

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



FACULTE 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

*Élaboration d'un outil d'aide à la réhabilitation des réseaux
d'alimentation en eau potable*

Réalisé par :

Mlle lamrani lyna

Encadré Par :

Mme IGROUFA Meriem

Mr BOUHALI Sofiane

Soutenu le 01/07/2024

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, mes vifs remerciements et ma profonde gratitude s'adresse à notre dieux le grand créateur qui m'a donné de la patience, du courage et de la volonté afin d'atteindre ce travail.

Un remerciement tout particulier à mes chers parents pour leurs sacrifices, leurs contributions et leur soutien constant.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à Madame IGROUFA Meriem pour son précieux soutien et son encouragement tout au long de mon parcours. Sa disponibilité, sa patience et sa confiance en moi ont été inestimables.

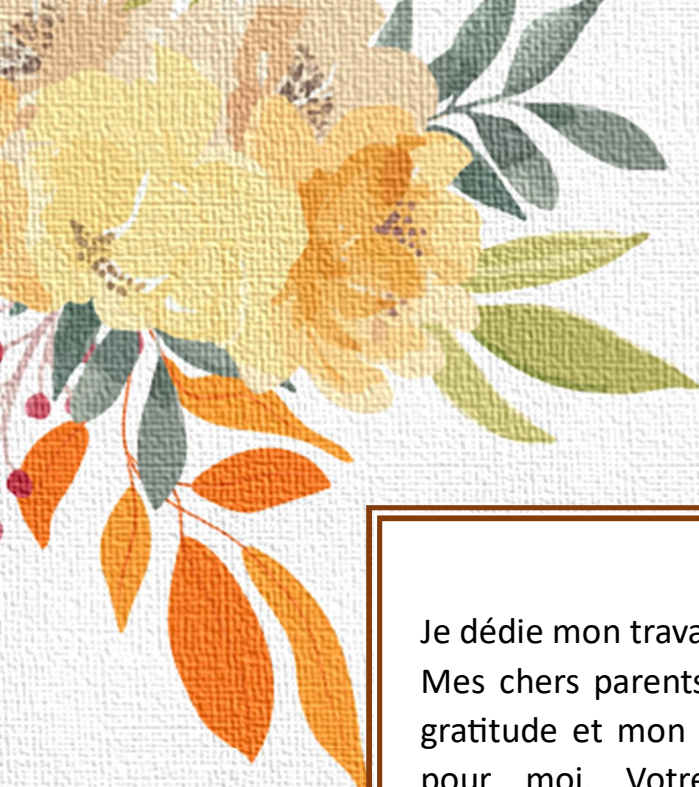
Je remercie également Monsieur Bouhali Sofiane, pour son soutien et ses conseils précieux pendant la préparation de mon mémoire.

Je tiens également à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail.

je remercie également tout le personnel de l'unité de L'ADE de Boughni, en particulier, : M. AOUIMER, L'APC de Mechtras, l'unité de L'ADE de Boukhalfa.

Je ne peux oublier de remercier tous les enseignants du département d'hydraulique, notamment Prof. KHATTAOUI, qui ont transmis leur savoir sans réserve tout au long de mes études."





DEDICACE

Je dédie mon travail à :

Mes chers parents, je veux vous exprimer mon immense gratitude et mon amour pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre sacrifice, votre soutien et votre encouragement ont été inestimables tout au long de ma vie et de mes études. Je suis reconnaissante de l'amour et de la confiance que vous m'avez toujours accordée. Je vous dédie ce travail, non seulement comme un accomplissement personnel, mais également comme un hommage à votre dévouement et à votre amour inconditionnel. Je vous aime et je vous remercie infiniment. Je le dédie également à ma chère sœur, BACHIRA, et à mon frère, MOHAMED NADJIB, pour leur soutien et leur encouragement constants.

Et, à tous ceux qui m'ont aidé et encouragé tout au long de mes études.

MERCI !



Résumé :

En Algérie, les défaillances des réseaux d'Alimentation en Eau Potable (AEP) constituent un problème complexe et coûteux. Par conséquent, les gestionnaires de ces réseaux doivent élaborer un plan de maintenance et de réhabilitation pour maintenir le réseau en bon état. C'est dans cette optique que notre travail s'inscrit, avec pour thème l'élaboration d'un outil d'aide à la réhabilitation des conduites d'AEP de la région de Mechtras dans la ville de Tizi Ouzou. Notre étude repose sur un schéma de priorisation des conduites d'alimentation en eau potable pour leur réhabilitation, élaboré selon la méthode AHP-PROMETHEE II. Cette méthodologie intègre plusieurs critères représentant les différentes caractéristiques des conduites d'AEP. Ces critères s'adaptent aux stratégies de gestion de l'Algérienne des Eaux (ADE) et aux données pratiques disponibles. Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) est utilisé pour déterminer les poids des critères, tandis que la méthode PROMETHEE II permet d'obtenir le classement final des conduites.

Mots Clés : AHP, alimentation en eau potable, priorisation des conduites, PROMETHEE II, réhabilitation

Abstract:

In Algeria, Failures in the networks of Drinking Water Supply (DWS) present a complex and costly problem. Consequently, network managers need to draw up a rehabilitation plan to keep the network in good condition. For this, our work focuses on the development of a management tool for drinking water supply networks in the Mechtras region at Tizi Ouzou City. Our study is based on a scheme for prioritizing drinking water supply pipes for rehabilitation, developed using the AHP-PROMETHEE II method. This methodology integrates several criteria representing the different characteristics of DWS pipes. These criteria are adapted to the managers strategies and the practical data available. The hierarchical analysis process (AHP) is used to determine the weights of the criteria, while the PROMETHEE II method is used to obtain the final ranking of the pipelines.

Keys words: AHP, drinking water supply, pipes prioritization, PROMETHEE II, rehabilitation

ملخص:

في الجزائر، تشكل فشل شبكات التزويد بالمياه الصالحة للشرب (AEP) مشكلة معقدة ومكلفة. لذلك، يجب على مديري هذه الشبكات وضع خطة للصيانة وإعادة التأهيل للحفاظ على الشبكة في حالة جيدة. في هذا السياق يأتي عملنا، الذي يهدف إلى تطوير أداة مساعدة لإعادة تأهيل أنابيب شبكات التزويد بالمياه الصالحة للشرب في منطقة مشطراس بمدينة تيزي وزو. تعتمد دراستنا على مخطط لتحديد أولويات أنابيب شبكات التزويد بالمياه الصالحة للشرب من أجل إعادة تأهيلها، والذي تم إعداده وفقاً لطريقة AHP-PROMETHEE II. تدمج هذه المنهجية العديد من المعايير التي تمثل الخصائص المختلفة لأنابيب شبكات التزويد بالمياه الصالحة للشرب. تتوافق هذه المعايير مع استراتيجيات إدارة ADE ومع البيانات العملية المتاحة. تُستخدم عملية التحليل الهرمي (AHP) لتحديد أوزان المعايير، بينما تسمح طريقة PROMETHEE II بالحصول على الترتيب النهائي للأنابيب.

الكلمات الدالة: شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب، التحليل الهرمي AHP، إعادة التأهيل، أولويات أنابيب،

PROMETHEE II

Sommaire

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste d'abréviation

Liste des symboles

Introduction

Chapitre I : Problématique du mémoire et éléments de réponse

I.1	Introduction	1
I.2	Gestion des réseaux d'AEP	1
I.2.1	Gestion informatisée des réseaux d'AEP	2
I.2.2	Gestion et archivage des données relatives aux défaillances.....	2
I.2.3	Action des entreprises du service d'eau potable	4
I.2.4	Action des usagers.....	4
I.2.5	Les objectifs de la gestion des réseaux d'AEP	4
I.3	Défauts et dysfonctionnements des réseaux d'AEP	5
I.3.1	Défaut et dysfonctionnement structurels	5
I.3.2	Défaillances du régime hydraulique.....	6
I.3.3	Dégradation de la qualité de l'eau	6
I.4	Diagnostic et gestion patrimoniale des réseaux d'AEP	8
I.4.1	Les niveaux de la gestion patrimoniale des réseaux d'AEP.....	8
I.4.2	Paramètres de la gestion patrimoniale	9
I.4.3	Objectifs de la gestion patrimoniale des réseaux d'AEP.....	10
I.5	Problématique de maintenance et de réhabilitation des réseaux d'AEP.....	10
I.5.1	Maintenance	10
I.5.2	Définition de la réhabilitation.....	11
I.5.2.1	Techniques de réhabilitation.....	12
I.5.2.2	Les motifs de réhabilitation	13
I.6	Conclusion.....	13

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1	Introduction	14
II.2	Présentation de la ville de Mechtras	14
II.2.1	Situation géographique	14
II.2.2	Situation hydrographique	14
II.2.3	Situation climatique	15

II.2.4	Situation démographique	15
II.2.5	Les pentes	16
II.3	Présentation de l'Algérienne des Eaux- unité de Tizi-Ouzou	16
II.3.1	Présentation et organisation de l'ADE	17
II.3.2	Organisation administrative de l'ADE	17
II.3.3	Moyens humains et matériels de l'ADE	19
II.4	Système actuel d'AEP	20
II.4.1	Caractéristiques du réseau d'adduction :.....	20
II.4.2	Caractéristiques du réseau de distribution.....	21
II.5	État structurel et fonctionnel du réseau :.....	23
II.6	Identification des critères	23
II.7	Conclusion :.....	25

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

III.1	Introduction.....	26
III.2	Importance des outils d'aide à la décision dans la réhabilitation des conduites d'AEP.	26
III.3	Méthode AHP.....	27
III.3.1	Fonctionnement de l'AHP.....	28
III.3.2	Description et Formulation mathématique de la méthode AHP	29
III.3.2.1	Matrice de comparaison.....	29
III.3.2.2	Détermination des poids des critères	30
III.3.2.3	Cohérence des jugements	30
III.4.1	Définition.....	32
III.4.2	Concept de la méthode	32
III.4.3	Formulation mathématique de PROMETHEE II.....	33
III.4.4	Fonction de préférence PROMETHEE II.....	33
III.4.5	Degré de préférence PROMETHEE	35
III.4.6	Le classement PROMETHEE II	36
III.5	Justification du choix des deux méthodes AHP_PROMETHEE II	36
III.5.1	performance des deux méthodes	36

Chapitre IV : Implémentation du modèle

IV.1	Introduction.....	38
IV.2	Application de la méthode AHP	38
IV.2.1	Construction de la matrice de comparaison	38
IV.2.2	Détermination des poids des critères	39
IV.2.3	Calcul de la valeur propre λ_{max}	40

IV.2.4	Etude de la cohérence des jugements.....	42
IV.3	Calcul de l'ordre complet de la priorisation dans la réhabilitation des (16) tronçons en utilisant PROMETHEE II	43
IV.3.1	Choix de la fonction de préférence et seuil d'indifférence et de préférence	43
IV.3.2	Calcul des différences et des préférences des critères les uns aux autres par rapport aux 16 critères	45
IV.3.3	Degré de préférence.....	49
IV.4	Conclusion	51
	Conclusion générale et perspectives	52
	Bibliographie	53

Liste des tableaux

Tableau I.1:	Identification des tronçons dans un réseau en Algérie	3
Tableau I.2:	Les différentes provenances de la corrosion interne	7
Tableau I.3:	Les diverses origines de la corrosion externe	8
Tableau I.4:	Les types de maintenance	10
Tableau II.1:	Précipitations moyenne mensuelles en (mm	15
Tableau II.2:	Les principales données chiffrées sur l'ADE de Tizi Ouzou	20
Tableau II.3:	Caractéristiques du réseau d'adduction	21
Tableau II.4:	Caractéristiques des conduites de chaîne de thahechat	21
Tableau II.5:	Caractéristiques des conduites de chaîne de Tizi-tzemourth	22
Tableau II.6:	Caractéristiques des conduites de chaîne de tazrots 500	22
Tableau II.7:	Caractéristiques des conduites de chaîne d'ath imghor	22
Tableau II.8:	Caractéristiques des conduites de chaîne de piquage brouira	22
Tableau III.1 :	Échelle de comparaison	30
Tableau III.2 :	Valeurs du coefficient RI	31
Tableau III.3 :	Différentes variantes de PROMETHEE	33
Tableau III.4 :	La matrice multicritère de PROMETHEE	33
Tableau III.5 :	Avantages des deux méthodes AHP et PROMETHEE	37
Tableau IV.1:	La matrice de comparaison par paire entre les huit critères et leur poids	38
Tableau IV.2:	Somme de chaque colonne	39
Tableau IV.3:	Division par le total de chaque colonne	39
Tableau IV.4:	Matrice du poids de chaque critère	39
Tableau IV.5:	Matrice du vecteur priorité	40
Tableau IV.6:	Vecteur priorité comme facteurs	40
Tableau IV.7:	Calcul des colonnes pondérées	41
Tableau IV.8:	Calcul de la somme pondérée	41
Tableau IV.9:	Calcul de la valeur propre λ_{max}	41
Tableau IV.10:	Synthèses des différentes données des (16) tronçons	44
Tableau IV.11:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Diamètre (DIAM)	45
Tableau IV.12:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Type de matériaux (TYP).	45
Tableau IV.13:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère (AGE)	46
Tableau IV.14:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Longueur (LONG)	46
Tableau IV.15:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Indice linéaire des fuites (ILF)	47
Tableau IV.16:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Technique de réhabilitation (TECH-R)	48

Tableau IV.17:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Plainte	48
Tableau IV.18:	Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Rendement (REND)	49
Tableau IV.19:	Exemple du critère de Diamètre (DIAM) avec un poids de 0,074	49
Tableau IV.20:	Le flux positif, le flux négatif, le flux net des conduites et le classement	50

Liste des figures

Figure I.1 :	Les aspects clés de la gestion des réseaux d'AEP	2
Figure I.2 :	Vieillessement des canalisations	5
Figure I.3 :	Ruptures ou fuites apparentes	6
Figure I.4 :	Les différentes composantes d'une gestion patrimoniale des infrastructures	9
Figure I.5 :	Terminologie utilisée dans la réhabilitation et relations avec les autres opérations	12
Figure II.1 :	Localisation de la Commune de Mechtras dans la Wilaya de Tizi-Ouzou (Google Maps, 2020).	15
Figure II.2 :	Carte de pente de Mechtras	16
Figure II.3 :	Organigramme de l'ADE de Tizi Ouzou	18
Figure II.4 :	L'itinéraire des différentes conduites d'AEP ainsi que l'emplacement des réservoirs [Google Earth pro, 2024].	21
Figure II.5 :	La décomposition hiérarchique de L'AHP	23
Figure III.1 :	Exemple de décomposition hiérarchique de trois niveaux.	28
Figure IV.1 :	La variation du poids des différents critères	42
Figure IV.2 :	Présentation des flux positif, négatif et net pour les conduites de Mechtras	51

Liste d'abréviation

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
IC : indice de cohérence
PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
DIAM : les Diamètre des conduites
TYP-M : Type de matériaux
ILF : indice linéaire des fuites
TECH-R : Technique de réhabilitation

Liste de symbole

n : Nombre d'éléments à comparer
 A : Matrice de comparaison
 U : Fonction d'utilité
 w_j : *le poids*
 $F(x)$: Fonction objective
 Φ_i : *Le flux net de l'alternative*
 Φ^+ : Flux positif de préférence
 Φ^- : Flux négatif de préférence
 λ_{\max} : la valeur propre maximale de la matrice

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, les gestionnaires de l'Algérienne Des Eaux (ADE) commencent à s'inquiéter sur l'état de dégradation de leurs réseaux d'AEP. Cette inquiétude se manifeste par une situation complexe, variante selon les villes du pays. Elle apparaît à travers plusieurs paramètres : mauvais état structurel des ouvrages, fuites des eaux, effondrement des conduites ... etc. Ces conduites sont soumises avec le temps à des mécanismes de dégradation progressive due aux conditions de fonctionnement et d'environnement. Cela explique les exigences de la réhabilitation qui sont proposées pour remédier aux dysfonctionnements observés ou pour les réduire [ELNABOULSI & ALEXANDRE, 1998].

Consciente de cette problématique, l'Algérie a adopté une politique de réhabilitation des infrastructures hydrauliques, axée notamment sur les économies d'eau et la diversification des ressources. Un programme national de réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable a ainsi été renforcé depuis les années 2000 [IKHLEF & HALICHE, 2018]. D'importantes études de diagnostic et de travaux de réhabilitation et d'extension des réseaux ont été entreprises dans de nombreuses villes du pays. L'objectif est d'améliorer la performance des réseaux d'eau potable et répondre de façon pérenne aux besoins des populations.

Pour mener à bien les opérations de maintenance et de réhabilitation, il est important de comprendre l'interrelation entre les facteurs responsables de la défaillance du système de réseau d'eau potable ou ceux qui entraînent des impacts inacceptables. Ainsi, lorsque le gestionnaire décide de renouveler ou non les canalisations du réseau de distribution d'eau potable, il se demande généralement à plusieurs reprises ce qui doit être inclus dans sa stratégie : dois-je remplacer les canalisations ? Et si oui, lesquels faut-il remplacer ?, Par quelle conduites doit-je commencer à réhabiliter et Finalement, quand dois-je planifier ces travaux ? [IGOR, 2004]

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude. En fait, nous nous intéressons plus particulièrement à la réhabilitation des conduites d'Alimentation en Eau Potable (AEP). Au niveau national, pas mal de travaux ont été consacrés à cette problématique [HAMCHAOU & al., 2015, BOUKHARI & al., 2017, BOUCHRAKI & al., 2023]. Pour cela, nous allons nous focaliser précisément sur l'élaboration d'un outil d'aide à la réhabilitation des conduites d'AEP. Cet outil est basé d'une part sur l'identification des critères liés aux caractéristiques des conduites d'AEP. Cette tâche doit respecter les spécificités locales de la région, tout en prenant en compte la disponibilité des données nécessaires à l'étude. D'une autre part, sur l'utilisation des méthodes multicritères d'aide à la décision pour la pondération des critères et la priorisations des conduites à réhabiliter.

Introduction générale

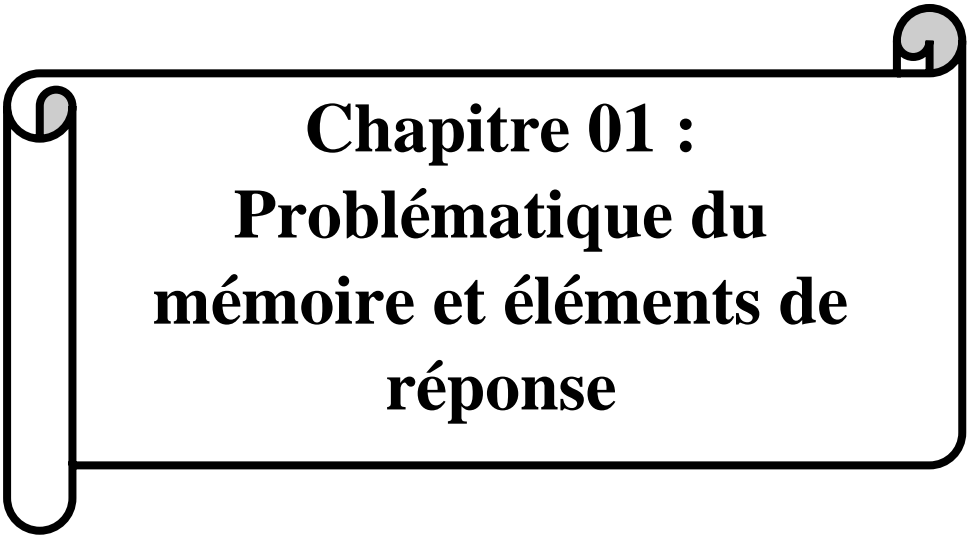
Afin d'aboutir aux objectifs du projet, l'étude est structurée en quatre chapitres :

Le premier chapitre traite les différentes défaillances des réseaux d'AEP d'une part. D'autre part, il montre l'importance de la gestion patrimoniale des réseaux et la nécessité d'élaborer des programmes de maintenances et de réhabilitation.

Le deuxième chapitre expose la zone d'étude et ses différentes caractéristiques. Dans un premier temps, une explication de la méthodologie adoptée sera effectuée. Après, nous allons exposer les différents critères choisis en fonction de la disponibilité des données au niveau de l'ADE de Tizi Ouzou.

Concernant le troisième chapitre, il sera l'objet de la définition des deux méthodes multicritères d'aide à la réhabilitation. La première méthode s'agit de la méthode de la réhabilitation des AHP et la deuxième méthode c'est PROMETHEE II. Elles servent à la pondération des critères et à la priorisation des conduites d'AEP à réhabiliter.

Enfin, le quatrième chapitre concerne la mise en application des deux méthodes sur un cas réel, la ville de Mechtras à Tizi Ouzou. Le classement des conduites à réhabiliter du plus urgent au moins urgent sera effectué en conséquence.



Chapitre 01 :
Problématique du
mémoire et éléments de
réponse

I.1 Introduction

La gestion efficace des réseaux d'AEP est essentielle pour assurer un approvisionnement en eau sûr et fiable aux populations. Cependant, ces réseaux sont confrontés à divers défauts et dysfonctionnements au fil du temps, tels que les fuites, les ruptures de canalisations et la dégradation des performances hydrauliques.

Pour remédier à ces problèmes, le diagnostic des réseaux d'AEP joue un rôle crucial en identifiant les zones à risque et en évaluant l'état global des infrastructures. La problématique de maintenance et de réhabilitation des réseaux d'AEP se pose alors comme un enjeu majeur pour garantir la durabilité et l'efficacité de ces réseaux.

Ce chapitre explorera en profondeur ces aspects clés de la gestion des réseaux d'AEP, mettant en lumière les défis rencontrés et les solutions envisagées pour assurer un approvisionnement optimal en eau potable [BOUAMRANE et al., 2012].

Pour cela, nous allons commencer à définir la gestion des réseaux d'AEP en donnant quelques aspects clés pour parvenir à une bonne gestion. Nous allons enchaîner après à exposer les différents défauts et dysfonctionnements relatifs au fonctionnement du réseau. Par la suite, la question du diagnostic et de la gestion patrimoniale du réseau seront abordés. Enfin, nous allons traiter la nécessité de la maintenance et de la réhabilitation pour maintenir le réseau d'AEP dans un bon état.

I.2 Gestion des réseaux d'AEP

La gestion des réseaux d'AEP est une approche qui consiste à assurer un approvisionnement en eau potable sûr et fiable aux populations. Pour cela, il est nécessaire de connaître les installations existantes, les évolutions techniques et les besoins futurs [AGHTM, 2003]. Cette gestion selon NAFI, 2006 vise à anticiper les travaux à réaliser pour le maintien en service du réseau d'AEP tout au long de sa durée de vie. La mise en place d'une telle approche nécessite la prise en compte des différents défauts et dysfonctionnements qui peuvent apparaître au fil du temps. Pour bien réussir cette approche, la participation de plusieurs acteurs est nécessaire tels que les collectivités publiques, les entreprises, les agriculteurs et les habitants.

La figure I.1 montre les aspects clés de la gestion des réseaux d'AEP.

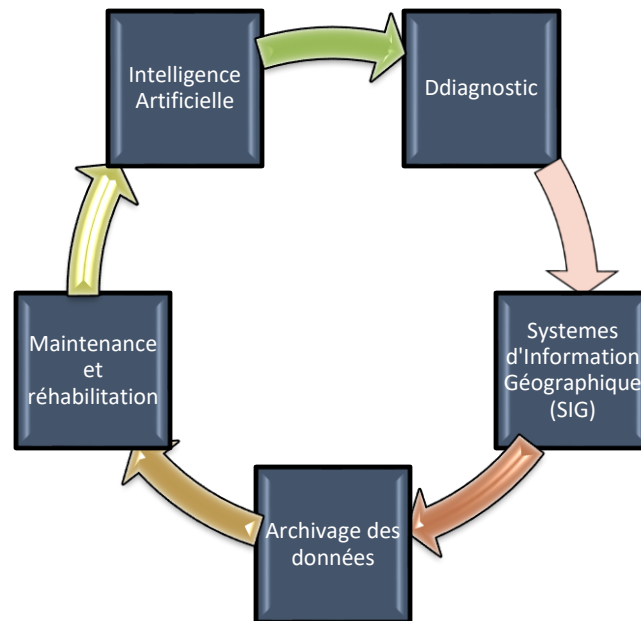


Figure I.1 : Les aspects clés de la gestion des réseaux d'AEP.

I.2.1 Gestion informatisée des réseaux d'AEP

La complexité des réseaux d'AEP et les difficultés éprouvées par les gestionnaires de prévoir les différents problèmes a rendu la tâche de leurs gestions plus difficile. Cette difficulté se manifeste notamment à travers plusieurs défaillances telles que : effondrement des conduites, fuites des eaux, mauvais état structurel des ouvrages, etc. Pour cela, le recours vers une gestion informatisée est devenu une opération indispensable et inéluctable. Cela est rendue possible grâce aux progrès de l'informatique. En effet et selon plusieurs auteurs tels que **IKHLEF & HALICHE, 2018 ; BERHAIL , 2019 ; NAFI , 2006**. Cette gestion informatisée permet entre autres de :

- Améliorer la connaissance détaillée des infrastructures ;
- Détecter et analyser les dysfonctionnements via des simulations ;
- Simuler le comportement hydraulique du réseau sur une période représentative. Cela optimise la gestion des ressources, des capacités de stockage et des pompes ;
- Étudier l'impact de nouvelles demandes ou d'incidents potentiels. ;
- Dimensionner les renforcements et aménagements requis pour satisfaire de nouveaux besoins en eau.

I.2.2 Gestion et archivage des données relatives aux défaillances

L'historique des défaillances et anomalies permet de mettre en évidence les problèmes récurrents du réseau et ses secteurs sensibles [**BOUKENKEN & RIANE, 2018**]. Pour que l'historisation des défaillances soit efficace, il est nécessaire que les tronçons et les branchements possèdent un identifiant unique dans la base de données. L'identifiant d'un tronçon ne devra pas être réutilisé pour un autre tronçon, même en cas de pose ou de mise hors

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

service du tronçon. La constatation d'une défaillance peut également résulter d'une démarche active de recherche de fuite.

Voici les étapes clés pour une identification efficace des tronçons dans un réseau en Algérie. En mettant en lumière les exemples concrets d'identification de tronçons dans le réseau algérien, décrits par plusieurs auteurs [FONTAINE, 2021 ; XAVIER & ALETH, 2020].

- **Création d'un Identifiant Unique** : Chaque tronçon et branchement doit se voir attribuer un identifiant unique dès sa création. Cet identifiant doit être clairement défini et enregistré de manière permanente dans la base de données pour assurer la traçabilité des éléments du réseau.
- **Gestion de la Base de Données** : Il est crucial de maintenir une base de données bien structurée et actualisée, où chaque identifiant est associé de manière exclusive à un tronçon spécifique. Cela permet de faciliter la recherche, le suivi et la résolution des défaillances.
- **Documentation et Suivi** : Chaque tronçon identifié doit être documenté de manière détaillée, indiquant sa localisation, ses caractéristiques techniques, sa date de pose, et toute autre information pertinente. Ce suivi précis facilite la maintenance et la gestion des défaillances éventuelles.

Tableau I.1 : Exemple de l'identification des tronçons dans un réseau en Algérie.

Élément	Identifiant	Localisation	Caractéristiques Techniques	Date de Pose	Responsable
Tronçon principal de la rue de la Paix à Alger	T1-001	Rue de la Paix, 1er arrondissement d'Alger	Longueur : 500 mètres Diamètre : 0,5 mètres Matériaux : PVC	15/02/2015	Equipe de maintenance de la ville d'Alger
Branchement de la rue de la Paix vers la rue de Rivoli à Alger	B1-002	Intersection de la rue de la Paix et de la rue de Rivoli, 1er arrondissement d'Alger	Longueur : 100 mètres Diamètre : 0,3 mètres Matériaux : PVC	15/02/2015	Équipe de maintenance de la ville d'Alger
Tronçon secondaire de la rue de la Paix à Alger	T2-003	Rue de la Paix, 1er arrondissement d'Alger	Longueur : 200 mètres Diamètre : 0,4 mètres Matériaux : PVC	15/02/2015	Équipe de maintenance de la ville d'Alger
Tronçon de raccordement à l'autoroute Est-Ouest à Constantine	-	Autoroute Est-Ouest, Constantine	-	En cours de réalisation	Ministère des Travaux Publics
Tronçon de tunnel en mine multicouches pour le métro d'Alger	-	Alger	-	En étude	Société Nationale des Transports Ferroviaires

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

I.2.3 Action des entreprises du service d'eau potable

La gestion du service d'eau potable peut être confiée aux entreprises publiques ou privées. Ces entreprises se chargent essentiellement de : [IKHLEF & HALICHE, 2018]

- Assurer une maintenance et un suivi du réseau ;
- Gérer le niveau et la variation des pressions ;
- Établir une analyse technique des interactions entre matériaux et qualités de l'eau ;
- Renouveler les ouvrages les plus critiques (présentant une probabilité de défaillance élevée) ;
- Appliquer les systèmes de la télégestion ;
- Mettre à jour le plan de recollement du réseau

I.2.4 Action des usagers

Les usagers des réseaux d'eau potable jouent un rôle essentiel dans la gestion et la préservation de ces infrastructures essentielles. En tant que bénéficiaires directs du service d'eau, les usagers ont des responsabilités et des devoirs envers le bon fonctionnement du réseau. Leur rôle principal consiste à :

- Diminuer le gaspillage de l'eau ;
- Réclamer ou intervenir en cas de fuites ;
- Prendre des précautions lors des travaux qui sont à proximité de réseau d'eau potable ;
- Prendre autorisation du service d'eau potable avant de piquer le réseau.

I.2.5 Les objectifs de la gestion des réseaux d'AEP

D'après les études menées par **BOUCHERMA & HAMOUD, 2020** ainsi que par **BOUKHARI & BACHA, 2018**, il est essentiel de mettre l'accent sur les objectifs clés de la gestion des réseaux d'AEP. Ces objectifs visent à assurer un approvisionnement en eau potable fiable, durable et de qualité pour l'ensemble de la population. Parmi ces objectifs, nous pouvons citer :

- Assurer la pérennité des infrastructures de distribution d'eau potable par des opérations de conservation, de réhabilitation et de renouvellement ;
- Effectuer l'entretien régulier des réseaux de distribution et des équipements mécaniques, incluant la réparation des fuites, le nettoyage des conduites, le dépannage et la maintenance préventive ;
- Gérer efficacement l'exploitation des réseaux d'AEP, en régulant les débits, en synchronisant les opérations de captage, de traitement, de stockage et de distribution de l'eau potable ;
- Garantir la pérennité des ouvrages hydrauliques par des mesures de conservation, d'entretien et de rénovation appropriées ;
- Assurer l'entretien courant des réseaux de distribution et des installations mécaniques par des interventions de nettoyage, de dépannage et de maintenance régulière ;
- Optimiser l'exploitation des réseaux d'AEP en régulant les débits, en coordonnant les phases de captage, de traitement, de stockage et de distribution de l'eau potable.

I.3 Défauts et dysfonctionnements des réseaux d'AEP

Les réseaux d'AEP sont des piliers fondamentaux de nos sociétés modernes, assurant un approvisionnement en eau propre et sécurisé à des millions de personnes à travers le monde. Cependant, ces infrastructures vitales ne sont pas à l'abri des défauts et des dysfonctionnements qui peuvent entraver leur bon fonctionnement.

Conformément au "**Guide pour la prise en compte des dysfonctionnements des réseaux d'eau potable, 2016**", un dysfonctionnement est une perturbation généralisée du fonctionnement normal, impactant les performances globales du réseau d'AEP, pouvant résulter d'une combinaison de défauts ou d'autres facteurs.

Les réseaux d'AEP peuvent être confrontés à une variété de problèmes, allant de fuites invisibles à des pannes structurelles graves, menaçant la continuité de la distribution d'eau potable. L'identification et la résolution de ces défauts revêtent ainsi une importance capitale pour garantir la fiabilité et l'efficacité des réseaux de distribution d'eau potable et assurer un approvisionnement continu en eau de qualité à la population [IKHLEF & HALICHE, 2018].

I.3.1 Défaut et dysfonctionnement structurels

Les défauts et dysfonctionnements structurels d'un réseau d'AEP sont des problèmes liés à sa conception, sa construction ou son entretien, pouvant entraîner des fuites, des ruptures, une baisse de pression ou une altération de la qualité de l'eau. Ces problèmes nécessitent des réparations et une maintenance pour garantir un approvisionnement en eau potable sûr et fiable.

- 1. Vieillessement 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.2 : Vieillessement des canalisations [IKHLEF & HALICHE, 2018].

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

I.3.2 Défaillances du régime hydraulique

Selon le **guide de l'Office International de l'Eau, 2020**, les défaillances du régime hydraulique désignent les situations où le réseau d'adduction d'eau potable ne fonctionne pas selon les paramètres hydrauliques prévus, avec des problèmes tels que des pressions ou des débits insuffisants pour répondre correctement aux besoins des consommateurs.

a. Diminution de la capacité de transport

La réduction du diamètre ou l'augmentation de la rugosité conduisent à la diminution de la capacité hydraulique du réseau. Cette défaillance est engendrée par l'entartrage calcaire sur les conduites sans revêtement interne, mais aussi par l'apparition de renflements corrosifs, responsables également de chutes de pression.

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

b. Fuites

Ce 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 [**BOUKENKEN & RIANE, 2018**].

Les ruptures de canalisations peuvent être provoquées par :

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

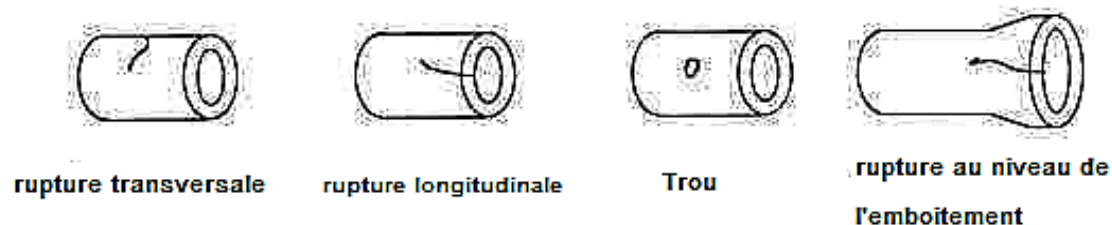


Figure I.3 : Ruptures ou fuites apparentes [LIRATNI, 2011].

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

- Inondations chez un particulier ou perturbations du trafic routier ;
- Coupure d'eau ;
- Déstabilisation du lit de pose ;
- Plaintes des abonnés.

I.3.3 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**]. Cette

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

altération progressive de la qualité des ressources en eau douce et salée a un impact néfaste sur les écosystèmes aquatiques, la santé humaine et les activités économiques dépendantes de l'eau.

Parmi les phénomènes clés contribuant à cette dégradation, la corrosion joue un rôle important dans la détérioration de la qualité de l'eau.

1. Phénomène de corrosion

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

1.1 Corrosion interne

Elle est liée à la qualité de l'eau et à ses différentes caractéristiques. Le tableau suivant montre les différentes provenances de la corrosion interne :

Tableau I.2 : Les différentes provenances de la corrosion interne [BOUKENKEN & RIANE , 2018].

Les causes de la corrosion interne	Le PH, le taux d'oxygène dissous
	L'oxydation d'ions ferreux en ions ferriques principalement avec une eau douce, acide ou désaérée. Une coloration noire de l'eau est liée à la présence de manganèse. Ce phénomène, qui génère une eau rouge et des dépôts, est fréquemment constaté sur les conduites en fonte grise et en acier non revêtues ;
Les causes de la formation des dépôts	Le développement d'un biofilm bactérien sur les parois affecte tous les types de conduites.
	Une stagnation de l'eau dans le réseau, dans les zones soumises aux variations saisonnières et dans les canalisations surdimensionnées ; Une turbidité et des concentrations en ions métalliques élevées.

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

1.2 Corrosion externe

La corrosion externe correspond à un échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite. Les diverses origines de la corrosion externe sont illustrées dans le tableau suivant :

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

Tableau I.3 : Les diverses origines de la corrosion externe : [BOUKENKEN & RAOUF, 2018].

Les origines de la corrosion externe	Explications
Les courants « vagabonds » du sol	Générés par la proximité d'installations électriques en courant continu (voies de chemin de fer, tramways, ouvrages miniers) augmentent les risques de corrosion des canalisations métalliques qui sont d'excellents conducteurs. En l'absence de protection, le phénomène de corrosion externe est accéléré.
L'hétérogénéité du sol	Plus la texture du sol est fine, plus il retient l'eau et plus la corrosion est importante. L'évaluation de la corrosivité du milieu ambiant est définie sous la norme AFNOR NF 250 « Evaluation de la corrosivité des sols vis-à-vis des canalisations en matériaux ferreux ».

I.4 Diagnostic et gestion patrimoniale des réseaux d'AEP

Le diagnostic d'AEP consiste à réaliser une étude complète permettant de faire le bilan du système actuel de production et distribution, d'identifier les dysfonctionnements, défaillances et causes des problèmes rencontrés. Puis de donner les orientations à la collectivité pour l'amélioration du service à court, moyen et long terme [BOULKARIA & OULD FELLA, 2010]. En d'autres termes, c'est une évaluation de l'état technique, du fonctionnement et des performances du réseau, afin de déterminer les besoins en réparations, en rénovation et en renouvellement des ouvrages [ALEGRE & al., 2006].

Pour cela, la réglementation invite les autorités organisatrices des services d'eau en général et des services d'eau potable en particulier à une gestion patrimoniale des réseaux. L'objectif principal est de limiter les pertes d'eau dans les réseaux de distribution.

Selon BOUKENKEN & RIANE, 2018 cette gestion patrimoniale est une approche consistant à gérer durablement les infrastructures techniques en planifiant leurs rénovations et renouvellements nécessaires, sur la base d'une connaissance précise de leur état, tout en optimisant les coûts sur le long terme.

I.4.1 Les niveaux de la gestion patrimoniale des réseaux d'AEP

La gestion patrimoniale des réseaux urbains est l'ensemble des activités opérées par différents intervenants sur des échelles d'espaces et de temps différents. Ainsi, nous distinguons trois niveaux de gestion : stratégique, tactique et opérationnel.

- **Le niveau stratégique** : Au niveau stratégique, les propriétaires des réseaux urbains définissent et mettent en œuvre une stratégie globale de gestion visant à assurer le développement durable de la ville à travers une gestion pérenne et optimisée de ces infrastructures.
- **Le niveau tactique** : Au niveau tactique, le gestionnaire élabore un plan d'intervention opérationnel à moyen terme aligné sur les objectifs stratégiques du propriétaire. Ce plan

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

visé à assurer la fiabilité du réseau et l'utilisation optimale des ressources par une planification adéquate des actions techniques et financières.

- **Niveau opérationnel** : Au niveau opérationnel, qui représente la base de la hiérarchie, les opérateurs spécialisés exécutent sur le court terme les interventions planifiées par le gestionnaire sur des tronçons spécifiques du réseau, en utilisant les technologies appropriées. L'efficacité de ces interventions est évaluée en fonction de la qualité obtenue et de la quantité de travaux réalisés conformément au plan d'intervention établi au niveau tactique. La figure suivante représente les différentes composantes d'une gestion patrimoniale des infrastructures ainsi que leurs relations.

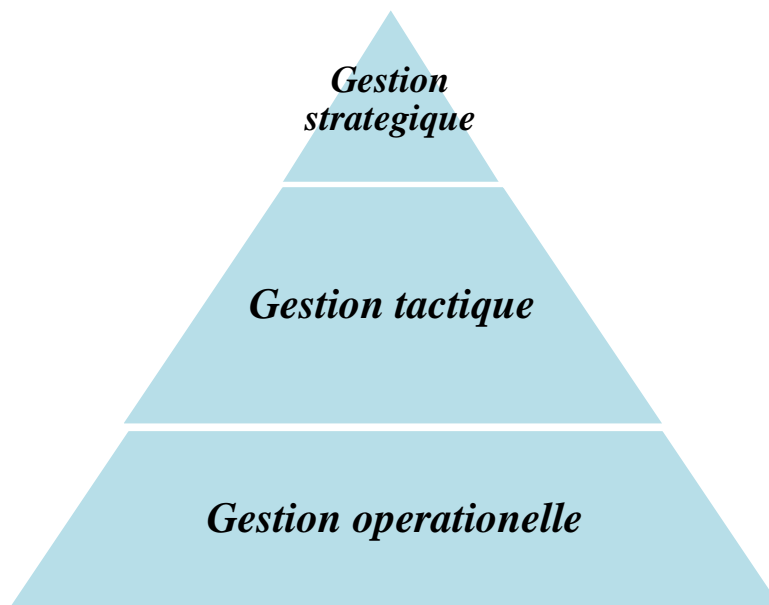


Figure I.4 : Les différentes composantes d'une gestion patrimoniale des infrastructures.

I.4.2 Paramètres de la gestion patrimoniale

Une gestion optimale des ouvrages d'eau potable nécessite que les exploitants disposent de toutes les données patrimoniales essentielles. Ces paramètres techniques indispensables doivent être centralisés dans une base dédiée, facilement accessible. Elle doit comprendre [BOUKENKEN & RIANE, 2018] :

- Les plans détaillés des ouvrages avec leurs coupes techniques ;
- Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau ;
- Les relevés du niveau statique et du niveau dynamique de la nappe selon les débits ;
- Le débit spécifique de chaque ouvrage ;
- Le débit maximum d'exploitation pour garantir le fonctionnement pérenne.

Sans cette connaissance précise des paramètres structurels et hydrauliques, les équipes ne peuvent assurer une gestion optimale au quotidien, ni planifier efficacement la maintenance. La mise à disposition de ces données patrimoniales complètes constitue la clé d'une exploitation réussie des infrastructures sur le long terme.

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

I.4.3 Objectifs de la gestion patrimoniale des réseaux d'AEP

Les objectifs de la gestion patrimoniale des réseaux d'AEP sont multiples et propres à chaque situation personnelle. Les principaux sont [BOUKENKEN & RIANE, 2018] :

- Assurer la pérennité et la fiabilité des infrastructures des réseaux d'eau potable ;
- Planifier les investissements nécessaires au renouvellement des ouvrages vieillissants ;
- Optimiser les coûts d'exploitation et de renouvellement sur le long terme ;
- Anticiper les travaux de réhabilitation avant les défaillances pour maîtriser les risques ;
- Améliorer la connaissance détaillée du patrimoine technique (âge, matériaux, incidents, etc.) ;
- Garantir un niveau de performance durable pour la distribution d'eau (qualité, quantité, continuité) ;
- Préserver la valeur de ce patrimoine infrastructurel stratégique pour la collectivité.

I.5 Problématique de maintenance et de réhabilitation des réseaux d'AEP

Avant d'explorer les divers aspects d'une gestion patrimoniale des infrastructures, il est primordial de clarifier certaines terminologies clés utilisées dans le domaine des réseaux d'eau potable. Ces définitions sont essentielles et peuvent être adaptées pour comprendre la gestion des réseaux d'eau potable.

I.5.1 Maintenance

Selon La norme NF X 60-100 [AFNOR, 1981] la maintenance est défini comme l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions de fonctionnement sûres pour assurer un service donné. Le tableau suivant montre les différents types de maintenance [HATEM, 2006].

Tableau I.4 : Les types de maintenance.

Type de maintenance	Maintenance corrective		Maintenance préventive		
	Maintenance palliative	Maintenance curative	Maintenance systématique	Maintenance conditionnelle	Maintenance prévisionnelle
Opération de maintenance	Dépannage	Réparation		Remplacement	

D'après le tableau ci-dessus, la maintenance revêt différentes formes, caractérisées notamment par leur aspect correctif. Ces différentes formes impliquent des actions entreprises après la détection d'une défaillance, dans le but de rétablir un bien à sa fonction requise. Nous distinguons principalement quatre formes ou de types de maintenance :

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

- 1. La maintenance corrective** : elle est principalement technique, comprenant la localisation des pannes, les diagnostics, la remise en état, et la vérification des performances. Elle peut être considérée comme palliative si elle offre une solution temporaire, et comme curative si elle vise une solution permanente ;
- 2. La maintenance préventive** : son objectif est de réduire les situations à risque d'un bien ou d'un service en mettant en œuvre des actions planifiées. Ces actions sont déclenchées selon un calendrier établi en fonction d'un nombre prédéterminé d'utilisations (maintenance systématique) ou de critères prédéfinis indiquant l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle). La maintenance conditionnelle comprend la restauration de matériels ou de composants non défectueux en fonction d'une évaluation de leur état par rapport à des critères d'acceptation fixés ;
- 3. La maintenance prédictive** : repose sur une approche préventive qui consiste à analyser régulièrement les paramètres critiques de dégradation d'un équipement. Son objectif est de planifier les interventions à l'avance en anticipant les besoins futurs pour optimiser les investissements à long terme et gérer efficacement les ressources ;
- 4. La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF)** : se concentre sur les équipements critiques ayant un impact majeur sur la sécurité, la disponibilité, la qualité, ou l'environnement. Elle privilégie des actions de maintenance préventive ou des ajustements de conception uniquement pour des équipements critiques. L'objectif est d'assurer la performance optimale et la durabilité des équipements essentiels [ZWINGELSTEIN, 1996].

I.5.2 Définition de la réhabilitation

La réhabilitation dans le contexte des réseaux d'AEP se définit comme toute initiative entreprise pour restaurer ou améliorer les performances d'un système de distribution d'eau potable, en conformité avec la norme EN 752-1 [AFNOR, 1996].

Cette approche inclut des actions telles que le remplacement, la rénovation ou la réparation de composants ou d'ouvrages existants, ainsi que la mise en place de nouveaux équipements ou infrastructures pour améliorer le réseau.

Il est crucial de faire la distinction entre les différents concepts et actions de réhabilitation. Les travaux de réparation sont généralement distincts des projets de réhabilitation et sont considérés comme des opérations de maintenance, tandis que les termes de réhabilitation et de rénovation sont parfois utilisés de manière interchangeable, bien que la rénovation soit parfois confondue avec le remplacement complet des éléments du réseau [HATEM, 2006].

La figure suivante présente les différents concepts ainsi que leurs relations.

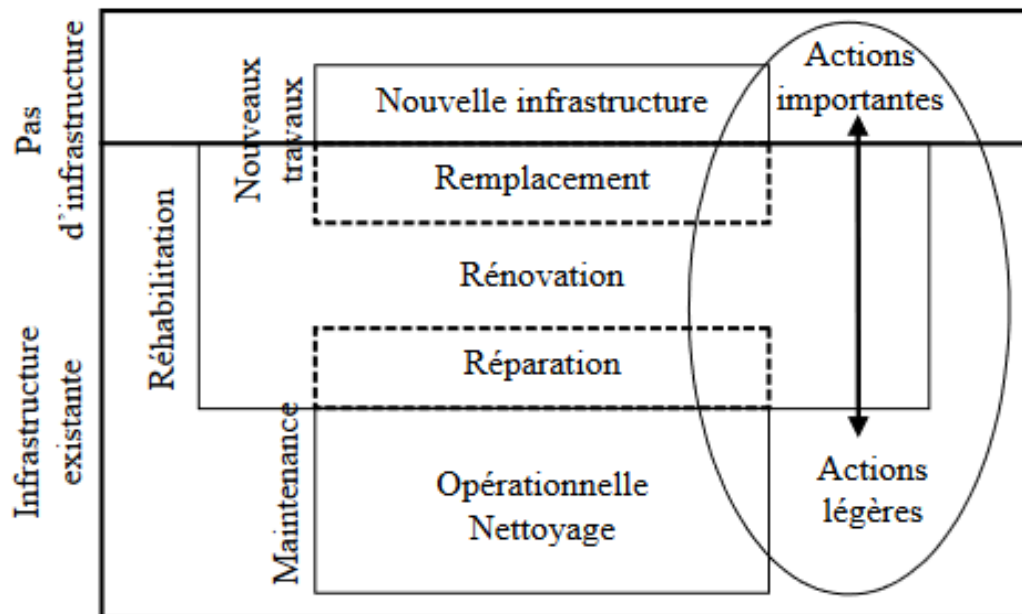


Figure I.5 : Terminologie utilisée dans la réhabilitation (norme EN 752) et relations avec les autres opérations.

Ces différents concepts sont définis dans la norme EN 752-1 [AFNOR, 1996] :

- Remplacement : Installation d'un nouvel ouvrage d'alimentation en eau potable, soit sur le site actuel, soit à un nouvel emplacement, remplaçant ainsi une conduite existante ;
- Rénovation : Travaux impliquant la préservation d'une partie ou de la totalité de l'ouvrage d'alimentation en eau potable existant, afin d'améliorer ses performances actuelles ;
- Réparation : Correction des défauts localisés au sein du réseau d'alimentation en eau potable.

I.5.2.1 Techniques de réhabilitation

Les techniques de réhabilitation disponibles offrent une diversité d'approches adaptées à des problèmes spécifiques et des objectifs précis tels que la restructuration, la consolidation et l'amélioration des conditions hydrauliques d'écoulement, ainsi que l'assurance de l'étanchéité des conduites d'eau potable.

Parmi les principales méthodes de réhabilitation pour les conduites non visitables, nous retrouvons :

- Le tubage, avec des variantes telles que le tubage sans contact et le tubage à contact uniforme ;
- Le chemisage ou le revêtement par membrane ;
- La projection au mortier de ciment ;
- Le revêtement en résine époxy.

Chaque technique de réhabilitation est accompagnée d'une fiche technique détaillant son champ d'application et les critères de sélection en fonction de l'état du réseau et des contraintes

Chapitre 01 : Problématique du mémoire et éléments de réponse

environnementales. De plus, ces procédés de réhabilitation peuvent être classés en fonction de leurs propriétés mécaniques, incluant l'étanchéité, la consolidation et l'auto structuration.

I.5.2.2 Les motifs de réhabilitation

Différents motifs sont évoqués par les gestionnaires de réseaux [AGHTM, 2004] :

- a) Dégradation de la qualité de l'eau par le réseau ;
- b) Nombre de fuites enregistrées ;
- c) Probabilité de casse ;
- d) Évolution de la demande ;
- e) Plaintes des abonnés pour insuffisance de pression ou mauvaise qualité de l'eau ;
- f) Risques de dommages liés à d'éventuelles fuites ;
- g) Dégradation visible de la conduite ;
- h) Pose d'un autre réseau à proximité ;
- i) Travaux de voirie.

Ces différents motifs renvoient aux volets correctif et préventif de la réhabilitation :

- Pour le volet correctif : motifs a, b, d, e, f, g ;
- Pour le volet préventif : motifs c ou/et f.

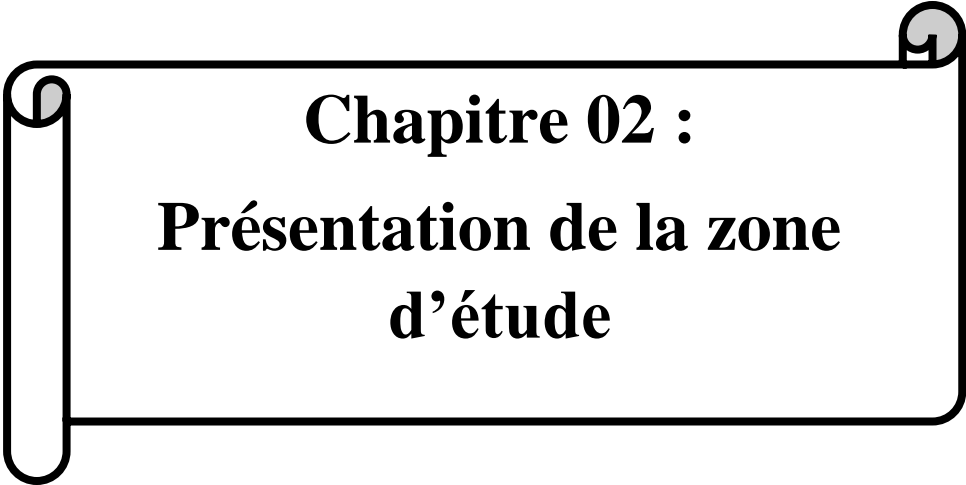
Un troisième volet peut également être rajouté au programme de réhabilitation pour des raisons liées à la coordination avec les autres services : motifs h et i.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'importance de la bonne gestion des réseaux d'AEP. Pour cela, il était nécessaire d'adopter une approche adéquate de résolution des défauts et des dysfonctionnements observés.

D'abord, nous avons énuméré quelques défauts structurels et fonctionnels qui peuvent survenir dans les conduites d'AEP. Puis, nous avons expliqué l'importance du diagnostic et de la gestion patrimoniale pour évaluer l'état des réseaux. Cela, permet d'anticiper les problèmes potentiels et de mettre en œuvre des mesures correctives ou préventives adaptées. C'est pourquoi, nous avons défini la maintenance et la réhabilitation comme mesures essentielles pour garantir la durabilité et la fiabilité des réseaux d'une part. D'autre part, pour répondre aux besoins en eau potable des populations de manière efficace et pérenne.

Enfin, toutes ces connaissances exposées vont nous permettre dans le prochain chapitre de construire une méthodologie d'aide à la réhabilitation des conduites d'AEP.



Chapitre 02 :
**Présentation de la zone
d'étude**

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons exposer la méthodologie choisie pour prioriser les conduites qui composent le réseau d'eau potable de la ville de Mechtras. Pour cela, nous allons entamer ce présent chapitre par une présentation détaillée de la zone d'étude du point de vue géographique, climatique, démographique et hydrographique.

Par la suite, nous allons relater l'historique de l'ADE et présenter son organisation territoriale et ses différentes activités. Nous allons notamment mettre la lumière sur l'unité de Tizi Ouzou en présentant les différents moyens humains et matériels qu'elle dispose. Ensuite, nous allons indiquer les étapes principales pour pouvoir construire notre outil méthodologique. Et enfin, nous allons expliquer les critères choisis en fonction de la disponibilité des données.

II.2 Présentation de la ville de Mechtras

II.2.1 Situation géographique

La commune de Mechtras est une commune de la Wilaya de Tizi Ouzou. Elle est localisée à 40 km au sud-ouest de la ville de Tizi Ouzou, elle s'étend sur 1736,2 hectares avec une altitude moyenne de 389 mètres. Ses contours géographiques se définissent comme suit :

- Au Nord, elle partage ses frontières avec la commune de Souk El Thenine ;
- À l'Est, elle est limitrophe de la commune de Tizi N'Tlatha ;
- Au Sud, elle est voisine de la commune d'Assi Youcef ;
- À l'Ouest et au sud-ouest, elle est délimitée par la commune de Boghni.

La délimitation géographique qui entoure la commune de Mechtras définit son territoire et impacte ses relations avec les communes voisines. Une connaissance approfondie de ces frontières est cruciale pour une planification urbaine et une gestion territoriale efficace, en prenant en considération les interactions et les défis régionaux. [ADRYEN, 2022]

II.2.2 Situation hydrographique

Le réseau hydrographique de la région de Mechtras est dominé par le vaste bassin versant de l'Oued Sébaou. La commune bénéficie d'une alimentation en eau sécurisée grâce au barrage de Koudiat-Asserdoune, situé à Maala dans la wilaya de Bouira. Mechtras se distingue par son abondance en sources d'eau naturelles. Plusieurs points d'eau permanents sont répartis sur son territoire, offrant un accès aisé à l'eau potable. De plus, de nombreux habitants disposent de puits privés, leur permettant de compléter leurs besoins en eau de manière autonome.

Cette richesse en ressources hydriques contraste avec la situation des régions voisines. En effet, Mechtras échappe aux périodes de stress hydrique qui touchent régulièrement ces zones. Même durant les périodes les plus sèches, les sources de Mechtras restent disponibles, garantissant un accès continu à l'eau pour la population.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude



Figure II.1 : Localisation de la Commune de Mechtras dans la Wilaya de Tizi-Ouzou [Google Maps, 2024].

II.2.3 Situation climatique

Le climat de Mechtras est caractérisé par des saisons bien distinctes. La saison hivernale qui s'étend de décembre à février est la plus froide avec des températures moyennes comprises entre 2 et 9 degrés Celsius. À partir de mars, les températures augmentent progressivement atteignant leur maximum en été, de juin à août où elles peuvent culminer à 42 degrés Celsius.

Les précipitations sont réparties de manière inégale tout au long de l'année, se concentrant principalement pendant les mois d'hiver, de novembre à janvier. La pluviométrie annuelle moyenne s'élève à 529,1 mm et les vents dominants proviennent du nord-ouest. Pendant l'été, La région connaît des épisodes de sécheresse et une humidité élevée. Les précipitations lorsqu'elles surviennent en été, peuvent être intenses et provoquer des crues soudaines. Ces caractéristiques climatiques ont un impact significatif sur les ressources en eau, l'agriculture et l'écosystème de Mechtras.

Tableau II.1: précipitations moyenne mensuelles en (mm).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
P (mm)	75	67.2	57.2	52.4	39.4	12	3.7	9.4	28.1	42.1	64.8	77.2

II.2.4 Situation démographique

La région de Mechtras connaît une croissance démographique soutenue, portant sa population à environ 13 299 habitants. La densité de la population est élevée dépassant les 1 000 habitants au kilomètre carré et elle est majoritairement jeune, avec plus de 60 % des habitants âgés de moins de 30 ans. Le taux d'alphabétisation est remarquablement élevé dépassant les 90 %. Cette dynamique démographique a des implications significatives pour le développement socio-économique de la région,

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

notamment en termes d'éducation, d'emploi et de fourniture de services.

II.2.5 Les pentes

Reconnaissant l'influence primordiale du relief sur la planification urbaine, nous avons procédé à l'élaboration d'une carte des pentes à partir de la carte d'état-major de Mechtras au 1/25 000e. Cette carte fournit une représentation cartographique précise de la topographie de la commune. Son examen attentif révèle que :

- 83,65 ha de la superficie sont occupés par de faibles pentes de 0% à 3%, ce qui représente pour cette partie des risques quasi nul pour l'urbanisation ;
- 539,82 ha sont occupés par des pentes de 3% à 12%, cette classe de pente est moyennement favorable à l'urbanisation ;
- 266,79 ha sont occupés par des pentes allant de 12% à 20%, cette catégorie de pentes est peu favorable à l'urbanisation ;
- 145,95 ha sont occupés par des pentes de 20% à 25%, cette classe de pente est défavorable à l'urbanisation ;
- Les pentes les plus raides (>25%) représentent 700,48 ha.

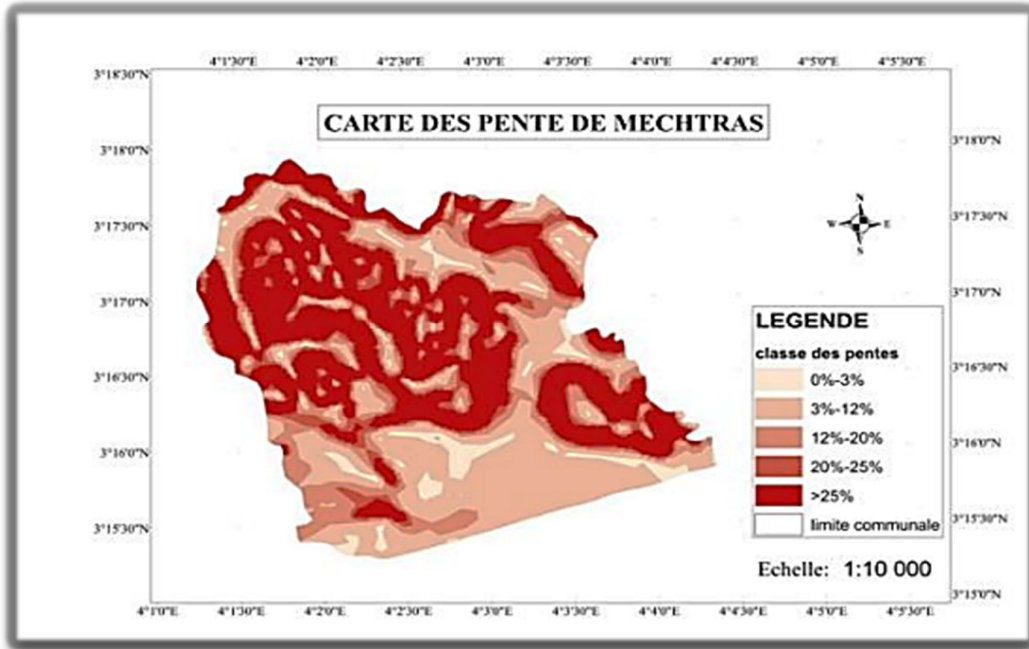


Figure II.2 : Carte de pente de Mechtras.

II.3 Présentation de l'Algérienne des Eaux

L'Algérienne Des Eaux (ADE) est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Créé en 2001, il est placé sous la tutelle du ministère chargé des ressources en eau et a son siège à Alger. L'ADE est chargée de la maîtrise d'ouvrage déléguée et de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau. Ses missions principales s'articulent autour de trois axes stratégiques : [ADRYEN, 2022]

- **Garantir la disponibilité régulière de l'eau pour les usagers** : L'ADE assure un approvisionnement continu en eau potable pour répondre aux besoins de la population, en tenant compte de la demande croissante et des contraintes liées aux ressources en eau ;
- **Assurer la conformité et la surveillance de la qualité de l'eau distribuée** : L'établissement contrôle rigoureusement la qualité de l'eau distribuée afin de garantir sa potabilité et sa conformité aux normes sanitaires en vigueur. Des analyses régulières sont effectuées pour détecter tout risque de contamination ou de non-conformité ;
- **Promouvoir des actions d'économie d'eau et de préservation des ressources** : L'ADE sensibilise les usagers à l'importance de la conservation de l'eau et met en œuvre des programmes pour réduire la consommation d'eau. Ces programmes incluent des campagnes de sensibilisation, la promotion de technologies économes en eau et la mise en place de mesures incitatives pour encourager les pratiques durables.

II.3.1 Présentation de l'ADE - unité de Tizi Ouzou

À Tizi Ouzou, l'ADE est l'acteur clé de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable. Par délégation de l'État, elle assure la gestion complète du cycle de l'eau sur le territoire de la wilaya, de la production au renouvellement des infrastructures, en passant par le transport, le traitement, le stockage, la distribution et l'approvisionnement en eau potable et industrielle.

Avec ses 19 centres opérationnels répartis sur les 62 communes gérées sur un total de 67, l'ADE de Tizi Ouzou a pour missions principales :

- La normalisation et le contrôle de la qualité de l'eau distribuée aux populations ;
- L'optimisation de l'utilisation de la ressource grâce à l'amélioration de l'efficacité des réseaux de transfert et de distribution ;
- La préservation de l'eau par l'introduction de techniques innovantes et la lutte contre le gaspillage via des campagnes de sensibilisation des usagers ;
- La conception de programmes scolaires en partenariat avec l'Education nationale pour diffuser la culture de l'économie d'eau ;
- La planification et la réalisation des programmes annuels et pluriannuels d'investissements pour le développement et le renouvellement des infrastructures hydrauliques.

Avec un important effectif de 3500 agents, l'ADE de Tizi Ouzou œuvre ainsi à assurer un accès pérenne à l'eau potable pour répondre aux besoins des populations dans cette wilaya montagneuse à forte croissance démographique.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

II.3.2 Organisation administrative de l'ADE de TIZI-OUZOU

L'ADE de TIZI-OUZOU est organisée en structure fonctionnelle où l'autorité va du bas vers le haut. Elle se compose d'une direction générale et de plusieurs départements ainsi que d'un laboratoire d'analyse (voir figure 3).

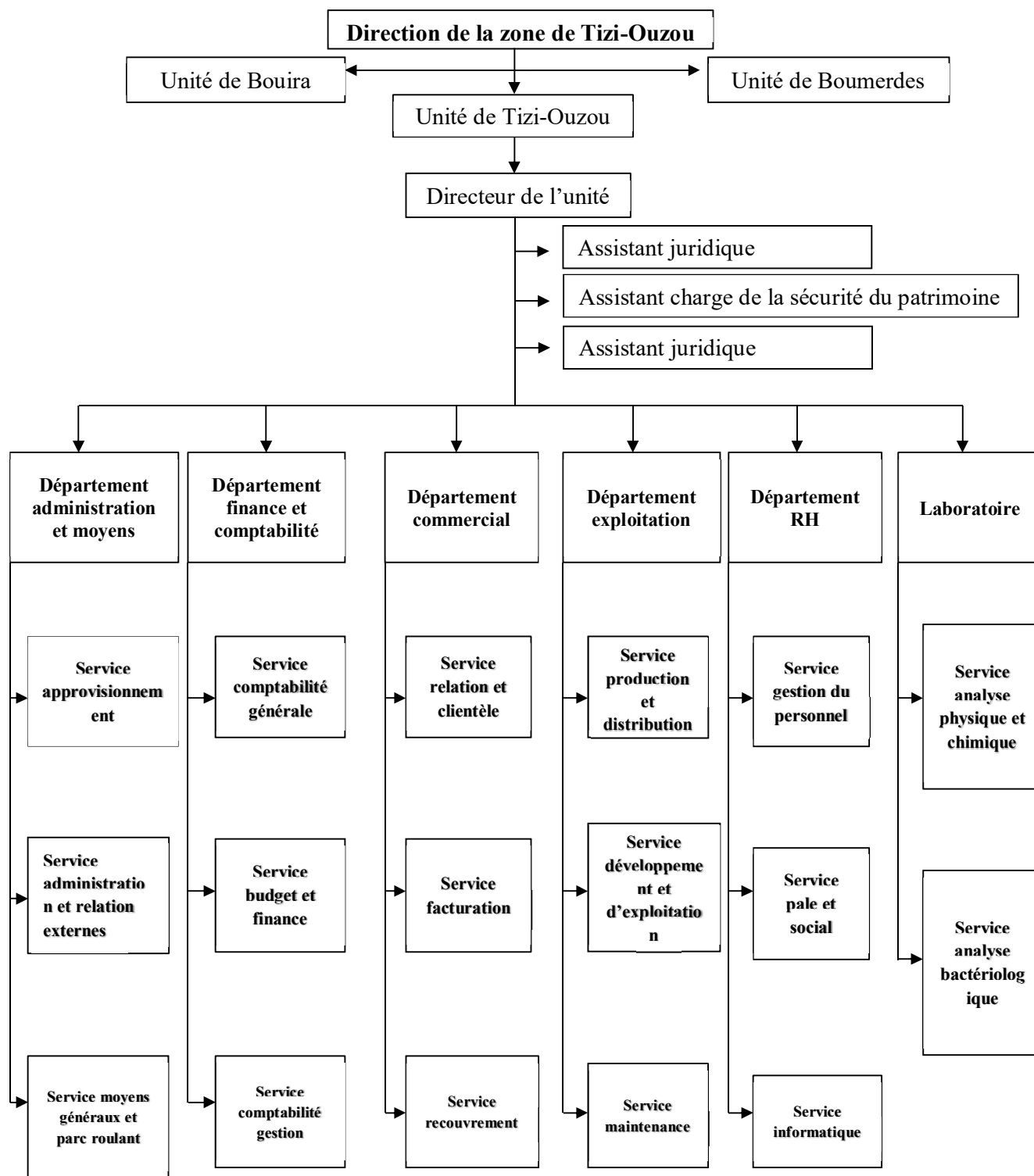


Figure II.3 : Organigramme de l'ADE de Tizi Ouzou.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

Nous distinguons essentiellement :

- Directeur de l'unité : il est au sommet et veille à son bon fonctionnement en supervisant le tout. Il est aidé dans ses tâches par un assistant juridique qui suit les affaires juridiques de l'entreprise, un assistant chargé de la sécurité du patrimoine qui est chargé de la sécurité de l'entreprise et d'une cellule informatique qui est chargée de la programmation et de la maintenance ;
- Département administration et moyens qui comprend trois services : service approvisionnement, service administration et relations externes, et service moyens généraux et parc roulant ;
- Département finance et comptabilité qui comprend le service comptabilité générale, service budget et finance ainsi que le service comptabilité et gestion.
- Département commercial qui est composé du service relation clientèle, service facturation et service recouvrement ;
- Département exploitation qui est composé du service production/distribution, service développement et exploitation et le service maintenance ;
- Le laboratoire qui comprend deux services, celui de l'analyse physique et technique et celui de l'analyse bactériologique ;
- Département des ressources humaines qui est organisé en trois services : service gestion du personnel, service formation et service paie et social.

II.3.3 Moyens humains et matériels de l'ADE de Tizi Ouzou

L'ADE de Tizi Ouzou mobilise d'importants moyens humains et techniques pour la gestion du cycle de l'eau potable dans cette wilaya montagneuse. Avec un effectif de 3206 agents répartis dans 19 centres opérationnels, elle dessert 62 des 67 communes en 2022. [ADE TIZI OUZOU, 2022a]

En 2023, l'ADE a permis une production journalière de 1,4 million de m³ à partir de 147 sources naturelles et 27 stations de traitement. [ADE TIZI OUZOU, 2022b].

Cette eau est stockée dans 653 réservoirs d'une capacité cumulée de 370 000 m³, avant d'être distribuée via 6500 km de réseaux à 1,1 million d'abonnés et 900 000 consommateurs, soit un taux de desserte de 82%. [ADE TIZI OUZOU, 2022c].

Cependant, les pertes en réseau restent élevées à 25%. [BETTAHAR, 2021]

Pour y remédier et accompagner la croissance démographique, un programme d'investissements de 8 milliards de dinars sur 2020-2024 vise une augmentation de 14% de la capacité de production, soit 1,6 million m³/jour en 2024. [DJELLAB & al., 2020]

Une présentation organisée des principales données chiffrées sur l'ADE de Tizi Ouzou est présentée sous forme d'un tableau synthétique.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.2 : Quelques données chiffrées sur l'ADE de Tizi Ouzou.

Informations	Données Chiffrées (2022)
Effectifs	3206 agents
Centres opérationnels	19 centres
Communes desservies	62 sur 67
Production d'eau	1,4 million m ³ /jour
Ressources	147 sources naturelles et 27 stations de traitement
Stockage	653 réservoirs et 370 000 m ³ de capacité totale
Distribution	6500 km de réseaux -1,1 million d'abonnés et 900 000 consommateurs
Taux de desserte	82%
Pertes en réseau	25%

II.4 Système actuel d'AEP

Le système d'AEP desservant la région montagneuse de Mechtras est confrontée à de nombreux défis liés à la topographie accidentée, à la dispersion de l'habitat et à la croissance démographique. En effet, les gestionnaires du réseau éprouvent des difficultés à répondre à la demande croissante de la population en raison de la présence des pertes d'eau considérables. Cela est dû aux infrastructures vieillissantes, aux stations de traitement obsolètes, aux réservoirs insuffisants et à un réseau de canalisations présentant d'importantes fuites. Face à cette situation préoccupante, les autorités ont lancé un vaste programme de réhabilitation. Celui-ci implique le remplacement des conduites anciennes par des matériaux durables, la modernisation des stations de traitement, l'installation de systèmes de contrôle automatisés pour détecter les fuites, ainsi que la construction de nouveaux réservoirs. Cette situation critique du réseau d'approvisionnement en eau met en lumière l'ampleur des défis auxquels les gestionnaires sont confrontés pour assurer une distribution fiable et efficace de l'eau à ses habitants. Face à cet état de dégradation avancée, des actions rapides et décisives sont indispensables pour réhabiliter les infrastructures existantes, corriger les dysfonctionnements structurels, et garantir un approvisionnement en eau sécurisé et constant pour l'ensemble de la population locale. Cette approche globale vise à assurer un approvisionnement en eau potable durable et équitable pour les populations de Mechtras, tout en préservant les écosystèmes fragiles de cette région emblématique.

II.4.1 Caractéristiques du réseau d'adduction

Le réseau d'adduction d'eau potable de notre projet est constitué de plusieurs conduites principales, chacune alimentant une région distincte. Les cinq conduites de refoulement sont principalement en acier et PEHD, et varient en diamètre et en longueur. Ces conduites sont alimentées par la station de pompage Thala n Ouguelid, chaque conduite ayant des caractéristiques adaptées à ses besoins spécifiques.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

En plus de ces conduites, une sixième conduite, la Conduite 350, est dédiée à un forage particulier. Cette combinaison de conduites permet une distribution efficace et optimisée de l'eau potable, répondant aux besoins variés des régions desservies.

Le tableau suivant montre les détails des différentes conduites du réseau d'adduction, incluant la nature du matériau, le diamètre nominal, la désignation, la longueur et le type d'écoulement pour chaque conduite.

Tableau II.3: Caractéristiques du réseau d'adduction.

Les conduites d'adduction	Conduite Est					
	Conduite 1	Conduite 2	Conduite 3	Conduite 4	Conduite 5	Conduite 350
Nature de la conduite	ACIER					PEHD
Diamètre nominale (mm)	150					80
Désignation	Source-station de pompage thala n Ouguelid					Forage
Longueur(m)	1162	257	144	449	256	727,46
Écoulement	Refoulement					

Cette figure représente l'itinéraire des différentes conduites d'AEP ainsi que l'emplacement des réservoirs

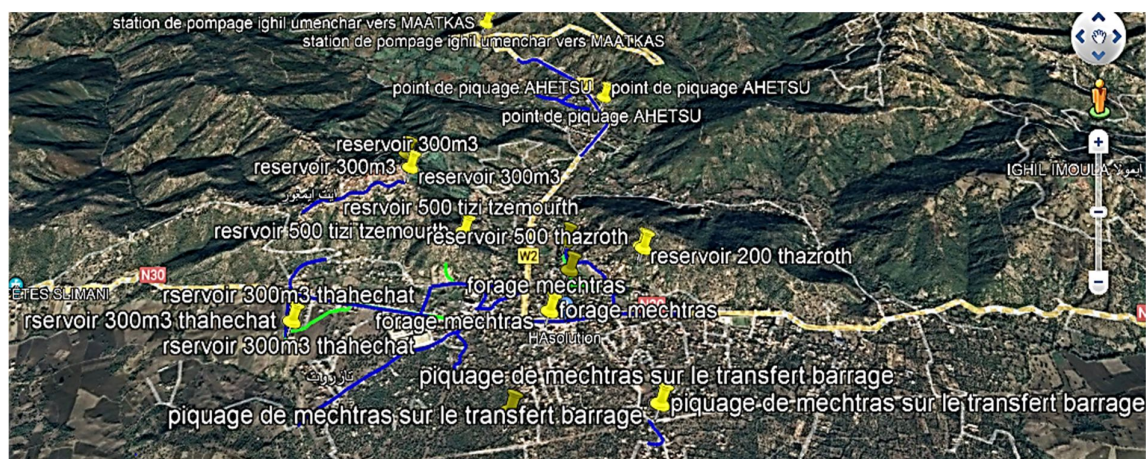


Figure II.4 : l'itinéraire des différentes conduites d'AEP ainsi que l'emplacement des réservoirs [Google Earth pro, 2024].

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

II.4.2 Caractéristiques du réseau de distribution

Le réseau d'adduction d'eau potable de notre projet est constitué de plusieurs chaînes de refoulement et de conduites gravitaires, chacune desservant une localité distincte. Les quatre chaînes de refoulement, composées principalement de conduites en acier et en PEHD, sont approvisionnées par la station de pompage Thala n Ouguelid. En outre, le piquage de Mechtras sur le transfert du barrage fournit une alimentation supplémentaire. Ces conduites, de diamètres et de longueurs variés, sont conçues pour répondre aux besoins spécifiques de chaque village, assurant ainsi une distribution fiable et de qualité de l'eau potable. Les tableaux suivants illustrent la diversité et la spécificité des conduites utilisées dans notre réseau d'adduction.

Tableau II.4: Caractéristiques des conduites de chaîne de Thahechat.

Chaîne de refoulement	Désignation	Nature	Diamètre (mm)	Longueur	Écoulement
Thahechat	Route national 30	Acier	80	840	Refoulement
	Collège	Acier	80	711	Refoulement

Tableau II.5 : Caractéristiques des conduites de chaîne de Tizi-tzemourth.

Chaîne de refoulement	Désignation	Nature	Diamètre	Longueur	Écoulement
Tizi tzemourth	Ath ali aissa	Acier	150	449	Refoulement
	Igran guili	Acier	150	204	Refoulement
	ikharban	Acier	150	176	Refoulement
	Cite pascale	Acier	80	1124	Refoulement
	Igran guili	Galvaniser	50/60	324	Refoulement

Tableau II.6: Caractéristiques des conduites de chaîne de tazrots 500.

Chaîne de refoulement	Désignation	Nature	Diamètre	Longueur	Écoulement
Tazrots 500	thighilt	Acier	150	629	Refoulement
	Nouveau réseaux	Acier	150	154	Refoulement
	Route national 30	Acier	100	933	Refoulement

Tableau II.7: Caractéristiques des conduites de chaîne d'ath imghor.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

Chaîne de refoulement	Désignation	Nature	Diamètre	Longueur	Ecoulement
Ath imghor	Ath imghor	Acier	150	733	Refoulement

Tableau II.8: Caractéristiques des conduites de chaîne de piquage bouira.

Conduite gravitaire	Désignation	Nature	Diamètre	Longueur	Écoulement
	Ben dahmane	Acier	80	237	Gravitaire
Piquage de Mechtras sur le transfert barrage	Ahetsu 1	Acier	80	597	Gravitaire
	Ahetsu 2	Acier	80	918	Gravitaire
	Ahetsu 1	Galvaniser	50/60	423	Gravitaire
	Ahetsu 2	Galvaniser	50/60	234	Gravitaire

II.5 Méthodologie de priorisation

La méthodologie adoptée pour la priorisation de la réhabilitation des conduites de la région de Mechtras est divisée en deux phases. La première, appelée la phase de collecte de données, est la plus importante. Elle commence par une consultation large avec les parties prenantes et les acteurs liés aux ressources en eaux, tels que les services communaux et Algérienne Des Eaux. Le but de cette phase est de collecter le maximum de données relatives aux caractéristiques du réseau de la région de Mechtras pour identifier les critères pertinents pour la problématique de la réhabilitation.

La deuxième phase, appelée la phase de calcul, consiste à choisir une méthode appropriée pour la priorisation des conduites. Dans cette phase, les critères sélectionnés sont d'abord pondérés, puis les préférences entre les tronçons à réhabiliter sont établies en fonction de ces critères. Enfin, les tronçons sont classés en fonction de leur urgence, du plus urgent au moins urgent

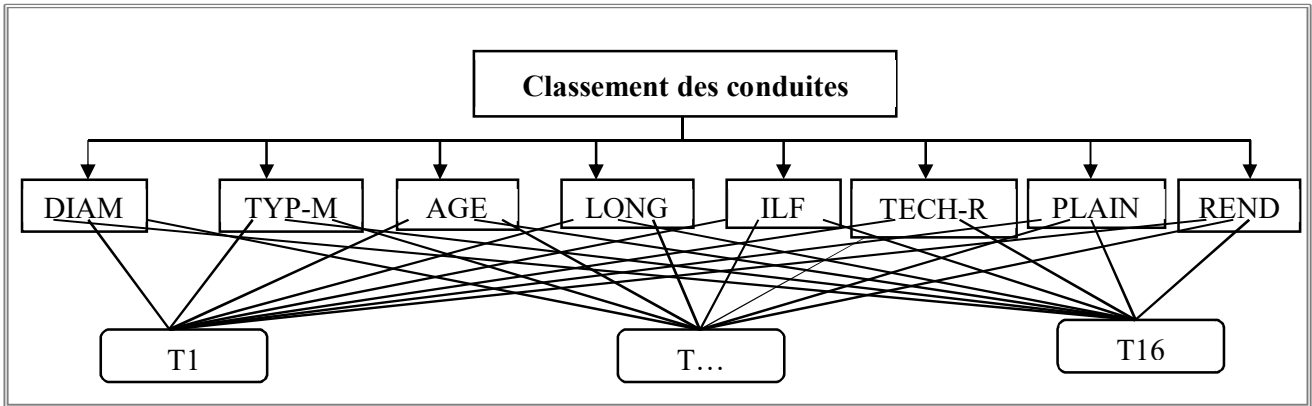


Figure II.4 : La décomposition hiérarchique de L'AHP

II.6 Identification des critères

L'identification des critères propres aux réseaux d'eau potable revêt une importance cruciale dans le processus de réhabilitation de ces infrastructures essentielles. Cette étape fondamentale vise à sélectionner de manière précise les éléments clés qui influent sur la performance et la qualité globale du réseau. Une identification minutieuse de ces critères permettra une évaluation approfondie de l'état actuel du réseau d'eau potable, offrant ainsi des orientations stratégiques pour une réhabilitation efficace et pérenne. Pour notre cas d'étude, nous avons mené plusieurs discussions et débats avec les parties prenantes pour sélectionner les critères et sous-critères pertinents. La sélection de ces éléments doit tenir en compte le contexte local et les données disponibles au niveau de l'ADE de Tizi Ouzou. En effet et comme cité précédemment, 8 critères ont été identifiés :

1. Critère (C1) : Diamètre de la canalisation

Les canalisations d'un réseau d'approvisionnement en eau potable de diamètre plus important sont plus exposées aux processus de détérioration. En raison de leur grande surface en contact avec l'eau et le sol avoisinant, elles sont plus enclines à subir une dégradation accélérée due à la corrosion, l'incrustation ou l'érosion interne. Ce facteur lié au diamètre influence leur durée de vie et doit être pris en considération pour une gestion efficace du remplacement des infrastructures vieillissantes. Selon les données fournies par l'ADE, les diamètres des canalisations disponibles sont les suivants :

- ✓ $D \leq 80$ mm
- ✓ $80 \text{ mm} \leq D \leq 150$ mm

2. Critère (C2) : Type de matériau

Cette information est indispensable au dimensionnement d'un réseau, à l'élaboration d'un projet de travaux ainsi que d'un plan d'actions de lutte contre les fuites. En effet, les matériaux influencent le comportement hydraulique d'un réseau et ne réagissent pas de la même façon aux contraintes extérieures et au vieillissement. Selon les données fournies par l'ADE, les matériaux existants sont Polyéthylène Haute Densité (PEHD), Acier (A), et Galvanisé (GV). Puisque ce critère est qualitatif, nous devons le transformer en une quantité pour la suite du travail. Pour cela, et selon la documentation consultée, l'échelle de 1 à 3 est attribuée et les valeurs suivantes sont affectées :

- Le matériau du type Polyéthylène Haute Densité (PEHD) nécessite moins la réhabilitation, donc, nous allons lui attribuer une valeur de 1 ;
- Le matériau du type Galvanisé (GV) nécessite moyennement la réhabilitation, donc, nous allons lui attribuer une valeur de 2 ;
- Le matériau du type Acier (A) nécessite vraiment la réhabilitation, donc, nous allons lui attribuer une valeur de 3.

3. Critère (C3) : L'âge de la canalisation

La sensibilité à la détérioration des conduites d'alimentation en eau potable est souvent associée à l'écart entre l'année actuelle et l'année centrale de leur installation. En règle générale, les canalisations plus anciennes sont considérées comme plus vulnérables à la détérioration en raison de leur âge. Dans notre cas, notre conduite à un âge de 27 ans

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

4. Critère (C4) : La Longueur des conduites

Le critère est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant une plus grande longueur.

5. Critère (C5) : Indice linéaire des fuites

Le taux de fuite d'une canalisation est déterminé en comptabilisant le nombre de fuites constatées sur une section de longueur déterminée pendant une période de référence donnée (f/km/an). La réhabilitation est basée sur des tronçons ayant plus de fuites.

6. Critère (C6) : Technique de réhabilitation

Les techniques de réhabilitation disponibles varient en fonction des problèmes spécifiques à résoudre et des objectifs à atteindre. Le critère principal repose sur le choix de la technique de réhabilitation nécessitant moins de ressources pour les tronçons concernés. La valeur d'évaluation la plus élevée est attribuée à la conduite prioritaire. La conduite identifiée comme étant la plus critique à réhabiliter est celle nécessitant une technique de réhabilitation nécessitant peu de ressources. Puisque ce critère est qualitatif, nous devons le transformer en une quantité pour la suite du travail. Pour cela, et selon la documentation consultée, l'échelle de 1 à 3 est attribuée et les valeurs suivantes sont affectées :

- Remplacement ne nécessite pas une réhabilitation, donc, nous allons lui attribuer une valeur de 1 ;
- Extension nécessite moyennement la réhabilitation, donc, nous allons lui attribuer une valeur de 2 ;
- Maintenance nécessite vraiment la réhabilitation, donc, nous allons lui attribuer une valeur de 3.

7. Critère (C7) : La plainte des clients et les gênes causées

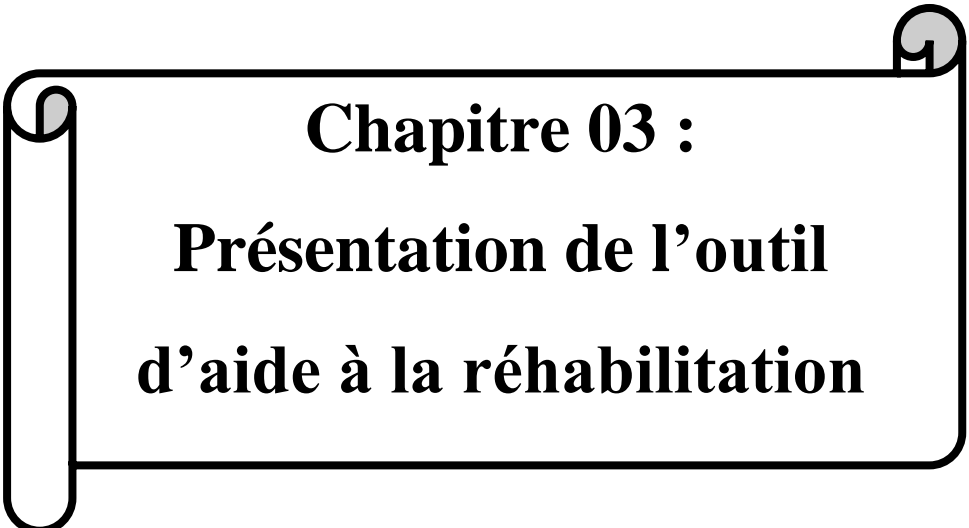
En cas de défaillance des canalisations d'eau potable, les usagers rencontrent divers inconvénients, notamment des problèmes de santé publique, des perturbations de la circulation et des désordres dans la vie quotidienne. Ces problèmes donnent lieu à de nombreuses réclamations.

8. Critère (C8) : Rendement

Il s'agit du rapport entre le volume d'eau comptabilisé par les usagers et le service public et le volume d'eau potable introduit dans le réseau de distribution

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et expliqué la méthodologie suggérée pour construire l'outil d'aide à la réhabilitation des conduites d'AEP. En effet, et pour contrer aux problématiques de faiblesses structurelles et opérationnelles des conduites d'AEP, des mesures de réhabilitation et de modernisation sont indispensables à mettre en œuvre. Par conséquent, il était nécessaire de comprendre le contexte local. Pour cela, nous avons présenté la zone d'étude dans toutes ses dimensions ainsi que l'organisme gestionnaire du réseau d'AEP qui est l'ADE. Cela, nous a permis de sélectionner les critères adéquats à la priorisation des conduites d'AEP.



Chapitre 03 :
Présentation de l’outil
d’aide à la réhabilitation

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

III.1 Introduction

La gestion patrimoniale des réseaux d'AEP nécessite l'application des outils d'aide à la décision. En effet, la littérature consultée met en évidence l'intérêt de combiner des approches multicritères, en s'appuyant sur des données fiables. L'objectif de ces outils est d'optimiser la planification des différentes actions de maintenance et de réhabilitations d'une part. D'autre part, d'appuyer les choix opérationnels des gestionnaires et des décideurs [WANG & al., 2013]. Ce chapitre vise à élaborer un outil d'aide à la décision pour hiérarchiser les interventions de réhabilitation des réseaux d'AEP. En effet, cet outil va se baser sur la combinaison de deux méthodes multicritères : AHP (Analytic Hierarchy Process) pour pondérer les critères, et PROMETHEE II pour classer les tronçons.

Pour cela, nous allons d'abord montrer l'importance des outils d'aide à la décision dans la gestion des réseaux d'eau potable. Par la suite, nous allons définir la méthode AHP et expliquer les principales étapes de son fonctionnement. Après, nous allons présenter le concept de la méthode PROMETHEE II et ses différentes formulations mathématiques. Et nous terminons par la justification du choix de ces méthodes en exposant leurs différents avantages.

III.2 Importance des outils d'aide à la décision dans la réhabilitation des conduites d'AEP.

Les modèles d'aide à la décision pour la réhabilitation des conduites d'eau potable se distinguent par leur caractère complexe et leur niveau avancé de sophistication. Ces outils exploitent des bases de données détaillées et des algorithmes de calcul sophistiqués pour examiner minutieusement les différentes options de réhabilitation, en prenant en considération une variété d'aspects essentiels [LIRATNI, 2011] :

- Évaluation économique des coûts directs de la maintenance, du renouvellement des conduites, des pertes d'eau, ainsi que les coûts indirects liés la gêne occasionnée et dégâts en cas de défaillances ou travaux de renouvellement ;
- Étude du phénomène de vieillissement des conduites à l'aide de modèles statistique de défaillance ;
- Évaluation technique du fonctionnement hydraulique du réseau à l'aide des modèles hydrauliques ;
- Évaluation des scénarios de politique de renouvellement à long terme et estimation des enveloppes budgétaire requises.

L'utilisation efficace de ces modèles nécessite une quantité substantielle de données. La disponibilité et la qualité de ces données influent sur le choix approprié de l'approche à adopter.

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

En effet, l'absence de certaines informations peut orienter vers une méthodologie différente. Ainsi, il est crucial de collecter, mettre à jour et analyser régulièrement ces données dans le cadre du système d'information du service de l'eau.

Pour cela, la conception d'un outil d'aide à la décision pour déterminer les priorités et planifier les travaux sur une période pluriannuelle doit garantir une séquence d'interventions optimale [LIRATNI, 2011]. Cela implique l'identification précise des conduites nécessitant des travaux, la définition des types d'interventions requises, tout en prenant en compte les contraintes liées à la disponibilité des ressources financières et aux exigences techniques du réseau sur un horizon de planification préétabli.

IL convient de proposer donc une démarche adaptée à la réalité du terrain pour la détermination d'un ensemble de solutions fiables, parmi lesquelles le gestionnaire du réseau d'eau peut choisir une politique de réhabilitation adaptée au contexte local.

Nous distinguons essentiellement trois types d'approche d'aide à la décision pour la réhabilitation des conduites :

- 1) Les approches pour la hiérarchisation des conduites permettant d'identifier les conduites prioritaires nécessitant un renouvellement ;
- 2) Les approches pour la détermination des échéances de renouvellement pour chaque conduite ;
- 3) Les modèles d'aide à la décision pour l'établissement des programmes de renouvellement ;

III.3 Méthode AHP

La méthode d'analyse hiérarchique des processus (AHP), introduite dans les années 1970 par Thomas Saaty, est largement utilisée à l'échelle mondiale pour une grande variété de prises de décision [BOUKENKEN & RIANE, 2018] Parmi les domaines d'utilisation, nous retrouvons : le domaine des affaires, de l'industrie, de la santé, de la construction navale ou de l'éducation.

Cette méthode permet de prendre des décisions en tenant compte de tous les facteurs évalués ensemble. Elle prend en considération plusieurs critères afin de prendre la meilleure décision. De plus, elle permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique, dans lequel sont établies des combinaisons binaires à chacun des niveaux de la hiérarchie.

La structure dit hiérarchique est la suivante : le but, puis les critères d'atteinte du but, puis les alternatives possibles pour chaque critère. L'AHP cherche à trouver la meilleure alternative en équilibrant de manière appropriée les compromis entre les différents critères.

III.3.1 Fonctionnement de l'AHP

L'approche hiérarchique AHP divise le processus de décision en une structure en forme de pyramide, avec le sujet de décision en haut, suivie des niveaux de critères, de sous-critères, et en fin de compte des alternatives. Elle permet ainsi une analyse structurée et pondérée des différentes options disponibles.

L'AHP génère un poids pour chaque critère d'évaluation selon les comparaisons deux-a-deux du décideur des critères. Plus est grand le poids, le plus important est le critère correspondant. Ensuite, pour un critère fixe, l'AHP attribue un score à chaque alternative en fonction de comparaisons deux-deux du décideur des alternatives fondées sur ce critère.

Plus le score est élevé, meilleure est la performance de l'alternative par rapport au critère considéré. Enfin, l'AHP combine les poids de critères et les scores des alternatives, déterminant ainsi un score global pour chaque option, et un classement qui en résulte. Le score global pour une option donnée est une somme pondérée des scores qu'il a obtenus à l'égard de tous les critères. La figure ci-après représente la décomposition hiérarchique de l'AHP. [KESSILI, 2016].

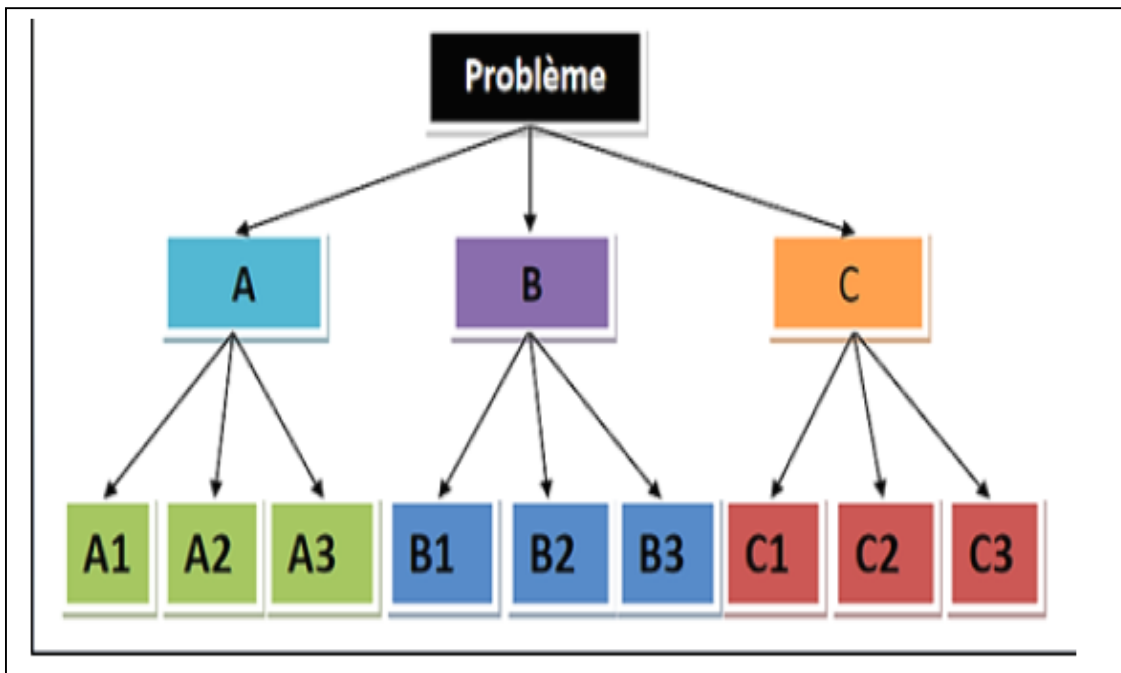


Figure III.1 : Exemple de décomposition hiérarchique de trois niveaux.

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

III.3.2 Description et Formulation mathématique de la méthode AHP

Une fois que la structure hiérarchique est construite, un ensemble d'étapes doivent être suivies pour déterminer le poids de chaque critère déjà choisi. Les différentes formules mathématiques utilisées sont décrites dans les sections suivantes.

III.3.2.1 Matrice de comparaison

Lorsque la problématique est structurée de manière hiérarchique, l'utilisation d'une matrice de comparaison devient cruciale pour évaluer la pertinence relative des critères par rapport à l'objectif central défini au sommet de la hiérarchie. Cette matrice, présentée sous forme carrée et réciproque de dimension ($n \times n$) où n représente le nombre de critères, permet de scruter les paires de critères en se demandant : dans quelle mesure l'un des critères surpasse-t-il en termes d'avantage, d'influence, de satisfaction, de contribution ou de bénéfice par rapport à l'autre ?

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

$$\text{Si : } (i = j) \quad (a_{ij} = 1) \quad \text{avec } (i, j) = (1, \dots, n) \quad \mathbf{(1)}$$

Les positions de transposition de la matrice sont calculées selon le principe de réciprocité :

$$\text{Si : } (i \neq j) \quad (a_{ji} = 1/a_{ij}) \quad \text{avec } (i, j) = (1, \dots, n) \quad \mathbf{(2)}$$

L'utilisation de valeurs réciproques pour les positions de transition permet de réduire le nombre de comparaisons à : $[n \times (n-1) / 2]$.

Pour évaluer des critères intangibles ou non quantifiables, Saaty (1980) a introduit une échelle de pondération pour comparer leur importance relative. Cette échelle utilise des chiffres pour exprimer l'importance d'un critère par rapport à un autre en fonction de leur priorité.

Le tableau suivant représente l'échelle de mesure de pondération pour les critères intangibles de la méthode AHP de Saaty. [SAATY, 1994]

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

Tableau III.1: Échelle de comparaison.

Valeur numérique	Échelle sémantique	Description
1	Importance égale des deux Critères	Les deux critères contribuent autant au critère père
3	Faible importance d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un critère par rapport à un autre
5	Importance forte ou déterminante d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisant fortement un critère par rapport à un autre
7	Importance attestée d'un critère par rapport à un autre	Un critère est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Importance absolue d'un critère par rapport à un autre	Les preuves favorisant un critère par rapport à un autre est aussi convaincantes que possible

En utilisant l'échelle de comparaison de Saaty, la matrice de comparaison entre les critères, s'écrit sous la forme suivante

$$A = [a_{ij}] = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{2n} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1 \end{vmatrix} \quad (01)$$

III.3.2.2 Détermination des poids des critères

Dans cette phase, il est essentiel de normaliser les colonnes de la matrice de comparaison. Chaque colonne doit avoir une somme totale égale à 1. Ensuite, il convient de calculer la somme des éléments de chaque ligne. Les poids des critères sont ensuite déterminés à partir de la matrice de comparaison A en suivant les étapes ci-après :

- ✓ Additionner les valeurs de chaque ligne de la matrice de comparaison A.

$$s_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (02)$$

- ✓ Calculer la somme totale des valeurs obtenues dans la 1ere étape :

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

$$\text{Somme totale} = \sum_{i=1}^n s_i \quad (03)$$

✓ Le poids de chaque critère est obtenu par la relation suivante :

$$w_i = \frac{s_i}{\text{somme totale}} \quad (04)$$

III.3.2.3 Cohérence des jugements

L'évaluation de la cohérence des jugements implique de comparer nos évaluations avec la pondération aléatoire des critères. Conformément à Saaty (1982), le ratio de cohérence (RC) est un indicateur mathématique permettant de mesurer la cohérence des jugements par rapport à des jugements aléatoires. Bien qu'il soit difficile d'atteindre une cohérence parfaite en toutes circonstances, un certain niveau de cohérence est nécessaire. Une appréciation est considérée comme cohérente lorsque le ratio de cohérence est inférieur ou égal à 0.1

Pour cela, Saaty a élaboré une échelle où les indices aléatoires (RI) représentent la moyenne des indices calculés à chaque itération pour différente grandeur de matrice carrée (A). Le tableau suivant présente les valeurs de RI :

Tableau III.2: Valeurs du coefficient RI [IGROUFA & al., 2020]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0.00	0.00	0.52	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

Si le ratio de cohérence RC est inférieur à 0.10, nous acceptons la matrice de comparaison, sinon, il faut revoir les jugements.

Pour vérifier la cohérence de jugement d'une matrice binaire de comparaison, les étapes suivantes doivent être suivies :

- ✓ Multiplier chaque colonne de la matrice binaire initiale (A) par son poids respectif du vecteur de priorité trouvé ;
- ✓ Additionner les lignes de cette nouvelle matrice qui nous donnera une vectrice colonne ;
- ✓ Chercher la valeur propre maximale de la matrice λ_{max} qui est la sommation de produit entre chaque éléments de vecteur poids avec la somme des colonnes de la matrice A.
- ✓ Calculer l'indice de cohérence (IC) de la matrice par la relation suivante :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (05)$$

D'où (n) : est le nombre de critères en comparaison

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

✓ Calculer le ratio de cohérence (**RC**) par l'équation :

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (06)$$

III.4 Méthode PROMETHEE

III.4.1 Définition

La méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation) est classée parmi les méthodes les plus utilisées de surclassement. Elle a été introduite pour la première fois par Jean Pierre Brans en 1982. Son objectif principal est de générer un classement des alternatives, du plus favorable au moins favorable en se basant sur un système de préférences. [BOUKENKEN & RIANE, 2018]

D'après **HYDE & al., (2003)**, le processus de la méthode PROMETHEE suit généralement les étapes suivantes :

- Identification des parties prenantes impliquées dans le processus de décision ;
- Définition des critères à considérer ;
- Formulation des différentes alternatives possibles ;
- Attribution des poids aux critères ;
- Evaluation des alternatives selon les critères établis ;
- Sélection des critères pertinents en fonction des préférences du décideur pour chaque critère ;
- Application de la méthode PROMETHEE.

III.4.2 Concept de la méthode

Le concept de la méthode s'applique selon un processus qui comprend trois étapes :

- Comparaison par paires des alternatives en utilisant les variables pour établir un indice de préférence global ;
- Calcul des flux de classement en vue de créer un ordre sur les mesures ;
- Rangement des alternatives en fonction des flux de classement.

La méthode PROMETHEE a donné lieu à plusieurs généralisations et selon le problème de décision rencontré, nous pouvons recourir à PROMETHEE I, II, III, IV, V ou PROMETHEE TRI. En effet, nous distinguons six variantes de PROMETHEE (voir tableau III.3).

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

Tableau III.3: Différentes variantes de PROMETHEE.

Méthodes	Caractéristiques
PROMETHEE I	Rangement partiel des actions de manière naturelle, où certaines actions sont incomparables (pré ordre partiel)
PROMETHEE II	Le résultat attendu sera un classement strict de toutes les actions, du plus préféré au moins préféré, sans aucune incomparabilité entre elles, formant ainsi un préordre complet.
PROMETHEE III	Extension de PROMETHEE II où la notion d'indifférence est amplifiée (ordre intervalle)
PROMETHEE IV	Classement des actions entre pré ordre partiel et pré ordre complet (l'ensemble des solutions admissibles est forme un spectre continu)
PROMETHEE V	Choix multicritères avec contraintes de segmentation
PROMETHEE TRI	Représentation cérébrale humaine. Nous avons deux extensions de PROMETHEE TRI pour les problèmes de tri et PROMETHEE CLAUSTER pour la classification nominale

III.4.3 Formulation mathématique de PROMETHEE II

Pour trouver les solutions idéales de la méthode PROMETEE II, il faut appliquer l'algorithme suivant au problème :

Soit $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ l'ensemble de (n) alternatives et $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ l'ensemble des m critères. Les données de la matrice des m critères selon les n différentes alternatives avec un poids W_i pour chaque critère selon leur importance sont représentées sous la forme d'un tableau contenant $[n \times m]$ évaluations. Chaque ligne correspond à une alternative et chaque colonne à un critère. [BOUKENKEN & RIANE, 2018]

Tableau III.4: La matrice multicritère de PROMETHEE.

	$f_1(.)$	$f_2(.)$...	$f_m(.)$
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$...	$f_m(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$...	$f_m(a_2)$
...
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$...	$f_m(a_n)$

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

III.4.4 Fonction de préférence PROMETHEE II

La comparaison entre toutes les alternatives pour chaque critère est présentée par la relation suivante :

$$D_m(a_i, a_j) = f_m(a_i) - f_m(a_j) \quad (01)$$

Avec : $D_m(a_i, a_j)$ est la différence entre les évaluations de deux alternatives pour le critère f_m .

La fonction de préférence est introduite pour traduire la différence entre deux alternatives (a_i) et (a_j) pour chaque critère m à un degré de préférence rangé entre (0) et (1).

$$P_m(a_i, a_j) = f_i [C_i(a_i) - C_i(a_j)]$$

$$\text{Et : } [0 \leq P_i(a, b) \leq 1] \quad (02)$$

Avec : $P_m(a_i, a_j)$ est la fonction de préférence, (F_m) est une fonction de préférence positive non décroissante. Six différents types de fonction de préférence sont proposés dans la définition originale de PROMETHEE.

A) Fonction usuelle.

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{si } d_j \leq 0 \\ 1 & \text{si } d_j > 0 \end{cases} \quad (03)$$

B) Fonction en U :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{si } d_j \leq q_j \\ 1 & \text{si } d_j > q_j \end{cases} \quad (04)$$

Avec : (d_j) le seuil de l'indifférence

C) Fonction en V :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{p_j} & \text{si } d_j \leq p_j \\ 1 & \text{si } d_j > p_j \end{cases} \quad (05)$$

Avec : (p_j) le seuil de préférence

D) Fonction palier

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{si } d_j \leq q_j \\ \frac{1}{2} & \text{si } d_j \leq q_j \\ 1 & \text{si } d_j \leq q_j \end{cases} \quad (06)$$

E) Fonction linéaire :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{si } d_j \leq q_j \\ \frac{q_j - q_j}{p_j - q_j} & \text{si } q_j < d_j \leq p_j \\ 1 & \text{si } d_j > p_j \end{cases} \quad (07)$$

F) Fonction Gaussienne :

$$P_j(d_j) = 1 - e^{-\frac{d_j^2}{2s_j^2}} \quad (08)$$

III.4.5 Degré de préférence PROMETHEE

Après avoir associé une fonction de préférence à chaque critère selon les choix du décideur, un degré de préférence est calculé pour comparer de manière globale chaque paire d'alternatives. Ce degré de préférence est exprimé par la relation suivante :

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n P_i(a, b) w_i \quad (09)$$

D'où : (**W_i**) représente le poids du critère **F_m** (l'importance du critère en pourcentage, proche de **1** si très important, proche de **0** si très peu significatif).

Flux de préférence :

Pour positionner chaque alternative « a » par rapport à toutes les autres alternatives, deux grandeurs sont calculées, à savoir :

a) Flux positif de préférence :

Le flux positif de préférence [$\Phi^+(a)$] est appelé aussi le flux de sortie de l'alternative « a ».

Le flux de sortie est en quelque sorte la confiance que l'on a dans le fait que l'alternative « a » est globalement préférée à toutes les autres alternatives. Le flux positif est présenté par la relation suivante

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (10)$$

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

b) Flux négatif de préférence :

Le flux négatif de préférence Φ^- (a) est appelé aussi le flux entrant de l'alternative « a ». Ce flux entrant quantifie la manière dont une alternative « a » a été globalement préférée par rapport à toutes les autres alternatives. Le flux négatif est présenté par la relation suivante :

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (11)$$

c) Flux net de préférence :

Le flux net de l'alternative « a » est le bilan des flux entrants et sortants. Il s'exprime par :

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (12)$$

III.4.6 Le classement PROMETHEE II

Dans le cadre de notre étude pour améliorer l'approvisionnement en eau potable à Mechtras, nous avons évalué différentes actions possibles de réhabilitation du réseau de conduites d'eau. Pour établir une hiérarchie globale des actions à entreprendre, nous avons utilisé la méthode du flux net, qui consiste à soustraire les coûts de chaque action à sa valeur potentielle. Ainsi, les actions ayant un flux net positif sont considérées comme plus avantageuses que celles ayant un flux net négatif.

Dans notre recherche, nous nous sommes principalement concentrés sur le classement des actions de réhabilitation progressive des conduites d'eau potable à Mechtras, en les ordonnant par ordre d'urgence, de la plus critique à la moins critique. Cette approche basée sur le flux net nous a permis de prioriser les actions les plus efficaces et les plus nécessaires pour garantir un approvisionnement en eau potable fiable et durable

III.5 Justification du choix des deux méthodes AHP_PROMETHEEII

Notre projet vise à créer un outil d'aide à la décision pour la priorisation de la réhabilitation du réseau d'eau potable. Notre choix de combiner les méthodes multicritères AHP et PROMETHEE est justifié par les avantages spécifiques offerts par chacune des méthodes, garantissant ainsi une prise de décision éclairée et rigoureuse.

III.5.1 Avantages des deux méthodes

La méthode PROMETHEE est parmi les méthodes les plus utilisées dans la catégorie des méthodes de sur classement. Ceci est dû à un certain nombre d'avantages offerts par cette méthode. De même, la méthode de pondération AHP est très répandue grâce à sa capacité de structurer un problème complexe et multicritère. Le tableau suivant présente les principaux avantages des deux méthodes :

Chapitre 03 : Présentation de l'outil d'aide à la réhabilitation

Tableau III.5: Avantages des deux méthodes AHP et PROMETHEE.

Avantages de AHP	Avantages de PROMETHEE
Elle vérifie la cohérence des relations d'importance entre les critères	Elle intègre de manière ingénieuse six fonctions de préférence distinctes dans un seul processus, ce qui constitue une extension formalisée des critères
Elle permet d'utiliser des unités de mesure qualitatives et quantitatives, en se basant sur des valeurs relatives ou absolues pour établir des priorités	Elle parvient à simplifier l'intégration des développements récents en modélisant des préférences de manière accessible
Elle permet de structurer les éléments d'un système en différents niveaux et groupes grâce à son cadre hiérarchique. Elle permet aussi d'ajouter ou de retirer des critères en fonction des besoins de l'évaluation	Elle structure la fonction de préférence de manière systématique. Le choix parmi six formes de fonctions offre au décideur un sentiment de sécurité dans sa prise de décision
Les critères peuvent être pondérés de manière variable pour refléter leur importance respective dans le processus de décision	Sa facilité d'utilisation positionne PROMETHEE comme un outil efficace pour le classement des actions potentielles.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé l'outil d'aide à la réhabilitation des conduites d'AEP. Cet outil est basé sur la combinaison de deux méthodes de pondération et de classement.

La première méthode de pondération choisie est la méthode AHP qui permet de calculer le poids des critères sélectionnés. Le choix de cette méthode est motivé par sa capacité de vérifier les jugements émis par les décideurs.

La deuxième méthode de classement choisie est la méthode PROMETHEE II. Cette dernière permet de classer la réhabilitation des conduites du réseau d'eau potable des plus urgentes aux moins urgentes.

Cette approche holistique qui consiste à l'utilisation des deux méthodes offre une solution complète pour une prise de décision éclairée dans la gestion et la réhabilitation du réseau d'eau potable. Cela va nous permettre dans le prochain chapitre de faire une démonstration sur un cas réel.



Chapitre 04 :
Implémentation du modèle

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons particulièrement à l'implémentation du modèle proposé pour prioriser les conduites d'AEP de la ville de Mechtras. Pour cela, un ensemble de 16 tronçons qui composent le réseau de distribution ont été choisi pour bien illustrer l'outil méthodologique. Cette implémentation comprend l'application de deux méthodes majeures, à savoir la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) et la méthode PROMETHEE II. La première méthode sert à pondérer les critères déjà choisis. La deuxième méthode sert à classer les tronçons à réhabiliter du plus urgent au moins urgent.

Pour cela, nous allons présenter les résultats obtenus par la méthode AHP en exposant toutes les étapes qui permettent de trouver le poids des critères. Par la suite, nous allons classer les 16 tronçons par ordre décroissant en utilisant la méthode PROMETHEE II. Les résultats obtenus par chacune des deux méthodes seront présentés et analysés en détail.

IV.2 Application de la méthode AHP

L'application de la méthode AHP dans ce projet de recherche permettra de déterminer l'importance d'un critère par rapport à un autre. Dans ce suit, nous allons exposer les étapes nécessaires pour calculer le poids de chacun des critères.

IV.2.1 Construction de la matrice de comparaison

Dans le but d'affecter une pondération à chaque critère, nous allons utiliser l'échelle de SAATY. Les comparaisons établies dans le tableau IV.1 sont effectuées selon le jugement des experts d'ADE de l'unité de Tizi Ouzou. La hiérarchisation des critères de cette matrice a été établie en fonction du critère le plus important au critère le moins important.

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

	DIAM	TYP_M	AGE	LONG	ILF	TECH_R	PLAINTE	REND
DIAM	1	2	1/3	3	1/3	2	1/3	1/3
TYP_M	1/2	1	1/2	4	1/6	5	1/4	1/3
AGE	3	2	1	3	1/3	4	1/2	1/2
LONG	1/3	1/4	1/3	1	1/4	2	1/5	1/3
ILF	3	6	3	4	1	7	1/4	3
TECH_R	1/2	1/5	1/4	1/2	1/7	1	1/6	1/2
PLAINTE	3	4	2	5	4	6	1	3
REND	3	3	2	3	1/3	2	1/3	1

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

IV.2.2 Détermination des poids des critères

Pour déterminer le poids de chaque critère, nous allons utiliser le concept du vecteur propre (ce qui est déjà expliqué dans le chapitre précédent). Ce dernier nécessite la normalisation de la matrice de comparaison 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.

1	2	0,33	3	0,33	2	0,33	0,33
0,5	1	0,5	4	0,17	5	0,25	0,33
3	2	1	3	0,33	4	0,5	0,5
0,33	0,25	0,33	1	0,25	2	0,5	0,33
3	6	3	4	1	7	0,25	3
0,5	0,2	0,25	0,5	0,14	1	0,17	0,5
3	4	2	5	4	6	1	3
3	3	2	3	0,33	2	0,33	1
14,33	18,45	9,41	23,5	6,55	29	3,33	8,99

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.

0,069	0,108	0,035	0,128	0,05	0,069	0,099	0,037
0,035	0,054	0,053	0,17	0,026	0,172	0,075	0,037
0,209	0,108	0,106	0,128	0,05	0,138	0,150	0,056
0,023	0,014	0,035	0,043	0,038	0,069	0,150	0,037
0,209	0,325	0,319	0,17	0,153	0,241	0,075	0,334
0,035	0,011	0,027	0,021	0,021	0,034	0,051	0,056
0,209	0,217	0,213	0,213	0,611	0,207	0,3	0,334
0,209	0,163	0,213	0,128	0,05	0,069	0,099	0,111

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.

								Poids
0,069	0,108	0,035	0,128	0,05	0,069	0,099	0,037	0,074
0,035	0,054	0,053	0,17	0,026	0,172	0,075	0,037	0,078
0,209	0,108	0,106	0,128	0,05	0,138	0,15	0,056	0,118
0,023	0,014	0,035	0,043	0,038	0,069	0,15	0,037	0,051
0,209	0,325	0,319	0,17	0,153	0,241	0,075	0,334	0,228
0,035	0,011	0,027	0,021	0,021	0,034	0,051	0,056	0,032
0,209	0,217	0,213	0,213	0,611	0,207	0,3	0,334	0,288
0,209	0,163	0,213	0,128	0,05	0,069	0,099	0,111	0,130

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

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

Le calcul de la valeur propre λ_{\max} va nous servir pour la vérification des jugements. Son calcul nécessite le passage par les étapes suivantes :

1. Nous débutons par la matrice qui montre la comparaison de jugement et le vecteur de priorité qui est le poids (voir tableau IV.5).

Tableau IV.5 : Matrice du vecteur priorité.

								Vecteur priorité
1	2	1/3	3	1/3	2	1/3	1/3	0,074
1/2	1	1/2	4	1/6	5	1/4	1/3	0,078
3	2	1	3	1/3	4	1/2	1/2	0,118
1/3	1/4	1/3	1	1/4	2	1/5	1/3	0,051
3	6	3	4	1	7	1/4	3	0,228
1/2	1/5	1/4	1/2	1/7	1	1/6	1/2	0,032
3	4	2	5	4	6	1	3	0,288
3	3	2	3	1/3	2	1/3	1	0,130

2. Nous utilisons le vecteur prioritaire comme facteurs (poids) pour chaque colonne (voir tableau IV.6).

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

0,074	0,078	0,118	0,051	0,228	0,032	0,288	0,130
1	2	1/3	3	1/3	2	1/3	1/3
1/2	1	1/2	4	1/6	5	1/4	1/3
3	2	1	3	1/3	4	1/2	1/2
1/3	1/4	1/3	1	1/4	2	1/5	1/3
3	6	3	4	1	7	1/4	3
1/2	1/5	1/4	1/2	1/7	1	1/6	1/2
3	4	2	5	4	6	1	3
3	3	2	3	1/3	2	1/3	1

3. Nous multiplions chaque valeur dans la première colonne de la matrice de comparaison par le vecteur de priorité (tableau IV.7).

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

Tableau IV.7 : Calcul des colonnes pondérées.

0,07	0,16	0,04	0,15	0,08	0,06	0,10	0,04
0,04	0,08	0,06	0,20	0,04	0,16	0,07	0,04
0,22	0,16	0,12	0,15	0,08	0,13	0,14	0,07
0,02	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04
0,22	0,47	0,35	0,20	0,23	0,22	0,07	0,39
0,04	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07
0,22	0,31	0,24	0,24	0,91	0,19	0,29	0,39
0,22	0,23	0,24	0,15	0,08	0,06	0,10	0,13

4. Nous Additionnons par la suite les valeurs de chaque ligne pour obtenir un ensemble de valeurs appelées somme pondérées comme indiqué dans le (voir tableau IV.8).

Tableau IV.8 : Matrice de la somme pondérée.

								Somme pondérée
0,07	0,16	0,04	0,15	0,08	0,06	0,10	0,04	0,70
0,04	0,08	0,06	0,20	0,04	0,16	0,07	0,04	0,69
0,22	0,16	0,12	0,15	0,08	0,13	0,14	0,07	1,06
0,02	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,35
0,22	0,47	0,35	0,20	0,23	0,22	0,07	0,39	2,15
0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,05	0,07	0,28
0,22	0,31	0,24	0,25	0,91	0,19	0,29	0,39	2,80
0,22	0,23	0,24	0,15	0,08	0,06	0,10	0,13	1,21

5. Nous divisons les éléments du vecteur de la somme pondérée par le vecteur de priorité comme indiqué dans le tableau IV.9

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

Somme pondérée		Vecteur de priorité	=	Résultat
0,70		0,074		9,459
0,69		0,078		8,846
1,06		0,118		8,983
0,35	/	0,051	=	6,863
2,15		0,228		7,465
0,28		0,032		8,75
2,80		0,288		9,722
1,21		0,130		9,308

La moyenne des résultats est appelée « valeur propre λ_{\max} ».

$$\lambda_{\max} = (9,459+8,846+8,983+6,863+7,465+8,75+9,722+9,308)/8 = 8,6745$$

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

IV.2.4 Etude de la cohérence des jugements

Pour la vérification de la cohérence des jugements, nous devons calculer d'abord l'indice de cohérence (CI). Sa formule est : $C_i = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$

Où :

λ_{max} : valeur propre maximale calculée précédemment ;

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

La valeur de l'indice de cohérence est : $C_i = \frac{\lambda_{max}-1}{n-1} = \frac{8,6745-8}{8-1} = 0,09$

Ensuite, nous calculons le ratio de cohérence (RC). Il est défini par la formule : $RC = \frac{CI}{RI}$

Selon le tableau présenté dans le chapitre précédent, lorsque le nombre de critères est égal à 8, la valeur du RI est égale à 1.41. Par conséquent, la valeur du ratio de cohérence est :

$$RC = \frac{0,09}{1,41} = 0,0064$$

Nous constatons que la valeur de CR est inférieure à 0.1. Alors notre matrice de jugement est raisonnablement cohérente.

La variation du poids des différents critères est représentée dans la figure IV.1

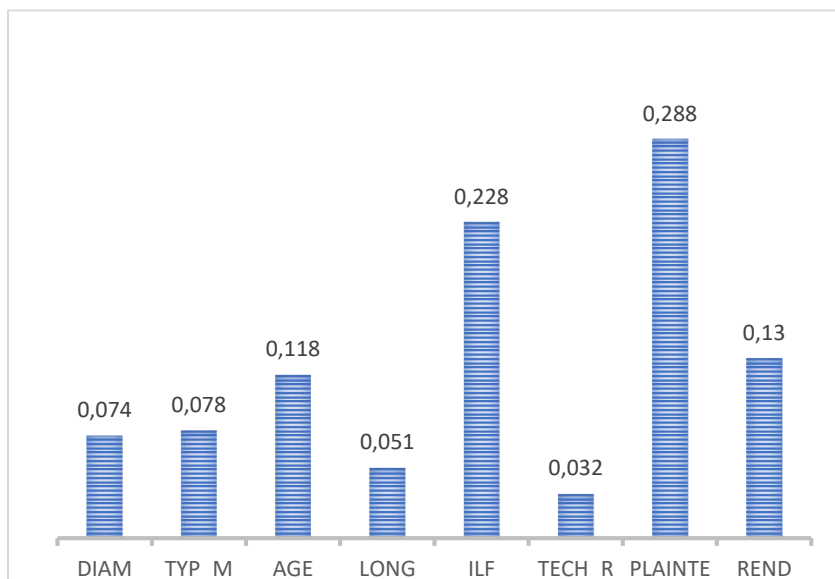


Figure IV.1 : Variation du poids des différents critères.

Ce graphique met en évidence les priorités dans la gestion et la réhabilitation des réseaux d'AEP. Les critères de plaintes des usagers et d'indice linéaire de fuite sont les plus critiques et nécessitent une attention immédiate. L'âge et le rendement des conduites sont également importants, tandis que le diamètre, le type de matériau, et la longueur jouent un rôle modéré. La technique de réhabilitation, bien que nécessaire, est actuellement le critère le moins influent.

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

Cette analyse aide à orienter les efforts et les ressources vers les aspects les plus impactant pour améliorer l'efficacité de la gestion et de la réhabilitation des conduites d'AEP.

IV.3 Calcul de l'ordre complet de la priorisation dans la réhabilitation des (16) tronçons en utilisant PROMETHEE II

La deuxième partie du modèle proposé est la méthode PROMETHEE II. Cette partie consiste à classer les 16 tronçons (conduites) du réseau de distribution de la ville de **Mechtras** par ordre décroissant (du plus urgent à réhabiliter au moins urgent) avec la considération des valeurs des poids des critères obtenu dans la première partie. Il y'a lieu de préciser que certains critères ont une structure quantitative (AGE, DIA ...), tandis que d'autres ont une structure qualitative. (TECH-R, MAT ...) Le tableau IV.10 présente les données recueillis des 16 tronçons par rapport aux critères sélectionnés.

IV.3.1 Choix de la fonction de préférence et seuil d'indifférence et de préférence

Dans notre cas d'étude, nous avons choisi la fonction de préférence usuelle (usual function) pour sa simplicité. Cette fonction traduit la différence entre les évaluations obtenues par deux conduites, par exemple (T3 et T4), en termes d'un critère particulier, avec des valeurs variantes.

La fonction de préférence usuelle (P_i) fonctionne de la manière suivante :

- Si deux conduites présentent une différence positive ($d > 0$) dans le critère C_i , alors une valeur de préférence $P_i = d$ sera attribuée à la meilleure conduite.
- Si deux conduites présentent une différence négative ($d < 0$) dans le critère C_i , alors la valeur négative est remplacée par 0, ce qui signifie que la conduite moins performante reçoit une valeur de 0.
- Si deux conduites ont une différence de zéro ($d = 0$) dans le critère C_i , elles sont considérées comme indifférentes, et une valeur de 0 est attribuée à chacune.

Exemple :

Pour le critère diamètre (DIAM) :

- Si $DIAM(T3) = 0,334$ et $DIAM(T4) = 0,735$, alors :
 - $DIAM(T3, T4) = DIAM(T3) - DIAM(T4) = 0,334 - 0,735 = -0,401$
 - La valeur attribuée pour $P_{DIAM}(T3, T4)$ est 0
 - La valeur attribuée pour $P_{DIAM}(T4, T3)$ est 0,401
- Si $TYP_M(T1) = 0,004$ et $TYP_M(T2) = 0,004$, alors :
 - $TYP_M(T1, T2) = TYP_M(T1) - TYP_M(T2) = 0$
 - La valeur attribuée pour $PTYP_M(T1, T2)$ est 0
 - La valeur attribuée pour $PTYP_M(T2, T1)$ est 0

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

Tableau IV.10 : Synthèses des différentes données des (16) tronçons

Critères	Unité	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
DIAM	mm	80	80	150	150	150	80	50/60	150	150	150	150	80	80	80	50/60	50/60
TYP-M		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AGE	Année	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
LONG	m	840	711	449	204	176	1124	324	629	154	933	733	237	597	918	423	234
ILF	f/km/an	0,028	0,033	0,052	0,114	0,132	0,021	0,072	0,037	0,151	0,025	0,032	0,098	0,039	0,025	0,055	0,099
TECH-R		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PLAINTE	Nbr	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26
REND	%	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Après avoir collecté les données pour chaque tronçon, nous éliminons les valeurs maximale et minimale de chaque conduite. Par exemple, pour le tronçon T1, la valeur maximale est 840 et la valeur minimale est 0,028. Nous calculons la différence entre ces valeurs :

$$840 - 0,028 = 839,97.$$

Ensuite, nous appliquons la formule $\frac{n-\min}{\max-\min}$ pour chaque critère de la conduite. Avec ces valeurs normalisées, nous comparons les conduites entre elles.

Par exemple, pour le diamètre de T1, nous avons $\frac{80-0,028}{839,97}=0,095$. Avec ces valeurs normalisées, nous comparons les conduites entre elles.

Cette méthode nous permet de comparer les conduites de manière objective et de déterminer l'ordre de réhabilitation en fonction des critères établis.

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

IV.3.1.1 Calcul des différences et des préférences des critères les uns aux autres par rapport aux 16 critères

La comparaison entre les cinq (16) conduites par rapport aux (08) critères donne les matrices dans les Tableaux suivants :

Tableau IV.11 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère diamètre (DIAM).

DIA M	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
T2	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T3	0,24	0,22	0,00	0,00	0,00	0,26	0,15	0,10	0	0,23	0,13	0,00	0	0,25	0,19	0,08
T4	0,64	0,62	0,40	0,00	0,00	0,66	0,55	0,48	0,00	0,63	0,53	0,40	0,60	0,65	0,59	0,48
T5	0,76	0,74	0,52	0,12	0,00	0,78	0,67	0,61	0,00	0,75	0,65	0,52	0,72	0,77	0,71	0,60
T6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T8	0,14	0,13	0,00	0,00	0,00	0,17	0,05	0,00	0,74	0,13	0,03	0,00	0,11	0,15	0,10	0,00
T9	0,88	0,86	0,64	0,24	0,12	0,90	0,79	0,74	0,00	0,87	0,77	0,64	0,84	0,89	0,89	0,72
T10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
T11	0,11	0,09	0,00	0,00	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,07	0,12	0,06	0,00
T12	0,24	0,23	0,00	0,00	0,00	0,27	0,15	0,10	0,00	0,23	0,13	0,00	0,20	0,25	0,20	0,08
T13	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00
T14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T15	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00
T16	0,16	0,14	0,00	0,00	0,00	0,19	0,07	0,02	0,00	0,15	0,05	0,00	0,12	0,17	0,14	0,00

Tableau IV.12 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Type de matériaux (TYP).

TYP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T ₉	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0
T2	0	0	0	0	0	$\frac{0,00}{2}$	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0
T3	0	$\frac{0,00}{3}$	0	0	0	$\frac{0,00}{5}$	0	0,002	0	0	0	0	0,003	0,004	0	0
T4	$\frac{0,0}{1}$	0,01	$\frac{0,00}{7}$	0	0	0,01	0,005	0,009	0	0,01	$\frac{0,0}{1}$	0,002	0,01	0,011	0,01	$\frac{0,00}{2}$
T5	$\frac{0,0}{1}$	$\frac{0,01}{2}$	$\frac{0,00}{9}$	$\frac{0,00}{2}$	0	0,01	0,007	0,011	0	0,01	$\frac{0,0}{1}$	0,004	0,012	0,013	0,01	$\frac{0,00}{4}$
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T7	$\frac{0,0}{1}$	$\frac{0,00}{5}$	$\frac{0,00}{2}$	0	0	0,01	0	0,004	0	0,01	$\frac{0,0}{1}$	0	0,005	0,006	0	0
T8	0	$\frac{0,00}{1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,002	0	0
T9	$\frac{0,0}{2}$	$\frac{0,01}{5}$	$\frac{0,01}{2}$	$\frac{0,00}{5}$	$\frac{0,00}{3}$	$\frac{0,01}{7}$	0,01	0,014	0	0,02	$\frac{0,0}{2}$	0,007	0,015	0,01	0,01	0,01

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

T10	0	0	0	0	0	0.00 1	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0
T11	0	0	0	0	0	0.00 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0
T12	0.0 1	0.00 8	0.00 5	0	0	0.01	0.003	0.007	0	0.01	0.0 1	0	0.008	0.01	0.01	0	0
T13	0	0	0	0	0	0.00 2	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0
T14	0	0	0.00 4	0	0	0.00 1	0.006	0.002	0	0	0	0.009	0	0	0	0	0.00 1
T15	0	0.00 2	0	0	0	0.00 4	0.003	0.001	0	0	0	0	0.002	0.003	0	0	0
T16	0.0 1	0.00 8	0.00 5	0	0	0.01	0.003	0.007	0	0.01	0.0 1	0	0.008	0.009	0.01	0	0

Tableau IV.13 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère (AGE).

AG E	T1	T2	T3	T4	T5	T 6	T7	T8	T9	T1 0	T11	T12	T13	T1 4	T15	T16
T1	0	0,006	0,028	0,1	0,12	0	0,051	0,01	0,14	0	0,01	0,082	0,013	0	0,03	0,083
T2	0	0	0,022	0,094	0	0	0,045	0,004	0,14	0	0	0,076	0,007	0	0,03	0,077
T3	0	0	0	0,072	0,92	0	0,023	0	0,11	0	0	0,054	0	0	0	0,095
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0,023
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0,003
T6	0,01	0,014	0,036	0,108	0,128	0	0,059	0,018	0,15	0	0,01	0,12	0,021	0	0,04	0,013
T7	0	0	0	0,049	0,069	0	0	0	0,09	0	0	0,061	0	0	0	0,072
T8	0	0,004	0,018	0,09	0,11	0	0,041	0	0,13	0	0	0,102	0,003	0	0,02	0,133
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0,01	0,032	0,104	0,124	0	0,055	0,014	0,15	0	0,01	0,116	0,017	0	0,04	0,12
T11	0,01	0,001	0,023	0,095	0,115	0	0,046	0,005	0,14	0	0	0,107	0,008	0	0,03	0,078
T12	0	0	0	0,018	0,038	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0,001
T13	0	0	0,015	0,087	0,107	0	0,038	0	0,13	0	0	0,099	0	0	0,02	0,07
T14	0	0,009	0,031	0,103	0,123	0	0,054	0,013	0,15	0	0,01	0,115	0,016	0	0,03	0,086
T15	0	0	0	0,069	0,089	0	0,02	0	0,11	0	0	0,081	0	0	0	0,052
T16	0	0	0	0,017	0	0	0	0	0,59	0	0	0,029	0	0	0	0

Tableau IV.14 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Longueur (LONG).

LONG	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau IV.15 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Indice linéaire des fuites (ILF).

ILF	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

Tableau IV.16 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Technique

TECH-R	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0.00	0.00	0.001	0.121	0.004	0.00	0.002	0.001	0.01	0.00	0.00	0.901	0.001	0.00	0.00	0.003
T2	0.00	0.00	0.001	0.021	0.004	0.00	0.002	0.001	0.01	0.00	0.00	0.901	0.001	0.00	0.00	0.003
T3	0.00	0.00	0.00	0.120	0.003	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.00	0.00	0.00	0.002
T4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.000
T5	0.00	0.00	0.00	0.117	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.000
T6	0.00	0.00	0.00	0.121	0.004	0.00	0.00	0.001	0.01	0.00	0.00	0.90	0.001	0.00	0.00	0.003
T7	0.00	0.00	0.00	0.119	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.001
T8	0.00	0.00	0.00	0.120	0.003	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.00	0.00	0.00	0.002
T9	0.00	0.00	0.00	0.116	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.89	0.00	0.00	0.00	0.000
T10	0.00	0.00	0.001	0.021	0.004	0.00	0.002	0.001	0.01	0.00	0.000	0.901	0.001	0.00	0.00	0.003
T11	0.00	0.00	0.001	0.021	0.004	0.00	0.002	0.001	0.01	0.00	0.00	0.901	0.001	0.00	0.00	0.003
T12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
T13	0.00	0.00	0.00	0.020	0.003	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.000	0.00	0.00	0.002
T14	0.00	0.00	0.001	0.021	0.004	0.00	0.002	0.001	0.01	0.00	0.00	0.901	0.001	0.00	0.0	0.003
T15	0.00	0.00	0.00	0.020	0.003	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.000	0.00	0.00	0.002
T16	0.00	0.00	0.00	0.118	0.001	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.000	0.00	0.00	0.00

Tableau IV.17 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Plainte.

PLAINT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0	0.006	0.026	0.093	0.122	0	0.047	0.01	0.13	0	0.01	0.076	0.014	0	0.03	0.081
T2	0	0	0.02	0.087	0.106	0	0.041	0	0.13	0	0	0.07	0.008	0	0.03	0.075
T3	0	0	0	0.067	0.086	0	0.021	0	0.11	0	0	0.05	0	0	0.01	0.055
T4	0	0	0	0	0.019	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0
T6	0.01	0.013	0.033	0.1	0.119	0	0.054	0	0.14	0	0	0.083	0.021	0.006	0.04	0.088
T7	0	0	0	0.046	0.065	0	0	0	0.09	0	0	0.029	0	0	0	0.034
T8	0	0	0.016	0.083	0.102	0	0.037	0	0.12	0	0	0.066	0	0	0.02	0.071
T9	0	0	0	0	0	0	0.037	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0.009	0.029	0.096	0.115	0	0.05	0.013	0.14	0	0.01	0.079	0.017	0.002	0.04	0.084
T11	0	0.001	0.021	0.088	0.107	0	0.042	0.005	0.13	0	0	0.071	0.009	0	0.03	0.076
T12	0	0	0	0.017	0.036	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0.005
T13	0	0	0.012	0.079	0.098	0	0.033	0	0.12	0	0	0.062	0	0	0.02	0.067
T14	0	0.007	0.027	0.094	0.133	0	0.048	0.011	0.13	0	0.01	0.077	0.015	0	0.03	0.082
T15	0	0	0	0.061	0.08	0	0.015	0	0.1	0	0	0.044	0	0	0	0.049
T16	0	0	0	0.012	0.031	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

Tableau IV.18 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par Critère Rendement (REND).

REND	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T2	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T3	0	0	0	0.001	0.002	0.005	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0.001	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0.001	0.002	0.005	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0
T8	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T9	0	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T11	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T12	0	0	0	0	0.001	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T14	0	0	0.001	0.002	0.003	0.006	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0.001
T15	0	0	0	0.001	0.002	0.005	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0
T16	0	0	0	0.001	0.002	0.005	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0

Exemple : le critère de Diamètre (DIAM) ait un poids de : 0,074 Après avoir effectué ces comparaisons, nous allons multiplier chaque différence par le poids associé à chaque critère pour obtenir les valeurs pondérées. Ces poids reflètent l'importance relative de chaque critère dans l'évaluation globale

Le tableau IV.19 : Exemple du critère de Diamètre (DIAM) avec un poids de 0,074

DIAM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	0,00	0,00
T2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,003	0,00	0,00	0,000 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T3	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
T4	0,05	0,05	0,03	0,00	0,00	0,05	0,04	0,03	0,00	0,05	0,04	0,000 2	0,04	0,05	0,04	0,04
T5	0,06	0,05	0,30	0,03	0,00	0,06	0,05	0,06	0,00	0,06	0,05	0,03	0,05	0,07	0,05	0,04
T6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T8	0,1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,003	0,00	0,05	0,01	0,002	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
T9	0,07	0,06	0,38	0,02	0,01	0,07	0,06	0,05	0,00	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05
T10	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	0,00	0,00
T11	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,001	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,004	0,00
T12	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,011	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
T13	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	0,00	0,00	0,00	0,003	0,007	0,00

Chapitre 04 : Implémentation du modèle

T14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0,001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T15	0,04	0	0.00	0.00	0.00	0,01	0.00	0.00	0.00	0,002	0.00	0.00	0,001	0,004	0.00	0.00
T16	0,01	0,1	0.00	0.00	0.00	0,01	0,005	0,001	0.00	0,01	0,003	0.00	0,01	0,01	0,01	0.00

IV.3.1.2 Degré de préférence

Le tableau (IV.20) présente le degré de préférence, flux positif de préférence Φ^+ , le flux négatif de préférence Φ^- et le classement final des conduites pour la réhabilitation. Le degré de préférence a été calculé par l'équation (IV.17), chapitre IV.

Le flux positif de préférence Φ^+ , le flux négatif de préférence Φ^- et le flux net Φ ont été calculés par les équations (II.17, II.18, II.19), chapitre II.

Par exemple :

$$\Phi^+(\mathbf{T3}) = \frac{1}{15} \sum_{X \in A} \pi(\mathbf{T3}, x) = \frac{1}{15} [\pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T1}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T2}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T4}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T5}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T6}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T7}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T8}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T9}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T10}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T11}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T12}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T13}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T14}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T15}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T16})] = \mathbf{0,0411}$$

$$\Phi^-(\mathbf{T3}) = \frac{1}{15} \sum_{X \in A} \pi(\mathbf{T3}, x) = \frac{1}{15} [\pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T1}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T2}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T4}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T5}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T6}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T7}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T8}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T9}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T10}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T11}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T12}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T13}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T14}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T15}) + \pi(\mathbf{T3}, \mathbf{T16})] = \mathbf{0,0263}$$

$$\Phi(\mathbf{T3}) = \Phi^+(\mathbf{T3}) - \Phi^-(\mathbf{T3}) = \mathbf{0,0411} - \mathbf{0,0263} = \mathbf{0,0148}$$

Tableau IV.20 : Le flux positif, le flux négatif, le flux net des conduites et le classement.

π	Φ^+	Φ^-	Φ	Rang
T1	0,0236	0,0289	-0,0053	5
T2	0,0204	0,0243	-0,0039	2
T3	0,0411	0,0263	0,0148	14
T4	0,0382	0,0394	-0,0012	1
T5	0,0441	0,0367	0,0074	7
T6	0,0256	0,0356	-0,0100	9
T7	0,0130	0,0336	-0,0206	15
T8	0,0317	0,0358	-0,0041	3
T9	0,0563	0,0354	0,0209	16
T10	0,0285	0,0339	-0,0054	6
T11	0,0272	0,0319	-0,0047	4
T12	0,0168	0,0334	-0,0166	13
T13	0,0219	0,0336	-0,0117	11
T14	0,0249	0,0335	-0,0086	8
T15	0,0208	0,0333	-0,0125	12
T16	0,0242	0,0349	-0,0106	10

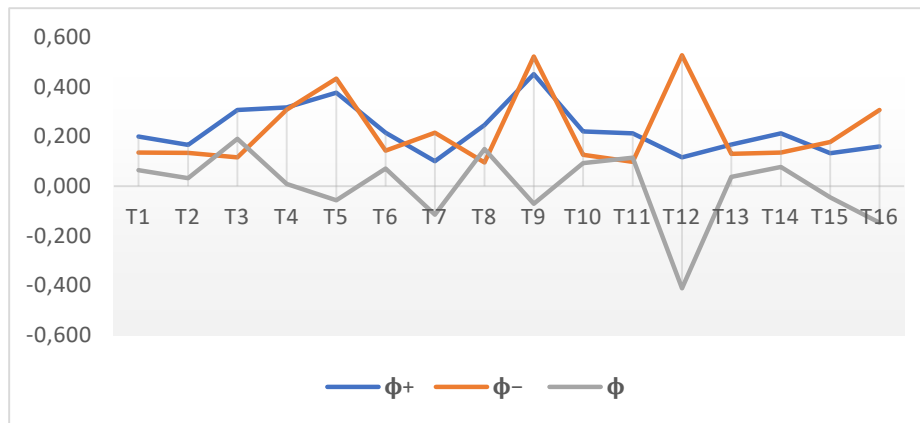


Figure IV.2 : Présentation des flux positif, négatif et net pour les conduites de Mechtras.

Le graphique présente les flux positifs ($\Phi+$), négatifs ($\Phi-$), et nets (Φ) pour 16 conduites évaluées. Les flux positifs indiquent le degré de préférence des conduites par rapport aux autres selon les critères évalués, avec des pics notables aux points T5, T8, et T11. Les flux négatifs montrent les conduites désavantagées, avec des pics aux points T9, T12, et T16. Le flux net, qui est la différence entre les flux positifs et négatifs, fournit une mesure globale de performance. Des conduites avec des flux nets positifs, comme celle au point 8, sont favorisées, tandis que celles avec des flux nets négatifs, comme au point T12, indiquent une performance globale défavorable. Ce graphique permet de visualiser et de comparer les performances relatives des conduites, facilitant ainsi une gestion efficace et une prise de décision optimale pour la réhabilitation des réseaux d'AEP.

Le classement final prioritaire dans la réhabilitation des six tronçons suit l'arrangement décroissant des valeurs de flux net. Cet arrangement permet de classer les différents tronçons du plus urgent au moins urgent. Le classement est le suivant : T4, T2, T8, T11, T1, T10, T5, T14, T6, T16, T13, T15, T12, T3, T7, T9.

IV.4 Conclusion

Dans le cadre de ce dernier chapitre, nous avons effectué une application sur les 16 tronçons qui composent le réseau de distribution de la ville de Mechtras. Cette application vise à expliquer les outils adaptés et les étapes nécessaires à suivre afin de réussir l'application.

En effet, la méthode AHP utilise lors de son application les matrices de comparaison entre les critères sélectionnés. Elle nous a permis de déterminer les poids précis reflétant l'importance des critères adoptés. Et la méthode PROMETHEE II nous a permis d'effectuer un classement des conduites les plus prioritaires aux réhabilitations. La combinaison de ces deux méthodes semble être un outil d'aide à la réhabilitation très efficace pour parvenir à une meilleure exploitation du réseau d'AEP.

Cette connaissance permettra par la suite au décideur de l'ADE de prendre des décisions adaptées à leur politique et à leur stratégie de planification.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Le réseau d'alimentation en eau potable vieillit, entraînant des dysfonctionnements structurels et fonctionnels. Pour y remédier, des mesures de réhabilitation et de modernisation sont nécessaires, incluant le remplacement des infrastructures obsolètes, l'adoption de technologies de détection et de contrôle des fuites, et une gestion optimisée des ressources hydriques. Ce mémoire s'intéresse à l'élaboration d'un outil méthodologique pour prioriser la réhabilitation des conduites d'AEP de la ville de Mechtras, en respectant les spécificités locales.

Le projet de recherche inclut l'exploration des problématiques de gestion patrimoniale des réseaux d'AEP, les caractéristiques de la zone d'étude, les actions de l'ADE, et la méthodologie développée pour l'outil d'aide à la réhabilitation. L'approche multicritère adoptée utilise les méthodes "Analytical Hierarchy Process (AHP)" et «PROMETHEE II» pour prioriser les conduites à réhabiliter. L'application de cet outil aux conduites de Mechtras, avec la collaboration des gestionnaires de l'unité d'ADE de Tizi Ouzou, permet de classer les conduites du plus urgent au moins urgent, aidant ainsi à une meilleure planification de la réhabilitation

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 méthodes d'aide à la décision ;
- Elargir la liste des critères liés aux caractéristiques des conduites d'AEP.

Bibliographie

Bibliographie

ADE Tizi Ouzou. (2022a). Rapport annuel 2022 de l'ADE Tizi Ouzou.

ADE Tizi Ouzou. (2022b). Bilan de production et de distribution d'eau potable.

ADE Tizi Ouzou. (2022c). État des lieux des infrastructures de distribution d'eau potable.

ADRYEN, K. (2022). Dimensionnement du collecteur des eaux usées et pluviales du village Ait Imghour, commune Mechtras, W. Tizi-Ouzou. Rapport de soutenance. Université Akli Oulhadj-Bouira, Algérie, 59 p.

AGHTM. (2003). Exploitation et maintenance des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Conférence Internationale ASTEE (AGHTM), POLLUTEC, Paris-Nord/Villepinte.

AGHTM Ajuste C., Berland J-M., Celrier J-I. (2004). Réhabilitation / remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale. Techniques Sciences Méthodes, N° 11, pp. 49-58.

AFNOR. (1981). NF X60-100. Inventaire de départ d'un contrat de maintenance et expertise de l'état des biens durables à usage industriel et professionnel, Paris.

AFNOR. (1996). EN 752-1. Réseaux d'évacuation et d'assainissement a l'extérieur des bâtiments, partie 1 : Généralités et définitions, classe : B34, code : R6X.

ALEGRE H., Baptista J.M., Cabrera E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R. (2006). Performance Indicateurs for water supply services. Second ed. International water Association Publishing London.

ARNAUD, G. (2012). Analyse de risque liés aux cavités souterraines sur les réseaux d'eau potable et d'assainissement- Méthodologie d'évaluation de l'aléa et élaboration de principes de gestion du patrimoine. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 1.

BETTAHAR, A. (2021). Évaluation des pertes en eau dans les réseaux de distribution de la wilaya de Tizi Ouzou. Revue des Ressources Hydriques, Vol. 12, N° 2, pp. 45-57.

BERHAIL, S. (2019). Gestion des Ressources Hydriques. Polycopie de Cours. Institut des Sciences et de la Technologie- Mila, Algérie, 71p

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, 305p.

BOUCHERMA, H., & HAMOUD, I. (2020). Analyse multicritère appliquée sur le réseau d'AEP de centre-ville Chelghoum-Laid (W. Mila). Mémoire Master. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila, Algérie, 217 p.

BOUCHERAKI, F., HAMCHAOU, S., BERREKSI, A. (2023). Planning methodology for effective implementation of the rehabilitation policy for drinking water networks. Water Policy, vol 25, N°7.

BOUKHARI, H., & BACHA, A. (2018). Analyse du fonctionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable à forte dénivelé topographique : Cas du réseau de Bousseadra El Bouni. Mémoire Master. Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie, 97 p.

BOUKHARI, S., DJABBAR, Y., AMARCHIE, H., SOUHANI, A., (2017). Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services : the case of Algeria. Water Supply, vol 18, N°4.

BOULKARIA, M., & OULD FELLA, S. (2010). Diagnostic et réhabilitation du réseau d'alimentation en eau potable de la commune de Beni Douala. Mémoire Master. Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 94 p.

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, 113 p.

BOUTEBBA, K., BOUZIANE, M.T., & BOUAMRANE, A. (2014). Aide à la décision pour l'optimisation de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. Larhyss Journal. Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface Faculté des Sciences et Technologie Université de Biskra. Algérie, ISSN 1112-3680, N°20, pp. 279-296.

Direction de l'eau et de l'assainissement (2014). Guide pour la prise en compte des dysfonctionnements des réseaux d'eau potable

Djellab, S., Kadi, H., & Lounis, M. (2020). Programmation des investissements 2020-2024 pour l'alimentation en eau potable de la wilaya de Tizi Ouzou. Revue Algérienne des Ressources Hydriques, Vol. 4, N° 1, pp. 21-32.

ELNABOULSI, J.C., & ALEXANDRE, O. (1998). Le renouvellement des réseaux urbains d'eau potable : Une approche économique d'optimisation. Ingénieries - EAT, n°15, pp. 3-16.

FONTAINE, F. (2021). Diagnostic et réhabilitation des réseaux d'eau potable. Lavoisier, 2ème édition, 320 p.

HAKIMI, C. (2014). Interaction entre la performance globale de l'Algérienne Des Eaux et ses missions de service public. Mémoire Master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 131 p.

HAMCHAOU, S., BOUDOUKHA, A., BENZERRA, A. (2015). Drinking water supply service management and sustainable development strategies : case study of Bejaia, Algeria. Journal of water supply : research and Technologie. AQUA, vol 64, N° 8.

HATEM, H. (2006). Réhabilitation des réseaux d'eau potable méthodologie d'analyse multicritère des patrimoines et des programmes de réhabilitation. Thèse de doctorat. L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 232 p.

Hyde, W.F., Belderrain, M.C., Carrero, G.C. (2003). An outranking approach for decision-making with multiple criteria. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, Vol. 33, N° 4, pp. 502-511.

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, 110 p.

IGROUFA M., Benzerra A., Seghir A. (2020). Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems. *Water Science & Technology*, vol. 83, N° 3, pp. 537-548.

KESSILI, A. (2016). Elaboration d'outil d'aide à l'exploitation des réseaux d'assainissement - Cas d'application :(les réseaux d'assainissement d'Alger). Thèse de Doctorat. Université de Bejaia.

LIRATNI, M. (2011). Guide méthodologique pour le diagnostic des réseaux de distribution d'eau potable. Ecole Nationale Polytechnique D'Alger (ENPA), Algérie, 99 p.

MAKAR, J., DESNOYERS, R., & MCDONALD, S. E. (2001). Failure modes and mechanisms in grey cast iron pipe. In *Underground Infrastructure Research: Municipal, Industrial and Environmental Applications*. CRC Press, pp. 1-10.

NAFI, A. (2006). La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable. Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 232 p.

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.

RAJANI, B., & KLEINER, Y. (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: Physically based models. *Urban Water*, Vol. 3, N° 3, pp.151-164.

SAATY, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, NewYork

SAATY T. L. (1994). *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*. Interfaces.

WANG, Y., ZAYED, T., & MOUFTI, S. (2013). Développement d'un système d'aide à la décision pour la gestion des infrastructures des réseaux d'eau potable. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 40, N° 7, pp. 625-637.

XAVIER, M., & ALETH, P. (2020). Gestion des réseaux d'eau potable en Algérie : une approche géostatistique. Editions Universitaires Européennes. ISBN 978-3-631-78444-4,240p.

ZWINGELSTEIN, G. (1996). *La maintenance basée sur la fiabilité*. Paris, ISBN : 2-86601-542-4, 66 p.