110 au DN40	1.388	Gravitaire
Conduite 5	SR1 Taboukert	Village Timezguida	PEHD	de DN160 au DN40	2.42	Refoulement
Conduite 6	SR1 Taboukert	Village Taboukert	PEHD	de DN110 au DN40	7.42	Refoulement
Conduite 7	SR3 Boushel	Réservoir Takaats	PEHD	de DN110 au DN40	3.09	Refoulement
Conduite 8	Réservoir Affensou	Réservoir Amalou	PEHD	75	1.21	Gravitaire
Conduite 9	Réservoir Affensou	Réservoir Ighil Oumechdal	PEHD	de DN90 au DN40	2.731	Gravitaire
Conduite 10	Réservoir Affensou	Réservoir Charioua	PEHD	de DN90 au DN40	3.73	Gravitaire

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.3 : Caractéristiques du réseau de distribution (suit)

Conduite 11	Un branchement sur la conduite de transfert (piquage)	Village Tala Toulmouts + Boulaghene	PEHD	de DN90 au DN40	5.42	Gravitaire
Conduite 12	Réservoir Affensou	Réservoir Agouni Djilbane + Réservoir Iboudrarene	PEHD	de DN90 au DN40	2.55	Gravitaire
Conduite 13	Réservoir Iboudrarene	Réservoir Zarka	PEHD	de DN40 au DN32	0.19	Gravitaire
Conduite 14	SR4 Ikheribene	Réservoir Lazib Charioua	PEHD	de DN63 au DN40	7.26	Gravitaire
Conduite 15	Un branchement sur la conduite de transfert (piquage)	Village Taadja	PEHD	de DN90 au DN40	4.43	Gravitaire
Conduite 16	Réservoir Affensou	SR5 Igounane	PEHD	De DN110 au DN40	3.46	Gravitaire
Conduite 17	Réservoir Affensou	Réservoir Belias	PEHD	40	0.74	Gravitaire
Conduite 18	Réservoir Lazib Charioua	Villages Taouint Oulakherif+ Amyis	PEHD	De DN63 au DN40	3.95	Gravitaire

II.4. État structurel et fonctionnel du réseau

Le système d'alimentation en eau potable de la région de Tizi Rached repose sur un réseau complexe de conduites qui assurent l'adduction et la distribution de l'eau potable aux usagers. Pour garantir la qualité et la fiabilité de ce service essentiel, il est crucial d'évaluer l'état structurel et fonctionnel du réseau. Cette évaluation permet d'identifier les points critiques nécessitant une attention particulière, tels que les conduites dégradées, les pertes d'eau et les dysfonctionnements.

Les tableaux suivants présentent les résultats de notre évaluation du réseau d'adduction et de distribution, en analysant les paramètres tels que l'état des conduites, le rendement, l'âge, les réhabilitations et les dysfonctionnements.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.4. : L'état du réseau d'adduction

Les conduites d'adduction	État de la conduite	Age de la conduite en 2025 (ans)	Le rendement (%)	L'année de la réhabilitation	Dysfonctionnement de la conduite
C1	Moyen	29	95	Réhabilitée en 2018	Fuite sur la conduite
C2	Bon	53	90	Réhabilitée en 2013	Fuite sur la conduite
C3	Moyen	37	70	Jamais réhabilitée	En bon état
C4	Moyen	29	98	Jamais réhabilitée	Fuite sur la conduite
C5	Bon	8	100	Jamais réhabilitée	En bon état
C6	Bon	5	95	Réhabilitée en 2020	En bon état
C7	Bon	13	80	Réhabilitée en 2012	En bon état
C8	Bon	49	95	Réhabilitée en 2015	En bon état
C9	Moyen	35	70	Jamais réhabilitée	Fuite sur la conduite
C10	Bon	13	90	Jamais réhabilitée	En bon état
C11	Bon	49	100	Jamais réhabilitée	En bon état

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.5. : L'état du réseau de distribution

Les conduites de distribution	État de la conduite	Le rendement (%)	L'année de la réhabilitation	Dysfonctionnement de la conduite
C1	Bon	95	Réhabilitée en 2010	En bon état
C2	Bon	90	Réhabilitée en 2010	En bon état
C3	Bon	70	Réhabilitée en 2016	En bon état
C4	Bon	90	Réhabilitée en 2010	En bon état
C5	Bon	95	Réhabilitée en 2007	En bon état
C6	Bon	95	Réhabilitée en 2015	En bon état
C7	Bon	98	Réhabilitée en 2012	En bon état
C8	Bon	100	Réhabilitée en 2012	En bon état
C9	Bon	95	Réhabilitée en 2011	En bon état
C10	Bon	80	Réhabilitée en 2014	En bon état
C11	Bon	95	Réhabilitée en 2013	En bon état
C12	Bon	95	Réhabilitée en 2013	En bon état
C13	Bon	80	Réhabilitée en 2018	En bon état
C14	Bon	70	Réhabilitée en 2009	Conduite bouchée à la partie haute du village et une partie est usée
C15	Bon	95	Réhabilitée en 2016	En bon état
C16	Bon	90	Réhabilitée en 2010	En bon état
C17	Bon	100	Réhabilitée en 2012	En bon état
C18	Bon	90	Réhabilitée en 2011 et en 2017	En bon état

II.5. Conclusion

Cette présentation de la région de Tizi-Rached a permis de mettre en évidence les caractéristiques géographiques et démographiques de la ville, ainsi que les spécificités de son système d'alimentation en eau potable. L'analyse du système actuel d'AEP et l'analyse de l'état structurel et fonctionnel du réseau ont révélé les forces et les faiblesses de l'infrastructure existante, et ont identifié les besoins en matière de maintenance et de réhabilitation.

Ces informations seront essentielles pour la suite de notre étude, notamment pour la présentation de l'outil d'aide à la priorisation de la réhabilitation des conduites, qui visera à optimiser les interventions et à garantir un service d'eau potable fiable et durable pour les habitants de Tizi-Rached.

Chapitre 3

Présentation de l'outil d'aide à la priorisation

III.1. Introduction

La sélection de projets d'investissement est un problème complexe et intrinsèquement multicritère. Pour sa résolution, nous nous sommes tournés naturellement vers une vision « aide à la décision » [AKHROUF & DEGHROUM, 2022].

Dans ce chapitre, nous allons élaborer un outil d'aide à la décision pour hiérarchiser et prioriser les interventions de réhabilitation des réseaux d'AEP. En effet, cet outil est une combinaison entre deux méthodes multicritères : AHP (Analytic Hierarchy Process) pour pondérer les critères, et TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) pour la classification des conduites. Pour cela, nous allons d'abord illustrer la méthodologie adoptée. Par la suite, nous allons définir le concept des deux méthodes, expliquer les principales étapes de fonctionnement avec les différentes formulations mathématiques de chaque méthode.

III.2. Démarche suivie

La méthodologie adoptée pour prioriser la réhabilitation des conduites dans la région de Tizi-Rached se déroule en deux phases essentielles. La première phase, consacrée à la collecte de données, vise à recueillir des informations précises sur les caractéristiques du réseau d'eau potable de Tizi-Rached, notamment les données sur les conduites. Cette phase implique une consultation approfondie avec les parties prenantes locales, telles que les services communaux et les gestionnaires du réseau d'eau potable.

La deuxième phase consiste à identifier les différents critères qui peuvent influencer le bon état des conduites. Les résultats de cette analyse permettront de classer les tronçons à réhabiliter par ordre de priorité, du plus urgent au moins urgent, afin de garantir une allocation efficace des ressources et une planification optimale des travaux de réhabilitation.

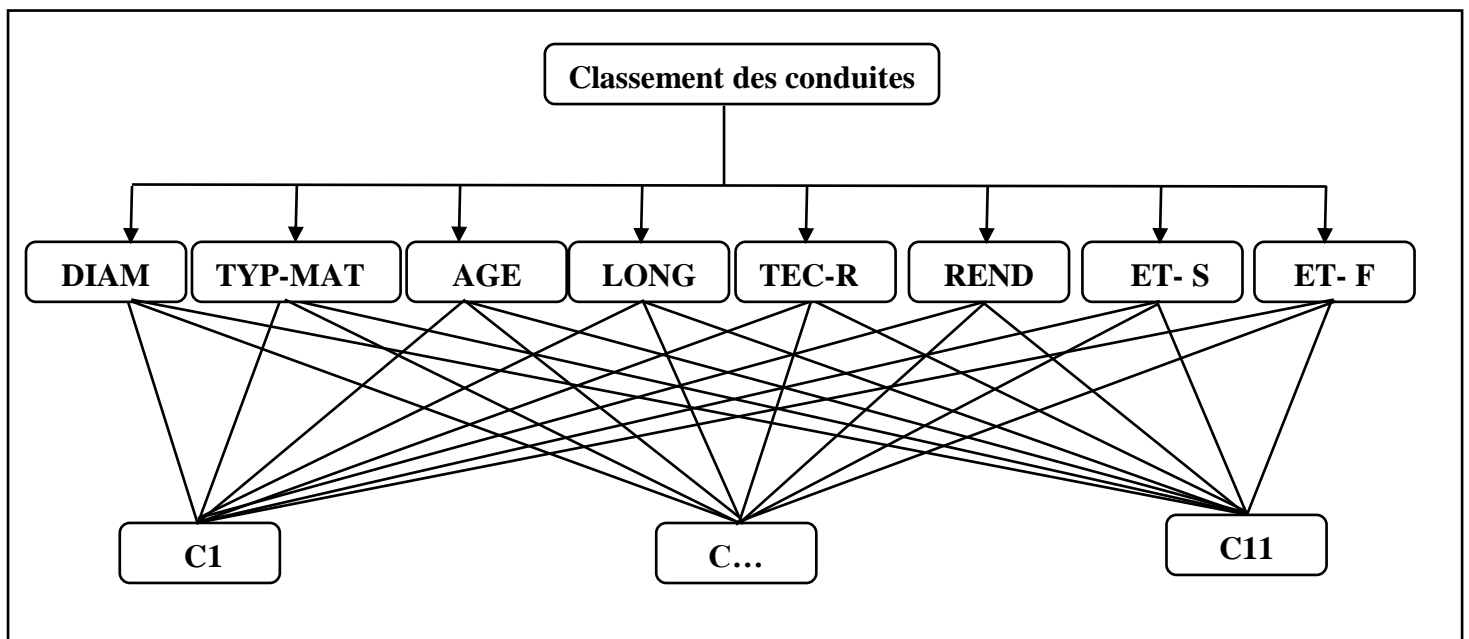


Figure III.1 : La décomposition hiérarchique de L'AHP.

Chapitre III. : Présentation de l’outil d’aide à la priorisation

III.2.1. Représentation des données et identification des critères

Comme déjà expliqué précédemment, l’identification des critères représente une phase cruciale dans la construction de l’outil d’aide à la priorisation. En effet, et en fonction des données collectées auprès d’ADE de Tizi Rached, nous avons pu cibler huit critères. Le tableau suivant présente la description de chaque critère ainsi que les valeurs représentatives des 11 conduites du réseau d’adduction de la région Tizi Rached.

Tableau III.1 : différents critères, leurs définitions et leurs valeurs.

critère	Description	valeur
DIAM (diamètre)	Le diamètre d’une canalisation d’un réseau d’AEP a une influence sur la durée de la vie car les diamètres les plus importants subissent une dégradation plus rapide due à la corrosion, l’incrustation ou l’érosion interne. Cela est dû à leurs grandes surfaces de contact avec l’eau et le sol. Selon les données de l’ADE, les diamètres des conduites de la zone d’étude varient entre 50 mm à 250 mm.	$50 \text{ mm} \leq D \leq 250 \text{ mm}$
TYP-MAT (le type de matériau)	Le type de matériau avec les différents caractères a une influence sur le comportement hydraulique de réseau. Et chaque matériau a sa propre durée de vie et sa propre résistance aux contraintes extérieures. d’après les données de l’ADE, les matériaux utilisés sont l’acier, la fonte et le PEHD.	-PEHD : 1 ; -Fonte : 2 ; -Acier : 3.
AGE (l’âge de la conduite(années))	La sensibilité et l’état d’une conduite d’alimentation en eau potable ont un rapport avec son âge depuis l’installation et ses années de service. La plus ancienne est toujours la plus vulnérable à la détérioration.	$5 \text{ ans} \leq A \leq 53 \text{ ans}$
LONG (la longueur)	Ce critère est basé sur le plus long est le plus prioritaire.	$0,3 \text{ km} \leq L \leq 3,8 \text{ km}$
TEC-R (Technique de réhabilitation)	Lors de la réhabilitation d’une conduite d’AEP, chaque tronçon a des problèmes spécifiques à résoudre et des objectifs à atteindre. Pour cela, le choix de la technique de réhabilitation (remplacement, extension, maintenance) est nécessaire, et chaque technique a une valeur de priorisation. Nous avons affecté par exemple la valeur 1 à la technique de remplacement (une conduite déjà remplacée ne nécessite pas de réhabilitation).	-Remplacement : 1 ; -Extension : 2 ; -Maintenance : 3.
REND (rendement)	C’est le rapport entre le volume distribué dans le réseau et le volume consommé par les utilisateurs	$70 \% \leq R \leq 100 \%$
ET-S (état structurel)	Désigne l’ensemble des caractéristiques physiques et techniques du réseau, qui permettent d’évaluer sa capacité à assurer le transport et la distribution d’eau potable de manière fiable, durable et sécurisée.	-Bon : 1 ; -Moyen : 2 ; -Mauvais : 3.

Chapitre III. : Présentation de l’outil d’aide à la priorisation

ET-F (état fonctionnel)	Il s’agit de la capacité opérationnelle du réseau pour assurer la distribution, en respectant la qualité, la quantité, la pression, et le temps de service.	-Bon : 1 ; -Moyen : 2 ; -Mauvais : 3.
-------------------------	---	---

III.3. Principe de la méthode AHP

III.3.1. Définition

La méthode d’aide à la décision multicritère AHP (analyse hiérarchique des processus) a été conçue par Thomas SAATY (1977, 1980) au cours des années 70, à la Wharton School of Business de l’Université de Pennsylvanie. Elle est utilisée dans un vaste éventail de domaines d’application aux quatre coins de la planète et de façon soutenue depuis son introduction il y a 40 ans [RIVEST, 2019].

C'est une procédure systématique pour représenter les éléments de tout problème. Il organise la rationalité de base en décomposant un problème en ses parties constitutives plus petites et n'appelle ensuite que de simples jugements de comparaison par paires pour développer des priorités dans chaque hiérarchie [AKHROUF & DEGHROUM, 2022], l'AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers facteurs (objectif, critères et alternatives) du problème. Une fois la hiérarchie de critères établie, les valeurs relatives des alternatives peuvent être quantifiées face à chacun des critères. Puis, l'agrégation du modèle complet permet d'obtenir la valeur relative de chaque alternative face à l'objectif de la décision en tenant compte de l'ensemble des critères [RIVEST, 2019].

En résumé, l’AHP est utilisée simplement pour :

- Choisir la meilleure solution ;
- Prioriser les solutions ;
- Comparer les solutions ;
- Allouer de façon optimale les ressources ;
- Résoudre un conflit ;
- Gérer la qualité.

III.3.2. Fonctionnement de AHP

Il y a trois principes que l'on peut reconnaître dans la résolution de problèmes. Ce sont les principes de décomposition, de jugements comparatifs et de synthèse des priorités [SAATY, 1986].

L'AHP est une méthodologie rigoureuse qui se divise en une série d'étapes importantes, à savoir : la structuration de la hiérarchie, l'établissement des priorités et la vérification de la cohérence logique de l'analyse [AKHROUF & DEGHROUM, 2022].

III.3.2.1. Établissement de la structure hiérarchique

Comme dans tous les processus de prise de décision, le facilitateur s'assiera longtemps avec le(s) décideur(s) pour structurer et modéliser le problème. L'AHP a l'avantage de permettre une structuration hiérarchique des critères, ce qui permet aux utilisateurs de mieux se concentrer sur des critères et sous-critères spécifiques lors de l'attribution des pondérations. Le nombre de composantes va en général de cinq (05) à neuf (09) [SAATY, 1986].

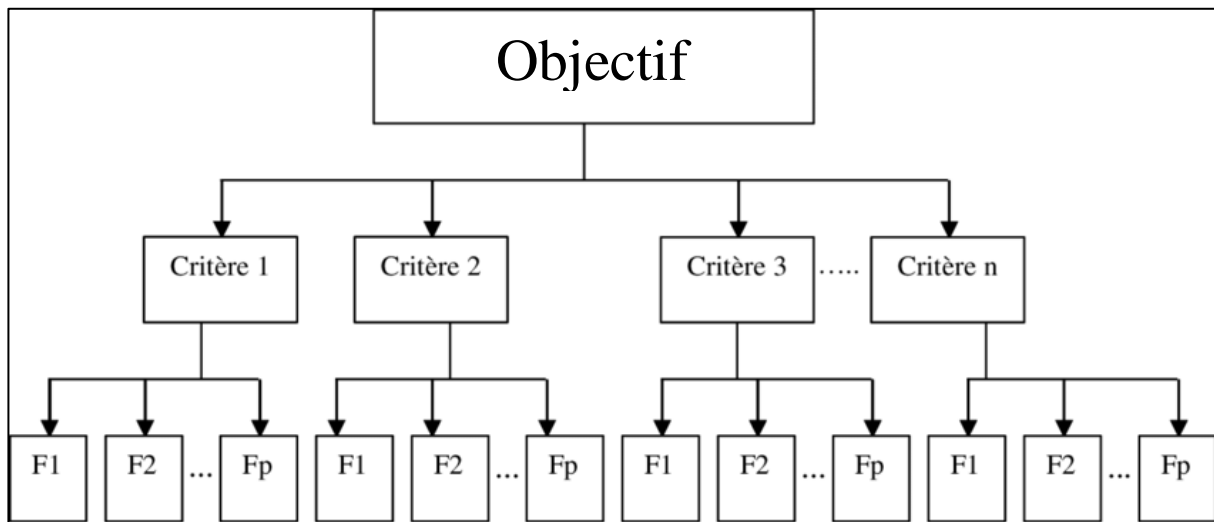


Figure III.2 : Exemple d'une structure hiérarchique de trois niveaux.

III.3.2.2. Établissement des priorités

La première étape pour établir les priorités des différents éléments faisant partie d'un problème de décision est d'effectuer des comparaisons binaires des éléments du même niveau de la hiérarchie deux à deux par rapport à un critère donné, tout en alliant la pensée logique à l'expérience. La matrice présente le cadre le plus efficace pour effectuer de telles comparaisons [AKHROUF & DEGROUM, 2022].

La comparaison sera obtenue en répondant à la question : lequel des deux est la plus importante en terme d'avantage, d'influence, de satisfaction, de contribution ou de bénéfice, et à quel point ; à l'aide de l'échelle de SAATY.

Chapitre III. : Présentation de l’outil d’aide à la priorisation

Tableau III.2. L’échelle de comparaison binaire [SAATY, 1984].

Degré d’importance	Définition	Explication
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	Faible importance d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	importance forte ou déterminante d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre, sont aussi convaincantes que possible
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisine	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations

La comparaison d’un critère avec lui-même donne :

$$S_i : (A_i = A_j) ; \quad (C_{ij}=1) ; \quad \text{avec } (i, j) = (1, \dots, n) ;$$

La comparaison d’un critère à un autre donne :

$$S_i : (A_i \neq A_j) ; \quad (C_{ij}) ; \quad \text{avec } (i, j) = (1, \dots, n) ;$$

La valeur réciproque est alors automatiquement donne :

$$(C_{ji}) ; \quad \text{où} \quad C_{ji} = 1/C_{ij} ; \quad \text{avec } (i, j) = (1, \dots, n) ;$$

C’est ainsi et avec l’échelle de SAATY que la comparaison sera représentée par la matrice réciproque dans la figure ci-dessous :

$$A = \begin{array}{c|ccccccc} C & A_1 & A_2 & A_3 & \cdot & \cdot & \cdot & A_7 \\ \hline A_1 & 1 & C_{12} & C_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{17} \\ A_2 & C_{21} & 1 & C_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{27} \\ A_3 & C_{31} & C_{32} & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & C_{37} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_7 & C_{71} & C_{72} & C_{73} & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{array}$$

Figure III.3 : Matrice de comparaison [AKHROUF & DEGHROUM, 2022].

Une fois la matrice de comparaison est déduite, on procède aux étapes suivantes :

- Normalisation de la matrice A afin d’obtenir une matrice B ;

$$B = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}$$

- Pour le poids de chaque critère, il faut sommer les lignes de la matrice normalisée B et diviser sur le nombre total des critères (n) .

$$w_i = (\sum_{j=1}^n b_{ij})/n$$

Où b_{ij} est l’élément de la matrice normalisée B

III.3.2.3. Cohérence des jugements

La méthode AHP évalue la cohérence globale des appréciations au moyen d’un ratio de cohérence. La valeur du ratio de cohérence doit être égale ou inférieure à 0,1. Si elle est supérieure à 0,1, les appréciations risquent d’être quelque peu aléatoires et peuvent alors exiger certaines révisions [SAATY, 1984].

Pour vérifier la cohérence, trois grandeurs sont à calculer

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice λ_{max} ;

D’abord, il s’agit de pondérer la matrice de comparaison A par la priorité qui vient d’être obtenue

$$D_i = \sum_{i=1}^n C_{ij} w_i$$

- Ensuite, trouver le λ_{max} ;

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{w_i} \quad \text{où n est le nombre de critères}$$

- L’indice de cohérence (Ci) s’obtient à partir du vecteur propre ;

Chapitre III. : Présentation de l’outil d’aide à la priorisation

$$Ci = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad \text{où } n \text{ est le nombre de critères}$$

- Le ratio de cohérence (RC) : à base de l’indice de cohérence (Ci), un autre indice appelé indice aléatoire (Ri) sera utile pour trouver ce ratio, et pour cela STAAAY a élaboré un échelle des indices aléatoire par rapport au nombre des critères. Cette échelle est présentée dans le tableau suivant :

Tableau III.3. L’indice aléatoire [SAATY, 1984].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Une fois l’indice aléatoire déterminé à partir de ce tableau, le ratio de cohérence se calcule comme suit :

$$RC = \frac{Ci}{Ri}$$

III.4. Principe de la méthode TOPSIS

III.4.1. Définition

La méthode d’aide à la décision multicritère TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) est développée par HWANG et YOON en 1981 [AYADI, 2010], elle est l’une des méthodes les plus utilisées, son grand apport est l’introduction des notions d’idéal et d’anti-idéal.

Elle est basée sur le choix d’une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et s’éloigne le plus de la pire solution (qui dégrade tous les critères). Elle compare un ensemble d’alternatives par l’identification des poids de chaque critère, la normalisation des scores de chaque critère et le calcul de la distance euclidienne entre chaque alternative et l’alternative idéale qui a le meilleur score dans chaque critère. [ACHRAF et al, 2015].

On dit que :

-Une alternative est idéale **favorable** si elle est la plus loin de la pire alternative et la plus proche de la meilleure alternative ;

-Une alternative est idéale **défavorable** si elle est la plus proche de la pire alternative et la plus loin de la meilleure alternative [YEZZA, 2015].

III.4.2. Fonctionnement de TOPSIS

En comparant un ensemble d’alternatives à une solution idéale, TOPSIS aide à identifier l’option qui répond le mieux aux critères souhaités avec ces sept étapes dont création de la matrice d’évaluation, normalisation de la matrice d’évaluation, pondération de la matrice

Chapitre III. : Présentation de l'outil d'aide à la priorisation

normalisée, détermination de la valeur idéale et la valeur idéale pire, calcul de la distance euclidienne, calcul de score de performance et la classification des alternatives. Nous présentons par la suite le processus de chacune de ces étapes.

III.4.2.1. La matrice d'évaluation

Pour la matrice d'évaluation, il devrait y avoir un problème avec (m) alternatives et (n) critères pour la former avec les éléments A_{ij} .

$$A = (A_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix}$$

D'où A_{ij} est la valeur de chaque critère pour chaque alternative

III.4.2.2. La matrice normalisée

On considère B_{ij} est la valeur normalisée de la matrice de décision normalisée qui est calculée comme suit :

$$B_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m A_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$$

La matrice normalisée notée est :

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & \cdots & B_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{m1} & \cdots & B_{mn} \end{bmatrix}$$

III.4.2.3. La matrice normalisée pondérée

On considère C_{ij} la valeur pondérée de la matrice de décision normalisée pondérée qui est calculée comme suit :

$$C_{ij} = W_j \times B_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$$

D'où W_j est le poids des critères de l'attribut (j), et la matrice normalisée pondérée est notée comme suit :

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{m1} & \cdots & C_{mn} \end{bmatrix}$$

III.4.2.4. La valeur idéale et la valeur idéale pire

a. Idéale

Pour chaque critère, nous calculons la valeur associée la plus idéale V_j^+ en fonction de la nature du critère.

- Si le critère est favorable, on choisit la plus grande valeur de chaque colonne ;
- Si le critère est défavorable, on sélectionne la plus petite valeur de chaque colonne.

$$V_j^+ = \begin{cases} \max_{i=1}^m (C_{ij}) & \text{si le critère est favorable} \\ \min_{i=1}^m (C_{ij}) & \text{si le critère est défavorable} \end{cases}$$

b. Idéale pire

Pour chaque critère, nous calculons la valeur associée la moins favorable V_j^- en fonction de la nature du critère

- Si le critère est favorable, on choisit la plus petite valeur de chaque colonne ;
- Si le critère est défavorable, on sélectionne la plus grande valeur de chaque colonne.

$$V_j^- = \begin{cases} \min_{i=1}^m (C_{ij}) & \text{si le critère est favorable} \\ \max_{i=1}^m (C_{ij}) & \text{si le critère est défavorable} \end{cases}$$

Un critère est favorable si l'augmentation constitue un gain, et elle est défavorable si l'augmentation constitue une perte.

III.4.2.5. La distance euclidienne

Dans cette étape, nous calculons pour chaque alternative son écart par rapport à la valeur idéale et la valeur idéale pire. L'ensemble des écarts sont exprimés par le vecteur (S_i^+ et S_i^-). Chaque écart est exprimé en tant que distance euclidienne entre la valeur de chaque critère associé et la valeur associée de (V_j^+ ou V_j^-).

a. La distance euclidienne par rapport à la valeur idéale

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}$$

b. La distance euclidienne par rapport à la valeur idéale pire

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

III.4.2.6. Note de performance

Pour cette étape dans laquelle nous calculons la note de performance à chaque alternative qui détermine son rang dans notre choix. Chaque coefficient est calculé à partir des composants associés aux vecteurs S_i^- et S_i^+ comme suit :

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

La note de performance de chaque alternative comme son nom l'indique mesure le taux (entre 0 et 1) de proximité de la solution idéale la plus défavorable V_j^- par rapport à la solution idéale la plus favorable V_j^+ . Il s'agit de choisir celle qui est la plus loin possible de la solution idéale défavorable V_j^- et la plus proche de la solution idéale favorable V_j^+ [YEZZA, 2015].

III.4.2.7. Classification des alternatives

Le classement des alternatives se fait en fonction des valeurs décroissantes de la note de performance (de plus grand au petit).

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un outil d'aide à la priorisation de la réhabilitation des conduites d'AEP. Cet outil est basé sur la combinaison de deux méthodes : une de pondération et une autre pour le classement.

La méthode de pondération choisie c'est l'AHP qui permet de calculer le poids des critères sélectionnés. Le choix de cette méthode est justifié par la structure hiérarchique du problème de décision qu'elle offre et sa capacité de vérifier les jugements émis par les décideurs.

La méthode de classement choisi c'est TOPSIS qui permet de classer les conduites selon l'urgence à la réhabilitation. Le choix de cette méthode est justifié par l'introduction des notions d'idéales et d'anti-idéales, ce qui la rend facile à appliquer.

Cette approche qui consiste à l'utilisation de ce duo offre une solution complète pour une prise de décision éclairée dans la gestion de la réhabilitation du réseau d'AEP. Cela nous permet de faire une étude sur un cas réel dans notre prochain chapitre.

Chapitre 4

Application de la méthodologie

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'implémentation du modèle de priorisation proposé pour la réhabilitation des conduites d'AEP de la ville de Tizi-Rached. Nous avons sélectionné un échantillon de 11 conduites d'AEP représentatives du réseau d'adduction pour illustrer la méthodologie proposée. L'implémentation comprend deux étapes clés : la pondération des critères à l'aide de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) et la classification des conduites à réhabiliter en utilisant la méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

Dans un premier temps, nous présenterons les résultats de l'application de la méthode AHP pour déterminer les poids des critères. Nous détaillerons après les étapes suivies pour obtenir ces poids. Ensuite, nous utiliserons la méthode TOPSIS pour classer les 11 conduites par ordre décroissant de priorité, en fonction de leur niveau d'urgence de réhabilitation. Les résultats obtenus par chacune des deux méthodes seront analysés et présentés en détail, permettant ainsi d'évaluer l'efficacité du modèle de priorisation proposé.

IV.2. Application de la méthode AHP et résultats

Dans le cadre de ce projet de recherche, la méthode AHP sera utilisée pour évaluer l'importance relative des critères et déterminer leur poids respectif. Nous allons présenter les étapes clés pour calculer les poids des critères, ce qui nous permettra de comprendre leur impact sur la décision finale.

IV.2.1. Construction de la matrice de comparaison

Afin d'attribuer une pondération à chaque critère, nous allons utiliser l'échelle de SAATY (précédemment détaillé) qui comporte 09 valeurs. Les comparaisons présentées dans le tableau IV.1 reflètent l'expertise des spécialistes de l'ADE et de la subdivision de Tizi-Rached. La matrice obtenue classe les critères par ordre d'importance, du plus important au moins important.

Tableau IV.1 : Matrice de comparaison par paire des critères.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
DIAM	1	2	1/3	3	2	1/3	1/6	1/6
TYP	1/2	1	1/2	4	5	1/3	1/6	1/6
AGE	3	2	1	3	4	1/2	1/3	1/3
LONG	1/3	1/4	1/3	1	2	1/3	1/6	1/5
TEC-R	1/2	1/5	1/4	1/2	1	1/2	1/4	1/5
REND	3	3	2	3	2	1	1/3	1/3
ET-S	6	6	3	6	4	3	1	4
ET-F	6	6	3	5	5	3	1/4	1

Chapitre IV : Application de la méthodologie

IV.2.2 Détermination des poids des critères

Pour calculer le poids de chaque critère, nous allons appliquer le concept du vecteur propre, précédemment détaillé. Cette approche implique une étape de normalisation de la matrice de comparaison, qui sera effectuée comme suit :

- 1) Additionner les valeurs de chaque colonne de la matrice de comparaison (voir tableau IV.2) ;

Tableau IV.2 : Matrice de la somme de chaque colonne.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
DIAM	1	2	0,33	3	2	0,33	0,16	0,16
TYP	0,5	1	0,5	4	5	0,33	0,16	0,16
AGE	3	2	1	3	4	0,5	0,33	0,33
LONG	0,33	0,25	0,33	1	2	0,33	0,16	0,2
TEC-R	0,5	0,2	0,25	0,5	1	0,5	0,25	0,2
REND	3	3	2	3	2	1	0,33	0,33
ET-S	6	6	3	6	4	3	1	4
ET-F	6	6	3	5	5	3	0,25	1
Matrice Somme	20,33	20,45	10,41	25,5	25	8,99	2,64	6,38

- 2) Diviser chaque cellule par le total de la colonne (voir tableau IV.3) ;

Tableau IV.3 : Matrice de la division par le total de chaque colonne.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
DIAM	0,049	0,098	0,032	0,118	0,080	0,037	0,061	0,025
TYP	0,025	0,049	0,048	0,157	0,200	0,037	0,061	0,025
AGE	0,148	0,098	0,096	0,118	0,160	0,056	0,125	0,052
LONG	0,016	0,012	0,032	0,039	0,080	0,037	0,061	0,031
TEC-R	0,025	0,010	0,024	0,020	0,040	0,056	0,095	0,031
REND	0,148	0,147	0,192	0,118	0,080	0,111	0,125	0,052
ET-S	0,295	0,293	0,288	0,235	0,160	0,334	0,379	0,627
ET-F	0,295	0,293	0,288	0,196	0,200	0,334	0,095	0,157

Chapitre IV : Application de la méthodologie

- 3) Calculer la valeur moyenne de chaque ligne, ce qui va nous donner le poids de chaque critère (voir tableau IV.4) .

Tableau IV.4 : Matrice du poids de chaque critère.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F	POIDS
DIAM	0,049	0,098	0,032	0,118	0,080	0,037	0,061	0,025	0,062
TYP-MAT	0,025	0,049	0,048	0,157	0,200	0,037	0,061	0,025	0,075
AGE	0,148	0,098	0,096	0,118	0,160	0,056	0,125	0,052	0,106
LONG	0,016	0,020	0,032	0,039	0,080	0,037	0,061	0,031	0,039
TEC-R	0,025	0,010	0,024	0,020	0,040	0,056	0,095	0,031	0,037
REND	0,148	0,147	0,192	0,118	0,080	0,111	0,125	0,052	0,121
ET-S	0,295	0,293	0,288	0,235	0,160	0,334	0,379	0,627	0,326
ET-F	0,295	0,293	0,288	0,196	0,200	0,334	0,095	0,157	0,232

IV.2.3 Calcul de la valeur propre λ_{max}

Le calcul de la valeur propre maximale λ_{max} est essentiel pour vérifier la cohérence des jugements. Pour obtenir cette valeur, nous suivrons les étapes ci-dessous :

1. Nous commençons par la matrice de comparaison des jugements et le vecteur de priorité correspondant aux poids, comme indiqué dans le tableau IV.5 ;

Tableau IV.5 : Matrice du vecteur priorité.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F	Vecteur priorité
DIAM	1	2	1/3	3	2	1/3	1/6	1/6	0,062
TYP-MAT	1/2	1	1/2	4	5	1/3	1/6	1/6	0,075
AGE	3	2	1	3	4	1/2	1/3	1/3	0,106
LONG	1/3	1/4	1/3	1	2	1/3	1/6	1/5	0,039
TEC-R	1/2	1/5	1/4	1/2	1	1/2	1/4	1/5	0,037
REND	3	3	2	3	2	1	1/3	1/3	0,121
ET-S	6	6	3	6	4	3	1	4	0,326
ET-F	6	6	3	5	5	3	1/4	1	0,232

Chapitre IV : Application de la méthodologie

2. Nous déplaçons ensuite les poids du vecteur de priorité à chaque colonne, comme montré dans le tableau IV.6 ;

Tableau IV.6 : Matrice du vecteur priorité comme facteurs.

Vecteur priorité	0,062	0,075	0,106	0,039	0,037	0,121	0,326	0,232
DIAM	1	2	0,33	3	2	0,33	0,16	0,16
TYP-MAT	0,5	1	0,5	4	5	0,33	0,16	0,16
AGE	3	2	1	3	4	0,5	0,33	0,33
LONG	0,33	0,25	0,33	1	2	0,33	0,16	0,2
TEC-R	0,5	0,2	0,25	0,5	1	0,5	0,25	0,2
REND	3	3	2	3	2	1	0,33	0,33
ET-S	6	6	3	6	4	3	1	4
ET-F	6	6	3	5	5	3	0,25	1

3. Nous multiplions ensuite chaque valeur de la première colonne de la matrice de comparaison par les poids du vecteur de priorité, comme présenté dans le tableau IV.7 ;

Tableau IV.7 : Calcul des colonnes pondérées

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
DIAM	0,062	0,150	0,035	0,117	0,074	0,040	0,052	0,037
TYP-MAT	0,031	0,075	0,053	0,156	0,185	0,040	0,052	0,037
AGE	0,186	0,150	0,106	0,117	0,148	0,061	0,108	0,077
LONG	0,020	0,019	0,035	0,039	0,074	0,040	0,052	0,046
TEC-R	0,031	0,015	0,027	0,020	0,037	0,061	0,082	0,046
REND	0,186	0,225	0,212	0,117	0,074	0,121	0,108	0,077
ET-S	0,372	0,450	0,318	0,234	0,148	0,363	0,326	0,928
ET-F	0,372	0,450	0,318	0,195	0,185	0,363	0,082	0,232

4. Nous calculons ensuite les sommes pondérées en additionnant les valeurs de chaque ligne, comme montré dans le tableau IV.8 ;

Tableau IV.8 : Matrice de la somme pondérée.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F	Somme pondérée
DIAM	0,062	0,15	0,035	0,117	0,074	0,04	0,052	0,037	0,567
TYP-MAT	0,031	0,075	0,053	0,156	0,185	0,04	0,052	0,037	0,629
AGE	0,186	0,15	0,106	0,117	0,148	0,061	0,108	0,077	0,953
LONG	0,02	0,019	0,035	0,039	0,074	0,04	0,052	0,046	0,325
REC-R	0,031	0,015	0,027	0,02	0,037	0,061	0,082	0,046	0,319

Chapitre IV : Application de la méthodologie

REND	0,186	0,225	0,212	0,117	0,074	0,121	0,0108	0,077	1,0228
ET-S	0,372	0,45	0,318	0,234	0,148	0,363	0,326	0,928	3,139
ET-F	0,372	0,45	0,318	0,195	0,185	0,363	0,082	0,232	2,197

5. Nous divisons ensuite les sommes pondérées par les poids du vecteur de priorité, comme montré dans le tableau IV.9.

Tableau IV.9 : Calcul de la valeur propre λ_{max}

Somme pondérée		Vecteur de priorité		Résultat
0,567		0,062		9,145
0,629		0,075		8,387
0,953		0,106		8,991
0,325	/	0,039	=	8,333
0,319		0,037		8,622
1,0228		0,121		8,453
3,139		0,326		9,629
2,197		0,232		9,470

La moyenne de ces résultats donne la valeur propre maximale, notée « λ_{max} ».

$$\lambda_{max} = (9,145+8,387+8,991+8,333+8,622+8,453+9,629+9,470)/8$$

$$\lambda_{max} = 8,879$$

IV.2.4. Étude de la cohérence des jugements

Pour vérifier la cohérence des jugements, nous calculons d'abord l'indice de cohérence (CI) à l'aide de la formule suivante :

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Où :

λ_{max} : valeur propre maximale calculée précédemment ;

n : nombre d'éléments à comparer. Dans notre cas n = 8.

La valeur de l'indice de cohérence :

$$Ci = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} = \frac{8,879-8}{8-1}$$

$$Ci = 0.126$$

Ensuite, nous procédons au calcul du ratio de cohérence (RC), qui est défini comme suit :

$$RC = \frac{Ci}{Ri}$$

Chapitre IV : Application de la méthodologie

Comme le montre le tableau présenté dans le chapitre précédent, pour un nombre de critères égal à 8, la valeur de l'indice de cohérence (RI) est de 1,41.

D'où:
$$RC = \frac{Ci}{Ri} = \frac{0,126}{1,41}$$

RC = 0,09

RC = 0,09 < 0,1

L'analyse révèle que le coefficient de cohérence RC est inférieur à 0,1, ce qui indique que notre matrice de jugement présente une cohérence satisfaisante. La figure suivante montre le poids trouvé pour chaque critère.

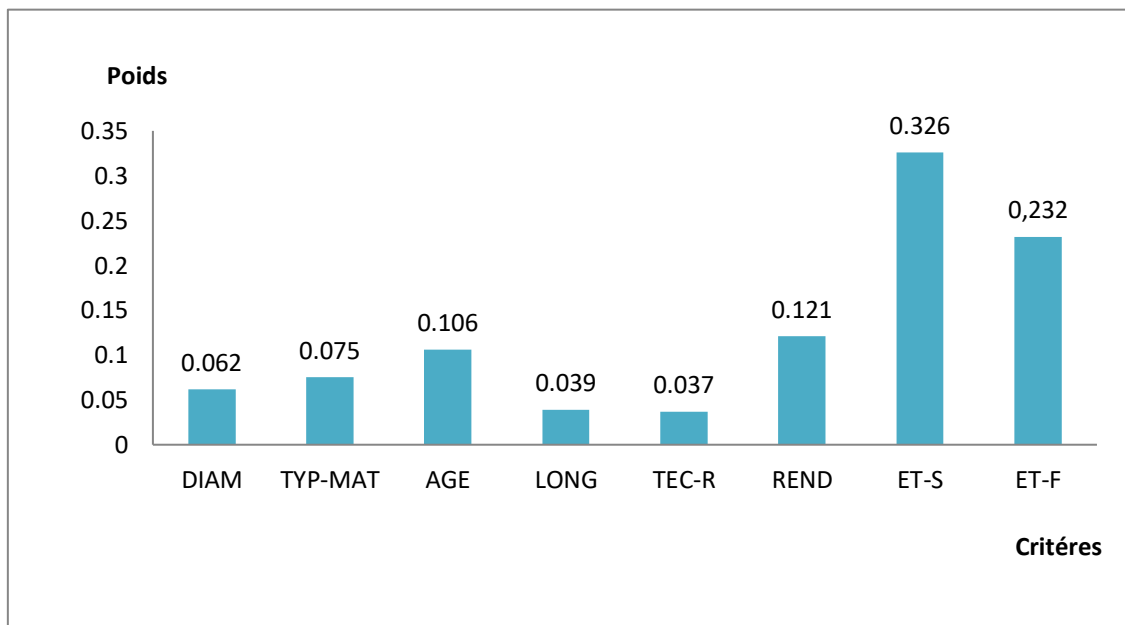


Figure IV.1. : Variation du poids des différents critères.

Ce graphe nous permet d'identifier les priorités clés pour la réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP). Les critères liés à l'état structurel et fonctionnel des conduites sont les plus critiques et nécessitent une attention immédiate. Le rendement et l'âge des conduites sont également des facteurs importants. Le type de matériau et la longueur des conduites jouent un rôle modéré. Bien que la technique de réhabilitation soit nécessaire, elle constitue actuellement le critère le moins influent.

Cette analyse permet de cibler les efforts et les ressources vers les aspects les plus importants pour améliorer l'efficacité de la réhabilitation des conduites d'AEP.

IV.3. Application de la méthode TOPSIS et résultats

La deuxième étape du modèle proposé consiste à utiliser la méthode TOPSIS pour classer les 11 conduites du réseau d'adduction de la ville de Tizi-Rached par ordre de priorité de réhabilitation. En intégrant les poids des critères obtenus précédemment, cette méthode permettra de déterminer les conduites les plus urgentes à réhabiliter et celles qui peuvent être traitées de manière moins prioritaire. Les résultats de cette analyse fourniront une base solide pour la planification et la mise en œuvre des travaux de réhabilitation.

1. Attribution des scores

Dans cette étape, nous allons affecter des scores pour chaque critère comme déjà expliqué dans le troisième chapitre (voir le tableau IV.10)

Tableau IV.10. : Scores des critères.

Conduite	DIAM (mm)	TYP- MAT	AGE (ans)	LONG (m)	TEC-R	REND (%)	ET-S	ET-F
C1	250	3	29	1500	1	95	2	2
C2	250	2	53	1800	1	90	1	1
C3	160	1	37	2800	1	70	2	2
C4	80	3	29	2000	1	98	2	2
C5	110	1	8	980	1	100	1	1
C6	63	1	5	1100	1	95	1	1
C7	75	1	13	3000	1	80	1	1
C8	50	1	49	500	1	95	1	1
C9	90	1	35	3800	1	70	2	2
C10	90	1	13	300	1	90	1	1
C11	80	3	49	1500	1	100	1	1

2. Calcul de la matrice normalisée

À cette étape, nous calculons la matrice normalisée à l'aide de la formule suivante :

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n X^2_{ij}}}$$

Où :

\bar{X}_{ij} : la valeur normalisée de X_{ij}

X_{ij} : la valeur brute de chaque attribut j de chaque candidat i .

Exemple :

$$\bar{X}_{ij} = \frac{250}{\sqrt{250^2 + 250^2 + 160^2 + 80^2 + 110^2 + 63^2 + 75^2 + 50^2 + 90^2 + 90^2 + 80^2}}$$

$$\bar{X}_{ij} = 0,554$$

Chapitre IV : Application de la méthodologie

Voici les résultats que nous avons obtenus, tels que présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.11. : Matrice normalisée

	DIAM	TYP	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
C1	0,554	0,487	0,261	0,222	0,302	0,318	0,417	0,417
C2	0,554	0,324	0,478	0,267	0,302	0,302	0,209	0,209
C3	0,354	0,162	0,333	0,415	0,302	0,235	0,417	0,417
C4	0,177	0,487	0,261	0,296	0,302	0,328	0,417	0,417
C5	0,244	0,162	0,072	0,145	0,302	0,335	0,209	0,209
C6	0,140	0,162	0,045	0,163	0,302	0,318	0,209	0,209
C7	0,166	0,162	0,117	0,445	0,302	0,268	0,209	0,209
C8	0,111	0,162	0,442	0,074	0,302	0,318	0,209	0,209
C9	0,199	0,162	0,315	0,563	0,302	0,235	0,417	0,417
C10	0,199	0,162	0,117	0,044	0,302	0,302	0,209	0,209
C11	0,177	0,487	0,442	0,222	0,302	0,335	0,209	0,209

3. Calcul de la matrice normalisée pondérée

Nous appliquons les pondérations à chaque valeur de la matrice normalisée en effectuant une multiplication par les coefficients de pondération correspondants. Sa formule est :

$$V_{ij} = \bar{X}_{ij} \times W_j$$

Avec :

V_{ij} : la valeur normalisée pondéré de X_{ij} ;

\bar{X}_{ij} : la valeur normalisée de X_{ij} ;

W_j : coefficients de pondération.

Exemple :

$$V_{ij} = 0,554 \times 0,062$$

$$V_{ij} = 0,034$$

Les résultats sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau IV.12. : Matrice normalisée pondéré.

Matrice normalisée pondérée	0,062	0,075	0,106	0,039	0,037	0,121	0,326	0,232
	DIAM	TYP	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
C1	0,034	0,036	0,028	0,0087	0,011	0,0385	0,136	0,097
C2	0,034	0,024	0,051	0,0104	0,011	0,0365	0,068	0,048
C3	0,022	0,012	0,035	0,0162	0,011	0,0284	0,136	0,097
C4	0,011	0,036	0,028	0,0116	0,011	0,0397	0,136	0,097
C5	0,015	0,012	0,008	0,0057	0,011	0,0405	0,068	0,048
C6	0,009	0,012	0,005	0,0064	0,011	0,0385	0,068	0,048
C7	0,010	0,012	0,012	0,0173	0,011	0,0324	0,068	0,048
C8	0,007	0,012	0,047	0,0029	0,011	0,0385	0,068	0,048
C9	0,012	0,012	0,033	0,0220	0,011	0,0284	0,136	0,097
C10	0,012	0,012	0,012	0,0017	0,011	0,0365	0,068	0,048
C11	0,011	0,036	0,047	0,0087	0,011	0,0405	0,068	0,048

4. Calcul de la valeur idéale et la valeur idéale pire

a) Calcul de la valeur idéale

Cette étape consiste à déterminer la valeur la plus favorable ou valeur idéale (V_{j+}) pour chaque critère en fonction de sa nature :

- Si le critère est favorable, nous sélectionnons la plus grande valeur de chaque colonne ;
- Si le critère est défavorable, nous sélectionnons la plus petite valeur de chaque colonne.

b) Calcul de la valeur idéale pire

Cette étape consiste à déterminer la valeur la moins favorable ou la valeur idéale pire (V_{j-}) pour chaque critère en fonction de sa nature :

- Si le critère est favorable, nous sélectionnons la plus petite valeur de chaque colonne ;
- Si le critère est défavorable, nous sélectionnons la plus grande valeur de chaque colonne.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

Tableau IV.13. : La valeur idéale et la valeur idéale pire de chaque critère

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F
C1	0,034	0,036	0,028	0,009	0,011	0,039	0,136	0,097
C2	0,034	0,024	0,051	0,010	0,011	0,036	0,068	0,048
C3	0,022	0,012	0,035	0,016	0,011	0,028	0,136	0,097
C4	0,011	0,036	0,028	0,012	0,011	0,040	0,136	0,097
C5	0,015	0,012	0,008	0,006	0,011	0,041	0,068	0,048
C6	0,009	0,012	0,005	0,006	0,011	0,039	0,068	0,048
C7	0,010	0,012	0,012	0,017	0,011	0,032	0,068	0,048
C8	0,007	0,012	0,047	0,003	0,011	0,039	0,068	0,048
C9	0,012	0,012	0,033	0,022	0,011	0,028	0,136	0,097
C10	0,012	0,012	0,012	0,002	0,011	0,036	0,068	0,048
C11	0,011	0,036	0,047	0,009	0,011	0,041	0,068	0,048
Vj+	0,034	0,036	0,051	0,022	0,011	0,0284	0,136	0,097
Vj-	0,007	0,012	0,005	0,0017	0,011	0,0405	0,068	0,049

5. Calcul de la distance euclidienne à partir de la meilleure valeur idéale

Dans cette étape, nous allons calculer l'écart de chaque alternative par rapport à la valeur la plus favorable (la meilleure valeur idéale) à l'aide de la formule suivante :

$$S i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2}$$

Où :

S i⁺ : La distance euclidienne du la meilleure valeur idéale ;

V ij : la valeur normalisée pondéré de X ij ;

Vj⁺ : La valeur idéale.

Exemple :

S i⁺ =

$$\sqrt{((0,034 - 0,034)^2 + (0,036 - 0,036)^2 + (0,028 - 0,051)^2 + (0,009 - 0,022)^2 + (0,011 - 0,011)^2 + (0,039 - 0,0284)^2 + (0,136 - 0,136)^2 + (0,097 - 0,097)^2)}$$

$$S i^+ = 0,029$$

Les résultats que nous avons générés sont affichés dans le tableau IV.14

6. Calcul de la distance euclidienne à partir du la pire valeur idéale

Dans cette étape nous allons calculer l'écart de chaque alternative par rapport à la valeur la plus défavorable (la pire valeur idéale) à l'aide de la formule suivante :

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

Où :

S_i^- : La distance euclidienne du la pire valeur idéale ;

V_{ij} : la valeur normalisée pondéré de X_{ij} ;

V_j^- : La pire valeur idéale.

Exemple :

$S_i^- =$

$$\sqrt{((0,034 - 0,034)^2 + (0,036 - 0,036)^2 + (0,028 - 0,051)^2 + (0,009 - 0,022)^2 + (0,011 - 0,011)^2 + (0,039 - 0,0284)^2 + (0,136 - 0,136)^2 + (0,097 - 0,097)^2)}$$

$$S_i^- = 0,094$$

Les résultats que nous avons générés sont affichés dans le tableau IV.14

Tableau IV.14. : La distance euclidienne de la meilleure valeur idéale et la distance euclidienne de la pire valeur idéale.

	DIAM	TYP	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F	Si+	Si-
C1	0,034	0,036	0,028	0,009	0,011	0,039	0,136	0,097	0,029	0,094
C2	0,034	0,024	0,051	0,010	0,011	0,036	0,068	0,048	0,086	0,055
C3	0,022	0,012	0,035	0,016	0,011	0,028	0,136	0,097	0,177	0,092
C4	0,011	0,036	0,028	0,012	0,011	0,040	0,136	0,097	0,180	0,091
C5	0,015	0,012	0,008	0,006	0,011	0,041	0,068	0,048	0,101	0,017
C6	0,009	0,012	0,005	0,006	0,011	0,039	0,068	0,048	0,131	0,012
C7	0,010	0,012	0,012	0,017	0,011	0,032	0,068	0,048	0,099	0,019
C8	0,007	0,012	0,047	0,003	0,011	0,039	0,068	0,048	0,094	0,042
C9	0,012	0,012	0,033	0,022	0,011	0,028	0,136	0,097	0,177	0,091
C10	0,012	0,012	0,012	0,002	0,011	0,036	0,068	0,048	0,100	0,010
C11	0,011	0,036	0,047	0,009	0,011	0,041	0,068	0,048	0,089	0,049
Vj+	0,034	0,036	0,051	0,022	0,011	0,0284	0,136	0,097		
Vj-	0,007	0,012	0,005	0,0017	0,011	0,0405	0,068	0,049		

7. Calcul de la note de performance

La note de performance permet de classer les alternatives en fonction de leur proximité relative à la solution idéale favorable et défavorable, afin de sélectionner la meilleure option. Pour cela, nous le calculons en utilisant la formule suivante :

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

Avec :

P_i : Note de performance ;

S_i⁻ : La distance euclidienne du la pire valeur idéale ;

S_i⁺ : La distance euclidienne du la meilleure valeur idéale.

Exemple :

$$P_i = \frac{0,094}{0,029 + 0,094}$$

$$P_i = 0,766$$

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

Tableau IV.15. : Note de performance.

	DIAM	TYP-MAT	AGE	LONG	TEC-R	REND	ET-S	ET-F	Si+	Si-	Pi
C1	0,034	0,036	0,028	0,009	0,011	0,039	0,136	0,097	0,029	0,094	0,766
C2	0,034	0,024	0,051	0,010	0,011	0,036	0,068	0,048	0,086	0,055	0,393
C3	0,022	0,012	0,035	0,016	0,011	0,028	0,136	0,097	0,177	0,092	0,342
C4	0,011	0,036	0,028	0,012	0,011	0,040	0,136	0,097	0,180	0,091	0,335
C5	0,015	0,012	0,008	0,006	0,011	0,041	0,068	0,048	0,101	0,017	0,147
C6	0,009	0,012	0,005	0,006	0,011	0,039	0,068	0,048	0,131	0,012	0,086
C7	0,010	0,012	0,012	0,017	0,011	0,032	0,068	0,048	0,099	0,019	0,164
C8	0,007	0,012	0,047	0,003	0,011	0,039	0,068	0,048	0,094	0,042	0,309
C9	0,012	0,012	0,033	0,022	0,011	0,028	0,136	0,097	0,177	0,091	0,340
C10	0,012	0,012	0,012	0,002	0,011	0,036	0,068	0,048	0,100	0,010	0,091
C11	0,011	0,036	0,047	0,009	0,011	0,041	0,068	0,048	0,089	0,049	0,356
Vj+	0,034	0,036	0,051	0,022	0,011	0,0284	0,136	0,097			
Vj-	0,007	0,012	0,005	0,0017	0,011	0,0405	0,068	0,049			

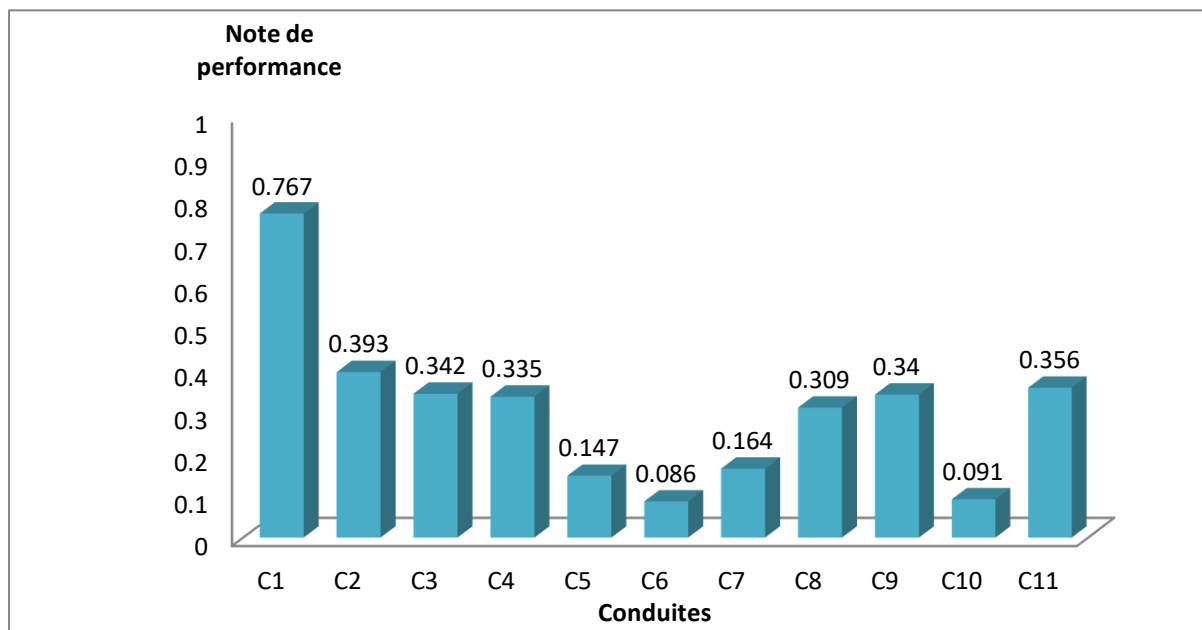


Figure IV.2. : Note de performance de chaque conduite.

8. Classification des conduites

En fonction des notes de performance obtenues et le graphique présenté dans la figure IV.2, nous allons classer les conduites en ordre de priorité, de celles qui nécessitent le plus de réhabilitation à celles qui en nécessitent le moins (voir le tableau IV.16)

Tableau IV.16. : Classement des conduites.

Rang	Conduite	P i	Priorité de réhabilitation
1	C1	0,766	Élevée
2	C2	0,393	Élevée
3	C11	0,356	Élevée
4	C3	0,342	Moyenne
5	C9	0,340	Moyenne
6	C4	0,335	Moyenne
7	C8	0,309	Moyenne
8	C7	0,164	Faible
9	C5	0,147	Faible
10	C10	0,091	Faible
11	C6	0,086	Faible

Dans le cadre de l'évaluation de l'état des conduites du réseau AEP, un classement a été établi en se basant sur les notes de performance attribuées à chaque conduite. Cette note représente un indicateur synthétique de leur état de fonctionnement. Plus la note est élevée, plus la conduite est considérée comme dégradée, nécessitant une réhabilitation prioritaire. Ainsi, la

conduite C1, qui présente la valeur la plus élevée (0,767), est identifiée comme la plus critique et doit faire l'objet d'une intervention en priorité. Elle est suivie par les conduites C2 et C11, également classées parmi les plus défaillantes. À l'opposé, les conduites C6 et C10, affichant les notes les plus faibles, sont jugées en bon état et ne nécessitent aucune action immédiate.

Les conduites à réhabiliter sont priorisées selon un classement basé sur les notes de performance, permettant d'identifier les sections les plus urgentes à réhabiliter en premier. Ce classement ordonne les conduites d'AEP du plus prioritaire au moins prioritaire. Le classement est le suivant : C1, C2, C11, C3, C9, C4, C8, C7, C5, C10 et C6.

IV.4. Analyse critique des deux méthodes

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé deux méthodes de prise de décision multicritères, AHP qui est une méthode d'analyse qui permet de hiérarchiser les critères en effectuant des poids relatifs par comparaison par paires, et TOPSIS qui est une méthode qui classe les alternatives en fonction de leur distance à une solution idéale positive et négative.

IV.4.1. Analyse critique d'AHP

Avantages

- Permet une structuration claire du problème décisionnel en hiérarchisant les critères ;
- Facilite la prise en compte de critères qualitatifs et quantitatifs ;
- La comparaison par paires aide à réduire la complexité dans la pondération des critères. [LAMRANI, 2024] ;

Limites et contraintes

D'après SAATY, 1980, les contraintes de AHP peuvent se résumer en trois points essentiels :

- Les résultats peuvent être influencés par la subjectivité des évaluations des critères et des alternatives ;
- L'analyse peut devenir plus difficile à mesure que le nombre de critères et d'alternatives augmente ;
- Des incohérences dans les jugements peuvent survenir, nécessitant des révisions et des ajustements pour garantir la fiabilité des résultats ;

IV.4.2. Analyse critique de TOPSIS

Avantages

- Offre un classement final basé sur la proximité à une solution idéale, ce qui est intuitif et pragmatique ;
- Réduit la subjectivité dans la prise de décision en intégrant les distances aux solutions idéales ;

- Permet une évaluation rapide et efficace des alternatives une fois les poids des critères définis [HWAN & YOON, 1981] ;

Limites et contraintes

D'après HWAN & YOON, 1981, certaines limites de TOPSIS peuvent être observées :

- La sensibilité au choix des poids pour les critères peut influencer les résultats ;
- La nécessité de normaliser les données pour une comparaison équitable peut ajouter une étape supplémentaire à l'analyse ;
- La présence d'alternatives dominées ou dominantes peut fausser les résultats et nécessiter une analyse plus approfondie pour garantir la fiabilité des conclusions ;

IV.5. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté une application concrète de notre modèle sur les 11 conduites du réseau d'adduction de la ville de Tizi-Rached. Cette application a permis de démontrer l'efficacité de la combinaison des deux méthodes AHP et TOPSIS pour prioriser les conduites à réhabiliter. La méthode AHP a permis de déterminer les poids précis des critères, tandis que la méthode TOPSIS a permis de classer les conduites par ordre de priorité.

Les résultats obtenus montrent que cette approche peut constituer un outil précieux pour les gestionnaires de l'ADE et de la subdivision, leur permettant de prendre des décisions éclairées et adaptées à leur stratégie de planification.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion général

En conclusion, ce mémoire a présenté une approche méthodologique pour prioriser les travaux de réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable dans la commune de Tizi-Rached. Grâce à la combinaison des méthodes AHP et TOPSIS, nous avons pu évaluer les critères pertinents et classer les conduites du réseau selon leur urgence de réhabilitation.

Cette étude a montré que la prise en compte des spécificités locales et des ressources limitées est cruciale pour optimiser la planification des interventions. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour les ingénieurs et les gestionnaires de l'ADE et de la subdivision hydraulique pour améliorer la performance et la durabilité des infrastructures.

Enfin, ce travail de recherche contribue à l'avancement des connaissances sur la gestion des réseaux d'eau potable en Algérie et ouvre des perspectives pour des recherches futures sur l'amélioration de la planification et de la gestion des ressources en eau.

Concernant les perspectives de la recherche, elles sont multiples :

- Rechercher à appliquer l'outil méthodologique sur plusieurs cas d'études afin d'obtenir suffisamment de statistiques et de retour d'expérience ;
- Tester d'autres outils d'aide à la décision ;
- Identifier une liste élargie des critères selon la disponibilité des données pour obtenir des résultats plus précis.

Bibliographie

Références bibliographiques

- **ACHRAF. A, HENRI. P, SABEUR. E, (2015).** une approche d'affectation dynamique des opérateurs dans un contexte de demande stochastique et changeante, basée sur topsis et l'optimisation via simulation. 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nancy, France.
- **AKHROUF.M & DEGHIROUM.M, (2022).** Utilisation d'un modèle d'aide à la décision multicritère basé sur la méthode AHP pour la sélection de projets d'infrastructures sanitaires, Revue Algérienne de Finances Publiques, Vol 12 / N° 02, P199_ 219
- **AYADI. D, (2010).** Optimisation multicritère de la fiabilité : application du modèle de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz. Thèse de doctorat. Université d'Angers. France,
- **BECHARA & DAMASIO, 2019.** L'ozonation dans le traitement de l'eau potable, Londres.
- **BELHARRANE. M & DJEMAI. N, (2017).** transfert des eaux à partir du barrage Douera vers la zone ouest d'Alger. Mémoire du master, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, Algérie.
- **BEN HASSINE. M.A, (2018).** Evaluation des risques liés aux défaillances des conduites d'eau potable. Thèse de doctorat. Université de Sfax.
- **BEN SALEM. A, (2019).** Analyse des défaillances des conduites d'eau potable : cas de la ville de Tunis. Mémoire master. Université de Tunis.
- **BENHAMZA. O, (2019),** Méthodes de détection de fuites dans un système hydraulique par analyse de l'onde de pression.
- **BENKIRANE. A, (2019).** Développement d'un modèle de prédiction des défaillances des conduites d'eau potable. Thèse de doctorat. Université Mohammed de Rebat.
- **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. L'école Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet, France.
- **BOUARABA. H & BENAMEUR. M, (2021).** Réaménagement du système d'alimentation en eau potable de la commune de Tizi-Rached wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire fin d'études. Master en génie civil. UMMTO. Algérie.
- **BOUKENKEN. M & RIANE. A, (2018).** Élaboration d'un outil d'aide à la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable pour la ville de Jijel. Cas de la zone de - Laakabi-. Mémoire de Master. Université Mohamed Seddik Benyahia Jijel, Algérie.
- **BOUKHERRROUB. A,(2018).** Analyse des causes des défaillances des conduites d'eau potable : cas de la ville d'Alger. Mémoire master. USTHB .
- **BOUSSALAA. S & BENBEKHTI. F, (2018).** Étude diagnostic d'un réseau d'AEP à l'aide du logiciel Epanet - Cas du chef-lieu de la ville de Hennaya. Mémoire du master, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, Algérie
- **CELERIER. J.L & FABY. J.A, (2000).** La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux.
- **DETERIORATION ET INSPECTION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU CANADA, (2002).** Rapport sur les réseaux de distribution d'eau. Canada.
- **DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, (2013).** Réhabilitation/remplacement des réseaux

Références bibliographique

d'eau potable, Guide technique, direction nationale de l'eau potable et de l'assainissement,

- **DIRECTION NATIONALE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT D'HAITI, (2013-2014).** Référentiel Technique National Eau Potable et Assainissement.
- **DUPONT. A, (1979).** Hydraulique urbaine Tome II - ouvrages de transport - élévation et distribution des eaux, Editions Eyrolles, France.
- **EL ALAMI. F.Z,(2020).** Etude de la fiabilité des conduites d'eau potable : cas de la ville de Marrakech. Mémoire master. université Cadi Ayyad. Maroc.
- **GOOGLE MAPS, (2025).** Localisation géographique de la région de Tizi-Rached.
- **GUEDDOUJ &OUARET, (2002).** optimisation multicritère pour la gestion d'un réseau d'AEP. Université Bejaia –ingénieur, Algérie.
- **Haidar. H, (2003).** Réhabilitation des réseaux d'eau potable, amélioration du modèle CARE-W-Markov (modèle de vieillissement d'une population de conduites). Mémoire DEA génie civile option hydraulique urbaine. Ecole doctorate Mega-Insa-Lyon-ENTPE-ESIGEC.
- **Haidar. H, (2006).** Réhabilitation des réseaux d'eau potable : méthodologie d'analyse multicritère des patrimoines et des programmes de réhabilitation. Thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- **HUGO. K, (2016).** Etat de l'art des techniques de travaux sans tranchée. Veille technologique Mastère Spécialisé Ingénierie et Gestion du Gaz, Mine ParisTech
- **HWAN &YOON, (1981),** Multiple attribute decision making: methods and applications-springer-verlag.
- **IKHLEF. S & HALICHE. N, (2018).** Problématique de réhabilitation des conduites des réseaux d'alimentation en eau potable. Mémoire Master. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, Algérie.
- **L'office national de la météologie d'Algerie (ONM).**
- **LAMRANI. L (2024).** Élaboration d'un outil d'aide à la réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable. Mémoire fin d'études. Master ouvrages hydraulique. UMMTO. Algérie.
- **NAFI. A, (2006).** La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, France.
- **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, (2019).** Rapport de lignes directrices pour la qualité de l'eau potable, Genève.
- **OUELLABI. F & CHETTOUH. Y, (2015).** Dimensionnement du réseau d'alimentations en eau potable de secteur route Touggourt – EL OUED. Mémoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar - El-oued, Algérie, 117 p.
- **PLECK, (2010).** Coagulation et floculation dans le traitement de l'eau, Londres.
- **RIVEST. R, (2019).** Techniques de simulation pour la recherche sur le perfectionnement de la méthode AHP, Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise ès sciences en gestion, HEC MONTRÉAL, Canada.
- **SAATY, (1980).** The analytic hierarchy process, MC graw-Hill (livre fondateur décrit la méthode AHP et discute de ses limites et défis).
- **SAATY. T, (1984).** Décider face à la complexité. Paris

Références bibliographique

- **SAATY. T, (1986).** Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy process. Management science, pp. 845-855.
- **STATION METEOROLOGIE DE BOUKHALFA, TIZI-OUZOU.**
- **TARFAYA. C, (2012).** Approche méthodologique pour le diagnostic des réseaux d'eau. Mémoire de magistère en hydraulique, Institut de Génie Civil d'Hydraulique et Architecture de Batna, Algérie
- **TREMBLAY, 2008.** La filtration sur charbon actif dans le traitement de l'eau potable, Paris.
- **VALIRON. F, (1986).** Mémento de l'exploitation de l'eau AEP et assainissement / Souvenir d'exploitation de l'eau et de l'assainissement.
- **VALIRON. F, (1994).** Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement: Administration, cas spécifiques, monographies. Technique et Documentation Lavoisier.
- **WEATHERSPARK, (2025).** site web qui fournit des informations détaillées sur le climat et la météo.
- **YAHIAOUI. F, (2000).** Réhabilitation des réseaux d'assainissement visitables et non visitables, mémoire d'ingénieur. Conservatoire Nationale des Arts et Métiers École Supérieure des Géomètres et Topographes,
- **YEZZA . A, (2015).** La méthode TOPSIS expliqué pas à pas, Polycopie de Cours.