

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik Benyahia Jijel
Faculté de la Technologie



Département de Génie Civil & Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Hydraulique Urbaine

Présenté par :

BOUKENKEN Messaoud

RIANE Abde Raouf

ELABORATION D'UN OUTIL D'AIDE A LA GESTION DES RESEAUX D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE POUR LA VILLE DE JIJEL. CAS DE LA ZONE DE -LAAKABI -

Dirigé par :

- Mr : KESSILI Abdelhak

Soutenu publiquement le / 06 / 2018 devant le jury composé de :

- Président : Mr. BOUDJERDA Merouane
- Examineur : Mr . BOUTEBBA Khereddine .

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

REMERCIEMENT

Ce petit travail de recherche a été réalisé au département du génie civil et d'hydraulique faculté des sciences et de la technologie, Université de Mohammed *Saddik Benyahia jijel*, dans le cadre d'une mémoire de fin d'étude.

Au terme de cette recherche, On remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'Il nous a donné durant toutes ces années d'études.

Ils nous y'est très agréable d'exprimer toute notre gratitude, notre reconnaissance et nos très vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

En premier lieu on exprime notre profonde reconnaissance et sincères, remerciements a notre encadreur, Monsieur KESSILI Abdelhak, qui n'a épargné aucun effort pour réaliser ce travail, par ces conseils attentifs et critiques précieuses. Nous ne saurions ici omettre de remercier l'ensemble d'équipe technique de département de génie civile & hydraulique spécialement les enseignants du département d'hydraulique qui ont assuré notre formation.

Nos remercie tous nos collègues et amis pour leur aide et leur soutien, et tous ceux qui ont contribué de proche ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

DEDICACE

Nos dédient ce travail à :

. A nos très chers parents

. A nos frères et sœurs,

.A toute nos famille,

. A nos amis et amies.

A toute personne dont que nos avons une place dans
son cœur.

Résumé

Résumé :

Les défaillances des réseaux d'alimentation en eau potable est un problème complexe et coûteux. A cet effet, les gestionnaires des réseaux d'alimentation en eau potable, doivent mettre un plan de gestion pour maintenir le réseau en bon condition. Et prévoir les moyens financiers et les choix techniques de réhabilitation et d'inspection. C'est pour cela l'objectif de notre travaille a pour thème Elaboration d'outil d'aide à la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel. Notre travail a été basé sur un schéma de priorisation des conduites d'alimentation en eau potable pour la réhabilitation a été élaboré par la méthode AHP-PROMETHEEII. La méthodologie s'applique plusieurs critères qui représentent les différentes questions examinées dans l'ordre de priorité des conduites, qui sont structurel, hydraulique, environnemental, financière, technique et social. Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) est utilisé pour déterminer les poids des critères et la méthode PROMETHEEII a été utilisée pour obtenir le classement final des conduites.

Mots Clés : AHP-PROMETHEEII, gestion des réseaux, réseaux d'AEP, priorisation des conduites

Abstract:

Failures in drinking water systems is a complex and costly problem. The managers of the drinking water supply networks must put a management plan to maintain the network in good condition and provide for financial means and technical options for rehabilitation and inspection. The aim of our work is based on a prioritization scheme of drinking water supply pipes for rehabilitation by the method AHP-PROMETHEEII. The methodology applies several criteria that represent the different issues examined in order of priority for rehabilitation, which are structural, hydraulic, environmental, financial, technical and social. The Hierarchical Analysis Process (AHP) is used to determine the weights of the criteria and the PROMETHEEII method was used to obtain the final classification of the pipes.

Keys words: AHP-PROMETHEEII, drinking water supply, rehabilitation

ملخص:

أسباب الخلل في شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب من المشاكل المعقدة و المكلفة , حيث تستوجب على مسيري هذه الشبكات وضع خطط للحفاظ على الشبكة في حالة جيدة و ذلك بتوفير الوسائل المالية لإعادة التأهيل و في هذا السياق و من خلال هذه المذكرة قمنا بتطوير اداة لمساعدة مسيري ادارة و تسيير شبكة التزود بالمياه الصالحة للشرب لمدينة جيجل .

من خلال هذا العمل قمنا بتحديد أولويات التزود بالمياه الصالحة للشرب عن طريق مقارنة لمدة معايير مثل :الهيدروليكية , البيئية , المالية و الاجتماعية , وذلك من خلال تطبيق برنامج طبقت فيه منهجية AHP_PROMETHEE-II بحيث قمنا بتطبيق طريقة التحليل الهرمي AHP لتحديد أوزان المعايير , وطريقة PROMETHEE-II للترتيب النهائي لأنابيب شبكة التزود بالمياه الصالحة للشرب لإعادة التأهيل .

الكلمات الدالة: شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب, التحليل الهرمي, AHP, أوزان المعايير, أنابيب شبكة التزود بالمياه الصالحة للشرب, إعادة التأهيل .

SOMMAIRE

Sommaire

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	II
DÉDICACE	III
RÉSUMÉ	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES ABRÉVIATIONS	VII
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les réseaux d'AEP

I) Introduction :.....	3
II) L'alimentation en eau potable :	3
II.1) Définition :	3
II.2) Le Système d'alimentation en eau potable :	3
II.3) Définition de réseau d'alimentation en eau potable :	3
II.4) Présentation de cycle de production d'eau potable :	4
II.4.1) Le Captage-prélèvements :	4
II.4.2) Le Traitement pour la potabilité :	4
II.4.3) L'adduction:	5
II.4.4) Le stockage.....	5
II.4.5) La distribution :	5
III) Structure du système d'alimentation en eau potable :	5
III.1) Les types des réseaux d'alimentation en eau potable :	6
III.1.1) Les réseaux maillés :	6
Avantage :	7
Inconvénients :	7
III.1.2) Les réseaux ramifiés :	7
III.1.5) Comparaison entre le réseau maillé & ramifié :	8
III.1.3) Le réseau mixte :	9
III.2) Le réseau d'adduction :	9
III.2.2) L'adduction par refoulement	9
III.3) Le Réseau de distribution :	9
III.3.1) La structure d'un réseau de distribution :	9
a) Les ouvrages de pompage :	10

Sommaire

b) Les réservoirs d'eau potable	10
c) Les canalisations :	10
d) Les accessoires	10
e) Le branchement :	10
III.3.2) Les branchements :	11
III.3.2.1) Les principaux éléments constitutifs d'un branchement :	11
IV) Les différentes Types des canalisations d'AEP :	11
IV.1) Les conduites d'adduction :	11
IV.2) Les conduites de distribution :	11
IV.3) Choix du type des canalisations :	12
V) Les différentes organes et accessoires constitutifs d'un réseau d'AEP :	13
Les poteaux d'incendie :	13
Les ventouses :	13
Robinet vanne :	13
Clapet anti retour :	13
Réducteur de pression :	13
Le filtre :	14
Le compteur	14
Les robinets-vannes à papillon :	14
La crépine :	14
Soupape de décharge :	14
Les vannes d'isolement :	14
Les décharges :	15
Les joints :	15
VI) Les problèmes rencontrés dans un réseau d'AEP :	15
VII) Conclusion :	15

Chapitre II : Etat d'art sur la gestion des réseaux d'AEP

I) Introduction :	18
II) La gestion de l'eau :	18
II.1) Définition :	18
II.2) Les objectifs de la gestion de l'eau :	19
II.3) La gestion des réseaux d'AEP :	19
II.4) La Gestion informatisée des réseaux d'AEP :	19
II.5) La gestion et l'archivage des données des défaillances :	20
III) La gestion patrimoniale :	20
III.1) Définition :	20

Sommaire

III.2) Les paramètres de La gestion patrimoniale :	21
III.3) Les objectifs de la gestion du patrimoine :	22
III.4) La gestion patrimoniale d'un système d'alimentation en eau potable :	22
IV) Défaillances d'un système d'AEP :	23
IV.1) Définition :	23
IV.2) Les différents types de défaillances :	23
IV.2.1) Diminution de la capacité de transport :	23
IV.2.2) Dégradation de la qualité de l'eau :	25
IV.2.3) Les interruptions :	27
IV.2.4) Les plaintes des consommateurs :	27
IV.2.5) Facteurs liés à la conception et à la gestion du réseau :	28
V) La Modélisation des réseaux d'Alimentation en eau potable :	28
V.1) Définition :	28
V.1) Les différentes des modèle :	29
V.1.1) Modèle pour le dimensionnement du réseau :	29
V.1.2) Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic :	29
V.1.3) Modèle pour la gestion du réseau :	29
V.1.4) Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau :	29
V.2) Modélisation fonctionnelle du réseau d'AEP :	30
V.3) Intérêts de la modélisation des réseaux d'AEP :	30
V.3.1) Du point de vue hydraulique :	31
V.3.2) Du point de vue économique :	31
V.3.3) Du point de vue sécurité :	31
VI) La possibilité d'application des méthodes multicritères à la gestion des ressources en eau :	31
VI) Conclusion :	32

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

I) Introduction :	34
II) les Modèles de détérioration des infrastructures :	34
II.1) Modèles déterministes :	34
II.2) Modèle centré sur l'intelligence artificielle :	35
II.3) Le Modèles statistiques :	35
III) Les différentes modèles mathématiques :	36
III.1) Les modèles des systèmes de gestion de base de données SGBD :	36
III.1.1) Le modèle hiérarchique :	37
III.1.2) Le modèle réseau :	37
III.1.3) Le modèle orienté objet :	37
III.1.4) Le modèle relationnel :	37
IV) Les méthodes mathématiques d'analyse multicritère :	38
IV.1) Les méthodes d'analyse multicritères :	38
IV.1.1) La méthode de l'utilité multi-attributs :	39

Sommaire

IV.1.2) Les méthodes de surclassement :.....	39
IV.1.3) Les méthodes interactives :.....	39
V) L'Aide à la décision :	39
V.1) Définition :.....	39
V.2) Processus d'aide à la décision :.....	40
V.3) Etapes de la démarche :	40
VI) L'analyse multicritères à la décision :.....	41
VI.1) Définition :	41
VI.2) Description des Terminologie de base et approches de l'AMC :	41
VI.3.1) Définitions :	41
VI.3) Notion d'aide multicritère a la décision :	42
VI.3.2) Fonctionnement de l'analyse multicritère à la décision :.....	43
VII) La méthode d'analyse hiérarchique des procédés AHP :	44
VII.1) Analyse multicritère hiérarchique :.....	44
VII.2) Définition :.....	44
VII.3) Procédures de L'analyse hiérarchique des procédés (AHP) :.....	45
VII.4) Fonctionnement de l'AHP :.....	45
VIII) Conclusion :.....	47

Chapitre IV : La réhabilitation des conduites d'AEP par le modèle AHP-PROMETHEE II

I) Introduction :.....	49
II) Description et Formulation mathématique des méthodes utilisées :	49
II.1) La méthode AHP :	49
II.1.1) Description de la méthode AHP :.....	49
II.1.2) Principes fondamentaux de la méthode AHP :.....	50
II.1.3) Formulation mathématique :	50
II.2) Description de La méthode PROMETHEE :.....	53
II.2.1) Formulation mathématique de PROMETHEE II :.....	54
III) Justification du choix de la méthode AHP_PROMETHEEII :	57
III.1) Avantages :	57
III.1.1) La méthode AHP :	57
III.1.2) La méthode PROMETHEE :	57
III.2) Inconvénients :.....	58
III.2.1) La méthode AHP :	58
III.2.2) La méthode PROMETHEE :	58
IV) Une analyse comparative des méthodes PROMETHEE et AHP :.....	58
IV.1) Des jugements de valeur sous-jacente :.....	58
IV.2) La structuration du problème :	59
IV.3) Traitement des incohérences :.....	59
IV.4) Détermination des poids :.....	59

Sommaire

IV.5) L'évaluation de l'échelle :	59
IV.7) Visualisation du problème :	60
V) Description du modèle proposé (<i>AHP_PROMETHEE-II</i>) :	60
V.1) La première partie :	60
V.2) La deuxième partie (2) :	60
VI) Choix des critères :	62
A) Critère (1) : La Longueur des conduites LONG (m)	62
B) Critère (2) : Profondeur de pose PDP (m)	62
C) Critère (3) : le Matériau des conduites (MAT)	63
D) Critère (4) : L'Âge des canalisations AGE (ans)	63
E) Critère (5) : Emplacement des conduits EMDC	63
F) Critère(6) : Investissement INV (DA)	64
J) Critère (7) : les Diamètre des conduites DIA (mm)	64
H) Critère (8) : Présence d'un autre réseau urbain PRURB	64
I) Critère (9) : La zone de développement ZDDV	65
G) Critère(10) : Réhabilitation technique (RHB)	65
VII) Conclusion :	65

Chapitre V : Application de l'outil d'aide à la gestion aux réseaux d'AEP de Jijel

I) Introduction :	67
II) Présentation de site d'étude :	67
II.1) Localisation géographique de la wilaya de Jijel :	67
II.2) Les Relief :	68
II.2.1) Les zones de plaines :	68
II.2.2) Les zone de montagnes :	69
II.3) La géologie :	69
II.4) Les pentes :	69
II.5) Le Climat :	70
II.6) Réseau hydrographique :	70
II.7) Réservoirs :	71
III) Description de système D'AEP de la ville de Jijel :	71
III.1) Le découpage du système de distribution de la ville de Jijel :	72
III.2) Zone de pression Laakabi (LA) :	73
III.2.1) Caractérisation des conduites :	74
IV) Application du modèle AHP-PROMETHEE II	76
IV.1) Application de la première partie du modèle proposé :	76
IV.1.1) Présentation des données des tronçons :	76
IV.1.2) Construction de la matrice de comparaison :	77
IV.1.3) Vérification cohérence de jugement :	79
IV.2) Deuxième partie du modèle proposé :	80

Sommaire

IV.2.1) La matrice d'évaluation :.....	80
IV.2.2) La fonction de préférence :.....	81
IV.2.3) Degré de préférence.....	83
IV.2.4) Classement des conduites pour réhabilitation :	85
V) Conclusion :.....	85
Conclusion générale :.....	86
BIBLIOGRAPHIE :	87
ANNEXE :	91

Liste des abréviations

Liste des abréviations

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable

PVC : Polychlorure de vinyle.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

PRV : Polyester Renforcé en fibres de Verre.

ISF : Impôt sur le revenu

LAMSADE : Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision

ADMA : L'aide à la décision multi-attribut

ADOM : L'aide à la décision à objectifs multiples

AMC : Aide multicritère

AHP : Analyse hiérarchique des procédés

RC : le ratio de cohérence

RI : indices aléatoires

PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

LONG: la Longueur des conduites

PDP : la Profondeur de pose

MAT: le Matériau des conduites

AGE : L'Âge des canalisations

EMDC : Emplacement des conduits

INV : Investissement

DIA : les Diamètre des conduites

PRURB : Présence d'un autre réseau urbain

ZDDV : La zone de développement

RHB : Réhabilitation technique

Liste des figures

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schéma représentatif de cycle de production de l'eau potable	4
Figure I.2 : Schéma représentatif d'un réseau maillé (R : réservoir)	7
Figure I.3 : Schéma représentatif d'un réseau ramifié(R : réservoir).	8
Figure I.4 : schéma illustre les organes constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable.	11
Figure I.5 : Les différents types des tuyaux d'AEP.....	13
Figure II.1 : exemple d'une gestion stratégique du patrimoine.....	21
Figure III.1 : Approches et méthodes de l'AMC.....	43
Figure III.2 : Exemple de décomposition hiérarchique de quatre niveaux.....	46
Figure IV.1 : schéma représente de la structuration hiérarchique.....	50
Figure IV 2 : Schéma représentatif du modèle proposé.....	61
Figure V.1 : Localisation de la wilaya de Jijel (Algérie)	68
Figure V.2 : carte des pentes de la région de Jijel (1/200 000).	70
Figure V.3 : Schéma représentatif de réseau de distribution de la zone de pression de laakabi.	74
Figure V.4 : Répartition des classes de diamètres dans la zone de pression Laakabi.	74
Figure V.5 : Répartition des matériaux sur la zone de pression Laakabi.	75
Figure V.6 : Répartition des décennies de pose sur la zone de pression Laakabi.	76
Figure V.7 : schéma représenté les poids des dix critères obtenus par la méthode AHP.....	79
Figure V.8 : Présentation des flux positif, négatif et net pour les conduites.....	84

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Comparaison entre le réseau maillé & ramifié:.....	9
Tableau IV.1 : Echelle de comparaison binaire utilisée pour évaluer l'importance entre les critères.....	51
Tableau IV.2 : Echelle aléatoire de Saaty.....	53
Tableau IV.3 : La matrice multicritère de PROMETHEE.....	54
Tableau V.1 : Classes de pente dans la région de Jijel.	69
Tableau V.2 : Le linéaire de canalisations Le secteur de la zone de pression Laakabi.....	74
Tableau V.3 : Exemple d'un échantillon de base de données des conduites de Laakabi.....	77
Tableau V.4 : La matrice de comparaison pour les différents critères.....	77
Tableau V.5 : représentation de la matrice d'évaluation Exemple de cinq conduites.	80
Tableau V.6 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Longueur (LONG).	81
Tableau V.7 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Profondeur de pose (PDP).....	82
Tableau V.8 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Matériau (MAT).....	82
Tableau V.9 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Age des conduites (AGE).	82
Tableau V.10 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Emplacement des conduites (EMDC).....	82
Tableau V.11 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Investissement (INV).	82
Tableau V.12 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Diamètre (DIA).	83
Tableau V.13 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Présence d'un réseau urbain (PRURB).	83
Tableau V.14 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Zone de développement (ZDDV).....	83
Tableau V.15 : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Réhabilitation (RHB).	83
Tableau V.16 : Le flux positif, le flux négatif, le flux net des conduites et le classement.....	84

Introduction générale

Introduction générale

La gestion et le maintien de la performance des réseaux enterrés est une tâche importante pour les gestionnaires des réseaux d'AEP. Cette tâche requiert des informations sur l'état actuel et futur des conduites. Le réseau d'alimentation en eau potable constitue un patrimoine qui vieillit et qu'il est nécessaire de renouveler quand il a atteint un seuil limite. La sélection des programmes d'inspection et de réhabilitation les plus efficaces nécessite la connaissance de l'état du système et les performances structurelle, hydraulique et environnementale du réseau d'AEP.

L'objectif de Ce travail est de fournir un outil d'aide à la gestion pour la priorité de réhabilitation des conduites du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel zone de laakabi. Afin d'aboutir aux objectifs du projet, l'étude est structurée en cinq chapitres :

Le premier chapitre : s'attachera à une présentation générale de système d'alimentation en eau potable, par quelques définitions nécessaires que l'on rencontre au cours de cette étude

Le deuxième chapitre : nous avons essayé de mettre les points sur, la gestion des ressources en eau de façon générale et la gestion patrimoniale, les différentes défaillances des conduites d'AEP.

Le troisième chapitre : L'objectif de ce chapitre est de mettre les points sur les différentes méthodes est approches d'aide a la décision, et de faire une description générale sur les méthodes d'analyse multicritères.

Le quatrième chapitre : L'objectif de ce chapitre est de définir la méthode AHP-PROMETHEE II pour la priorisation de la réhabilitation des conduites d'AEP.

Le cinquième chapitre : application de la méthode sur le réseau d'AEP de la ville de Jijel. Une conclusion générale achèvera notre étude.

Chapitre I
Généralités sur les réseaux d'AEP

Chapitre I :

Généralités sur les réseaux d'AEP

I) Introduction :

Dans ce chapitre on se propose de mettre le point sur les différents éléments nécessaires de réseau d'alimentation en eau potable, et quelques définitions nécessaires que l'on rencontre au cours de cette étude, telle que la définition du réseau d'alimentation en eau potable, la présentation de cycle de production d'eau potable, et les différents types des réseaux d'AEP et les différents types des canalisations d'AEP.

II) L'alimentation en eau potable :

II.1) Définition :

L'alimentation en eau potable *AEP* est l'ensemble des équipements, des services et des actions qui permettent, en partant d'une eau brute, de produire une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur, distribuée ensuite aux consommateurs.

II.2) Le Système d'alimentation en eau potable :

C'est l'ensemble et d'acteurs qui participent à la mise à disposition des utilisateurs d'une eau de bonne qualité et en quantité suffisante.

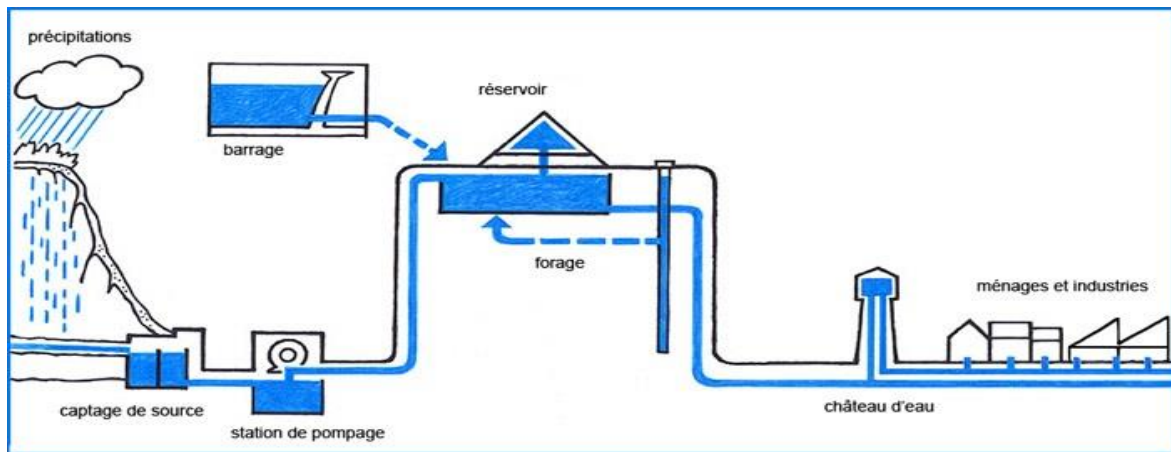
II.3) Définition de réseau d'alimentation en eau potable :

Le réseau d'alimentation en eau potable traite, stocke, transporte et distribue l'eau potable depuis le lieu de production jusqu'au robinet du consommateur.

Ce réseau est constitué d'un ensemble complexe d'ouvrages de pompes, des réservoirs, de canalisations, d'accessoires de robinetterie et pour finir du branchement sur l'installation situés à l'intérieur de la propriété des abonnés. La maintenance du réseau est indispensable pour assurer une distribution correcte de l'eau potable aux abonnés, et minimiser les pertes par fuites.

II.4) Présentation de cycle de production d'eau potable :

La production d'eau potable est constituée d'un ensemble des ouvrages, des accessoires et des canalisations ou adductions qui sont enchaînés à partir de la source jusqu'aux usagers permettant la satisfaction des besoins actuels et futurs. Nous distinguons plusieurs étapes dans le processus de la production et de l'acheminement de l'eau.



Figure(I.1) : Schéma représentatif de cycle de production de l'eau potable.

La production de l'eau potable à plusieurs étapes dans le processus de leur production et de l'acheminement de l'eau parmi ces derniers on considère Cinq étapes distinctes dans cette alimentation :

II.4.1) Le Captage-prélèvements : cette étape consiste à recueillir les eaux souterraines ou de surfaces de la source telle que les barrages, les prises en rivières et les champs captants. Sont les travaux effectués pour prélever les eaux naturelles en vue de l'alimentation. [8]

II.4.2) Le Traitement pour la potabilité : Les eaux captées dans la nature, exactement les eaux de surface, ne présentent pas les qualités physiques, chimiques et biologiques désirables pour la consommation. Pour rendre ces eaux potables, le traitement d'une eau brute dépend de sa qualité, laquelle est fonction de son origine et peut varier dans le temps. L'eau à traiter doit donc être en permanence analysée car il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition et, si nécessaire, de le moduler dans le temps en fonction de la variation observée de ses divers composants. Il peut arriver cependant qu'une pollution subite ou trop importante oblige l'usine à s'arrêter momentanément ce qui permet de transformer l'eau brute en eau potable. [8]

II.4.3) L'adduction: L'adduction d'eau regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages architecturaux vers les lieux de consommation. Elle nous permet de transférer l'eau de la zone de captage jusqu'au réservoir ceci soit gravitaire ou par refoulement, nous distinguons deux types des adductions :

- 1) **L'adduction gravitaire** : Ecoulement à la faveur d'une dénivellée.
- 2) **L'adduction par refoulement** : écoulement à la faveur d'un rapport d'énergie externe.

II.4.4) Le stockage : Ce sont ces réservoirs qui assurent l'interface entre la production et la distribution d'eau potable, Une fois traitée, l'eau est stockée dans des réservoirs de deux types les baches au sol ou semi-enterrées et les réservoirs sur tour, appelés également château d'eau. Le choix dépend de la localisation du réservoir. En effet, pour permettre un acheminement de l'eau aux consommateurs dans de bonnes conditions, il est nécessaire que la différence d'altitude entre le réservoir et les habitations soit suffisante pour avoir une pression correcte, l'acheminement de l'eau se faisant par gravitation. Une différence de dix mètres d'altitude entre le réservoir et le point de distribution correspond à 1 bar de pression au robinet. La pression dite « de confort » est d'environ 3 bars.[8]

II.4.5) La distribution : La distribution d'eau désigne l'ensemble des dispositifs et des compagnies assurant la distribution de l'eau potable et de l'industrielle. Autrefois assurée par des puits et fontaines souvent collectifs, la distribution de détail se fait majoritairement de nos jours par canalisations depuis des prises d'eau en rivièrou dans la nappe phréatique. L'eau de mer peut également être à l'origine d'une distribution d'eau ; elle doit dans ce cas être préalablement dessalée. [8]

Les réseaux avals de distribution sont l'étape finale de l'alimentation en eau potable des populations ou des industriels, mais l'approvisionnement en eau nécessite également des installations amont d'extraction et de traitement.

Dans cette étape le Transport de l'eau potable aux consommateurs ce fait grâce au réseau de distribution qui peut être un réseau Maillé, ramifié, ou combiné.

III) Structure du système d'alimentation en eau potable :

La structure du système (*réseau*) **AEP** dépend de la localisation des abonnés, de leur importance et du niveau de demande à assurer. La structure traduit les dimensions des

conduites, la capacité des réservoirs, le nombre de pompes et la puissance fournie. Elle tient compte d'éléments géographiques tels que : la dispersion des abonnés, la présence d'obstacles naturels, la présence de routes, chemin de fer, jardins, d'autres réseaux enterrés. Tous ces éléments vont permettre au service de l'eau de définir des caractéristiques propres à chaque composant du réseau afin d'assurer son bon fonctionnement. [1]

Les réseaux d'AEP conditionnent l'activité et le développement des agglomérations. Afin d'appréhender leur fonctionnement l'étude des différentes composantes d'un réseau d'AEP est indispensable. Un réseau d'AEP a pour fonction principale de desservir en eau potable un ensemble de points tels que : Compteurs d'abonnés, Bouches de lavage, Poteaux d'incendie. [9]

III.1) Les types des réseaux d'alimentation en eau potable :

On distingue plusieurs types de réseaux, à savoir : les réseaux ramifiés, maillés, donc La topologie du réseau est la représentation schématique des différents nœuds d'un réseau et de leurs liaisons physiques (conduites, pompes, vannes). La disposition des nœuds et des conduites dépend de la localisation des abonnés, de la présence de routes, des obstacles naturels, de la présence d'autres réseaux...en générale Leur classification se fait en se basant sur la topographie du terrain (terrain accidenté, différence d'altitude importante) et l'occupation du sol. Ces réseaux peuvent être alimentés à partir d'un ou plusieurs réservoirs. [2][9]

En termes de topologie, nous distinguons trois types des réseaux de l'AEP les plus souvent qui sont :

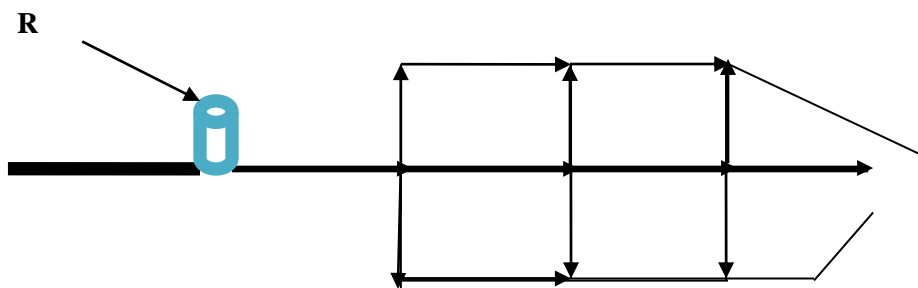
- ✓ *les réseaux maillés*
- ✓ *les réseaux ramifiés*
- ✓ *les réseaux mixtes*

III.1.1) Les réseaux maillés :

Ce type des réseaux comportant un certain nombre d'antennes en boucle et pouvant assurer la distribution en eau, cette configuration caractérise les réseaux de distribution d'eau en milieu urbain où il existe une concentration des abonnés. La présence de boucle ou de maille réduit les risques de coupure en cas de rupture de conduites, car assurant une

redondance dans l'acheminement de l'eau et limitant l'impact d'une rupture sur la desserte en eau. Dans la réalité les deux configurations coexistent dans un même réseau. En milieu rurale, le réseau sera formé par plus d'antenne et ramifications, alors qu'en milieu urbain on constatera plus de mailles Ils sont installés pour raccorder les usagers en zone urbaine. [2]

La figure suivante représente un schéma représentatif de réseau maillé :



Figure(I.2) : Schéma représentatif d'un réseau maillé (**R : réservoir**)

- **Avantage :** Les réseaux maillés garantissent une meilleure sécurisation de l'approvisionnement car l'eau potable peut toujours arriver chez l'utilisateur en suivant plusieurs chemins.
- **Inconvénients :** On peut voir apparaître des points de stagnation dans certains tronçons. La stagnation augmente le risque de prolifération bactérienne en cas de défaillance de la chloration.

III.1.2) Les réseaux ramifiés :

Ce type de réseau se présente selon une structure arborescente à partir du nœud à charge fixée assurant la mise sous pression. Cette configuration est justifiée par la dispersion des abonnés. Cependant, ce type de topologie réduit la fiabilité du réseau dans le cas d'une rupture d'une conduite, privant en eau les utilisateurs en aval du point de rupture. Elle caractérise généralement les réseaux de distribution d'eau en milieu rural. Ils sont installés en zone rurale où il est nécessaire de couvrir de longues distances pour desservir les usagers. [2]

La figure suivante représente un schéma représentatif de réseau ramifié :

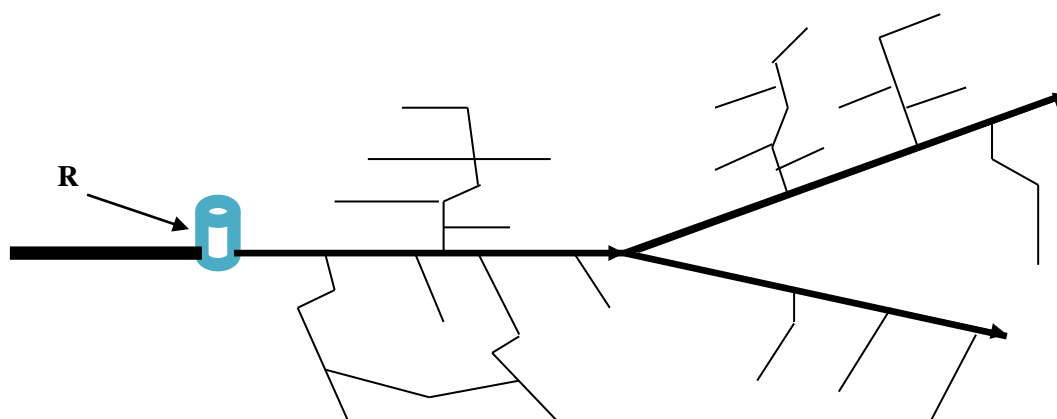


Figure (I.3) : Schéma représentatif d'un réseau ramifié (**R : réservoir**).

- **Avantage :** L'eau circule toujours de façon unilatérale dans les ramifications réduisant ainsi le risque de prolifération bactérienne.
- **Inconvénients :** En cas de coupure d'un tronçon, toutes les ramifications "filles" sont privées d'eau. La sécurisation de la desserte en eau est donc moins grande que pour un réseau maillé.

III.1.5) Comparaison entre le réseau maillé & ramifié :

Le tableau suivant représente une comparaison entre les aspects des deux types des réseaux d'Alimentation en eau potable :

Tableau(I.1) : Comparaison entre le réseau maillé & ramifié :

Aspect	Réseau ramifié	Réseau maillé
Pert de charge	Elèves	Faibles
écoulement	Risque des zones mortes aux extrémités	Satisfaisant
réparations	Risque de mise hors service d'une zone important suivant le point d'intervention	Risque plus faible de mise hors service d'une zone important suivant le point d'intervention
Frais de pompage	Elevées	Faible
Frais de mise en place	Faible	Elevées

III.1.3) Le réseau mixte :

C'est un réseau qui regroupe les deux types précédents (maillé + ramifié), il prend les mêmes avantages et aussi les mêmes inconvénients de deux réseaux, Ce type des réseaux est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville, par ramification issues des mailles utilisées dans le centre de cette ville.

III.2) Le réseau d'adduction :

C'est le réseau qui transport l'eau depuis la source de captage jusqu' aux réservoirs de stockage.

Ce réseau regroupe deux types :

III.2.1) L'adduction gravitaire : Où l'écoulement de l'eau à des pressions importantes est causé par la différence des niveaux hydrauliques : l'altitude de la source est supérieure à l'altitude du point de consommation, et se déplace donc grâce à la force de gravitation d'où son nom. C'est le principe du Château d'eau

III.2.2) L'adduction par refoulement : Où la pression sur le réseau et l'acheminement de l'eau se fait à l'aide de pompes à l'intérieur de stations de pompage.

III.3) Le Réseau de distribution :

C'est L'ensemble de toutes ces différentes canalisations avec l'ensemble des équipements qui les accompagnent forment le réseau de distribution. C'est l'infrastructure la plus importante du réseau global, car il s'étend sur toute la surface de l'agglomération, elle est constitué le réseau secondaire et comprend tous les canalisations d'un diamètre inférieur à **300millimètres** et les ouvrages permettant le transfert de l'eau entre le réservoir et les habitations des consommateurs.

La Distribution de l'eau potable, (**24h/24, 7 jours/7, 365jours/ans**)jours par an chez l'ensemble des usagers raccordés au réseau demande la mise en œuvre de techniques de plus en plus élaborées.

III.3.1) La structure d'un réseau de distribution :

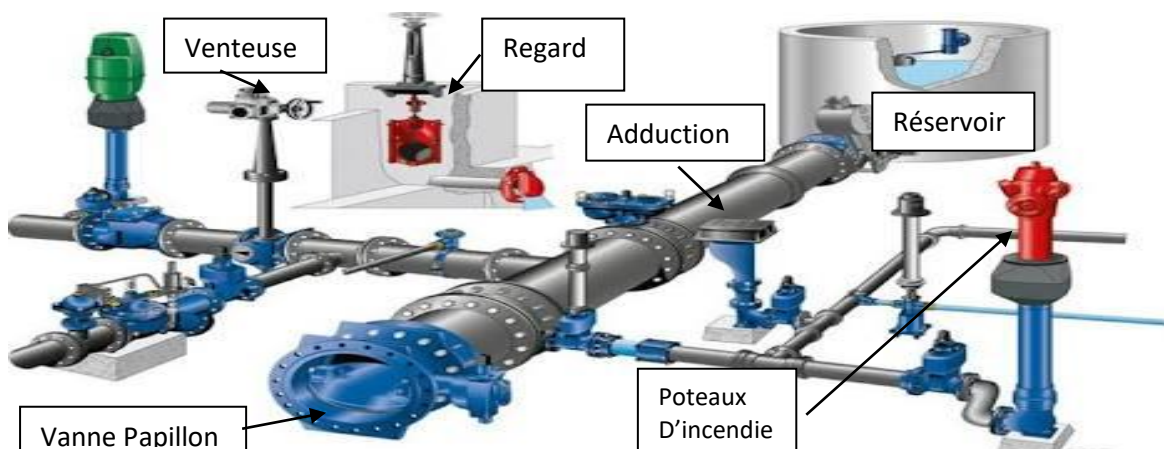
La structure d'un réseau de distribution d'eau potable compte différents éléments qui suivent le parcours de l'eau, de son pompage au consommateur final. [3]

- a) **Les ouvrages de pompage** : ils sont utilisés pour récupérer l'eau et alimenter l'ensemble du réseau. On utilise des stations de pompage, des stations de reprise ou des supprimeurs pour desservir les usagers.
- b) **Les réservoirs d'eau potable** : ils sont utilisés pour stocker l'eau et garantissent une pression minimale dans le réseau d'eau. Ces lieux de stockage peuvent être des châteaux d'eau ou des réservoirs semi-enterrés.
- c) **Les canalisations** : elles permettent le transport de l'eau potable jusqu'à l'abonné et forment un réseau. On parle de réseau maillé (zone urbaine) ou de réseau en structure arborescente (zone rurale) en fonction du schéma d'organisation du réseau. Les canalisations peuvent être en différents matériaux.
- d) **Les accessoires** : on compte nombre d'accessoires utilisés sur un réseau d'eau potable. Parmi eux, on peut citer : les compteurs d'eau, les ventouses, les régulateurs de pression et de débit, les poteaux et bouches à incendie, les clapets anti-retour, les purges, etc.
- e) **Le branchement** : il s'agit de la zone limite entre le réseau d'eau potable et l'abonné. Il est matérialisé par le compteur d'eau. [3]

Les réseaux de distribution d'eau potable comportent des accessoires destinés :

- ✓ A en faciliter la maintenance et l'entretien,
- ✓ A permettre de disposer de points de puisage sur le réseau
- ✓ A assurer la régulation de certains paramètres (débits, pression, hauteur d'eau,..) [4]

Le schéma suivante représenté les différentes organes et accessoires constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable :



Figure(I.4):schéma illustre les organes constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable.

III.3.2) Les branchements :

On appelle “*branchement*” le dispositif qui va de la prise d’eau sur la conduite de distribution publique jusqu’au compteur et au plus près de la limite publique / privé.

Les branchements constituent le raccordement des usagers au réseau de distribution. C'est la liaison entre le réseau public et le domaine privé.

De façon plus systématique, l'exploitant met en œuvre ou supervise les branchements sur conduite, et plus généralement sur l'ensemble des raccordements du réseau. Ces opérations s'effectuent de plus en plus sans interruption de la distribution, à savoir avec des conduites dites en plein charge.

III.3.2.1) Les principaux éléments constitutifs d’un branchement :

Il s'agit de la zone limite entre le réseau d'eau potable et l'abonné. Il est matérialisé par le compteur d'eau.

- ✓ Le collier et le robinet de prise en charge qui permettent de réaliser le piquage sur le conduit principal sans en arrêter le débit.
- ✓ La bouche à clef destinée à manœuvrer le robinet d'arrêt depuis le domaine public, pour ouvrir ou fermer l'alimentation en eau potable de l'habitation.
- ✓ Le tuyau de branchement vers le particulier, en *PVC* ou *PEHD*.
- ✓ Le regard de visite du compteur généralement placé à proximité de la limite de propriété de l'habitation.

IV) Les différentes Types des canalisations d’AEP :

La Distribution de l'eau potable jusqu'au robinet de l'utilisateur nécessite d'utiliser un réseau souterrain constitué de deux types des canalisations :

IV.1) Les conduites d'adduction :

Elles sont destinées au transport des gros débits d'eau, souvent entre la station de traitement et le réservoir. Elles ont un diamètre important, Leur installation nécessite du matériel Lourd, mais se fait en général en zone non encombrée.

IV.2) Les conduites de distribution :

Celles-ci sont utilisées pour desservir les domiciles des usagers. Leur diamètre est plus

petit, Leur installation ou leur réfection en zone urbaine nécessite du matériel de petite intervention et une extrême prudence.

On rencontre des canalisations AEP en différentes matières :

- ✓ Acier.
- ✓ Fonte ductile.
- ✓ Polychlorure de vinyle. (**PVC**)
- ✓ Béton armé à âme en tôle.
- ✓ Polyéthylène Haute Densité. (**PEHD**)
- ✓ Polyester Renforcé en fibres de Verre. (**PRV**)
- ✓ fonte grise, amiante ciment et plomb. (Ancien matériau)

Les photos suivantes représenté les déférents types des tuyaux d'AEP :



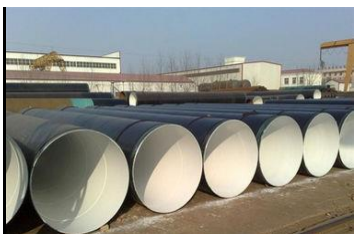
Tuyaux PVC Bi-orientés



tuyaux en fonte ductile



tuyaux en PRV



Tuyaux en Acier



tuyaux en PEHD



tuyaux en béton armé en tôle

Figure (I.5) : Les déférents types des tuyaux d'AEP.

IV.3) Choix du type des canalisations :

Pour Le choix est établi sur des critères d'ordre technique à savoir le diamètre, la pression de service, condition de pose et sur des critères d'ordre économique qui englobent le prix de la fourniture et le transport.

V) Les différents organes et accessoires constitutifs d'un réseau d'AEP :

L'alimentation en eau potable nécessite l'utilisation de plusieurs accessoires, Ainsi de suite en va illustrer une liste des accessoires et organe constitutifs des réseaux d'alimentation en eau potable avec la description de rôle de chaque des une qui sont la suite :

Les poteaux d'incendie : Ils permettent de fournir aux pompiers l'eau dont ils ont besoin pour combattre les incendies. Ils sont reliés aux conduites du réseau par des conduites de raccordement dotées d'une vanne d'isolement. Un poteau d'incendie doit comporter au moins deux prises latérales de 65 mm de diamètre et une conduite de 100 mm de diamètre si le débit excède 5000 l/mn [6]



Les ventouses : On installe des ventouses aux points élevés du réseau. Elles permettent d'un côté, de faire évacuer les quantités d'air qui s'y accumulent à la suite, par exemple, du dégazage de l'oxygène dissous, et de l'autre côté, de faire pénétrer l'air lorsqu'un vide se crée dans une conduite et évitent la création de pressions négatives qui risqueraient d'entraîner l'écrasement de la conduite. [6]



Robinet vanne : Ils sont placés au niveau de chaque nœud, et permettent l'isolement des différents tronçons du réseau lors d'une réparation sur l'un d'entre eux ils permettent ainsi de régler les débits, leur manœuvre s'effectue à partir du sol au moyen d'une clé dite « béquille » ; celle-ci est introduite dans une bouche à clé placée sur le trottoir (facilement accessible).



Clapet anti retour : Ils sont destinés à empêcher le passage d'un fluide dans certaines conditions. Ils sont surtout utilisés dans les stations de pompage au point bas des canalisations d'aspiration (désamorçage) ou sur la conduite de refoulement. [5]



Réducteur de pression : Cet appareil réduit et stabilise la pression du réseau à une valeur de consigne quelles que soient les variations de pression amont et de débit appelées dans la canalisation. La



pression aval agit directement dans la chambre de commande sous la partie haute du clapet par un orifice particulier. La pression aval est équilibrée à tout moment par l'action du ressort, ce qui provoque les déplacements du clapet lorsque le débit ou la pression du réseau varient. [5]

Le filtre : est destiné à protéger les appareils raccordés en aval en retenant les corps étrangers qui pourraient circuler dans la conduite. Sa forme permet une rétention efficace de ces derniers dans la cartouche filtrante. Est utilisable en réseau d'eau pour une pression de 16 bars [5]



Le compteur : est spécialement conçu pour le comptage de l'eau à fort débit et à écoulement relativement régulier. Ce compteur convient particulièrement bien pour les utilisations exigeantes, notamment en aval de pompes. [5]



Les robinets-vannes à papillon : sont conçus pour l'équipement des réseaux d'adduction et de distribution d'eau, les réseaux d'irrigation, les stations de traitement d'eau potable, les stations de pompage. [5]



La crépine : est un cylindre avec un fond - portant tous deux des perforations - et une bride folle de raccordement. Elle sert à arrêter les graviers et les corps étrangers qui pourraient endommager les appareils sur le réseau. Les crépines sont dimensionnées pour que le passage effectif soit au moins égal à la section de la conduite. [5]

Soupape de décharge : C'est un ressort à boudin qui, en exploitation normale, par sa compression, obture un orifice placé sur la conduite au point à protéger. En cas de surpression, il s'ouvre très rapidement pour libérer le débit de retour dans la conduite. Cette soupape ne s'ouvre que si la pression dans la conduite dépasse 5% de la pression maximale de fonctionnement normal. [6]

Les vannes d'isolement : permettent d'isoler certains tronçons qu'on veut inspecter, réparer ou entretenir. [7]

Les décharges : Une décharge est un robinet placé au point bas de la canalisation pour en permettre la vidange, l'évacuation s'effectue à l'égout le plus voisin ou si le point bas se

trouve hors de la ville, dans le fossé le plus proche. Ce robinet sera placé à l'intérieur d'un regard en maçonnerie et doit être facilement accessible. [7]

Les joints : Ils ont pour fonction d'assurer l'étanchéité des jointures des tuyaux et faire face aux sollicitations mécaniques et chimiques, constituent la partie la plus fragile de la canalisation à cause de leur souplesse, tout mouvement du tuyau s'articule sur le joint, ce qui provoque en lui des usures mécaniques. L'action des produits chlorés de l'eau et le dessèchement induisent le vieillissement des joints. Il existe trois principaux types de joints : mécaniques, à emboîtement et à bride. [7]

VI) Les problèmes rencontrés dans un réseau d'AEP :

Les réseaux d'alimentation en eau potable contiennent plusieurs problèmes de différentes origines :

- ✓ Les fuites.
- ✓ Le coup de bélier.
- ✓ Le bronchement illicite.
- ✓ Les erreurs de compteur.
- ✓ Les problèmes environnementaux.
- ✓ La chute de pression.
- ✓ Les ruptures est les cases des conduites est les différentes accessoires.
- ✓ Problèmes induisant la dégradation de la qualité d'eau.

VII) Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit d'une manière générale le réseau d'alimentation en eau potable, ainsi que les différents types des réseaux, et les différentes éléments et organes constitutif, ainsi Les problèmes rencontrent dans un réseau, et les différents problèmes correspondent de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable pour assurer leur bon fonctionnement. Le chapitre suivant comporte une description générale de la gestion des ressources en eau est de la gestion patrimoniale, les différentes défaillances correspondent le réseau d'alimentation en eau potable, et les différentes méthodes de gestion des réseaux d'alimentation en potable, ainsi la possibilité de l'application des méthodes multicritères à la gestion des ressources en eau, qui sera l'objectif de notre étude.

Chapitre II
Etat d'art sur la gestion des réseaux
d'AEP

Chapitre II

Etat d'art sur la gestion des réseaux d'AEP

I) Introduction :

La qualité de gestion des réseaux dépend de la connaissance des principes de la gestion patrimoniale efficace. En d'autres termes, la gestion de patrimoine d'un réseau est de minimiser le coût total de la réhabilitation et ce avant que des problèmes sérieux n'adviennent, c'est-à-dire de réhabiliter le bon tronçon, au bon moment, en utilisant la bonne technique de réhabilitation pour un coût total à minimiser. [22]

La mise en œuvre d'une gestion technique efficace des installations de protection et de distribution d'eau est un enjeu majeur pour les collectivités locales comme pour les particuliers elle passe par la recherche d'une adéquation permanente entre ressources en eau et besoins. Pour l'exploitation des ouvrages de production et de distribution d'eau doit anticiper sur l'évolution de la demande pour être en mesure de prendre rapidement que possible les décisions de gestion adéquates afin d'assurer le bon fonctionnement du réseau.

Dans ce chapitre nous avons essayé de mettre les points sur, la gestion des ressources en eau de façon générale et la gestion patrimoniale, les différentes défaillances correspondent le réseau d'alimentation en eau potable, et la modélisation des réseaux d'alimentation en eau potable, ainsi l'application des méthodes multicritères à la gestion des ressources en eau.

II) La gestion de l'eau :

II.1) Définition :

La gestion de l'eau c'est l'activité qui consiste à planifier, développer, distribuer et gérer l'utilisation optimale des ressources en eau, des points de vue qualitatif et quantitatif. Ceci inclut la gestion des risques « quantitatifs » de sécheresse et pénurie, crues, intrusions marines et celle des eaux pluviales. Dans un contexte de marchandisation l'eau est de plus en plus perçue comme une ressource naturelle précieuse et un bien commun à

partager avec les autres êtres vivants de la planète ; une ressource limitée et inégalement répartie, à utiliser de manière économe et à dépolluer avant de la rendre au milieu naturel. Donc la gestion rationnelle des ressources en eau douce est une des principales préoccupations des sociétés humaines. Puisque l'eau est considérée maintenant comme un bien social et économique précieux.

II.2) Les objectifs de la gestion de l'eau :

Les actions de gestion de l'eau sont de court, moyen et long termes et pour certaines doivent concerner tout un bassin versant. Elles concernent donc de nombreux acteurs (dont collectivités publiques, entreprises agriculteurs et habitants). Pour cela la gestion de l'eau s'articule autour d'un certain nombre de points portant qui sont la suivante :

- ✓ La fourniture d'eau potable aussi bien dans les villes que les campagnes.
- ✓ La prévention des pollutions chroniques ou accidentelles d'origine domestique agricole ou industrielle.
- ✓ La lutte contre les risques liés à l'eau :(inondation, érosion, sécheresse,...etc.).
- ✓ L'approvisionnement des populations en eau potable et le traitement de leurs eaux usées.
- ✓ L'approvisionnement en eau des industries et de l'agriculture qui fournissent les biens de consommation.

II.3) La gestion des réseaux d'AEP :

La gestion d'un réseau d'AEP s'articulé principalement d'assurer les fonctions de production, stockage et distribution.

La gestion classique des réseaux présente beaucoup d'inconvénients. Cette gestion est également très limitée, les informations caractérisant les réseaux représentés sont portées sur le support en même temps que les objets graphiques eux-mêmes. Ceci peut provoquer une surcharge du support pouvant rendre illisibles certaines informations. [10]

II.4) La Gestion informatisée des réseaux d'AEP :

La complexité des réseaux d'eau potable et la difficulté éprouvée par les gestionnaires de prévoir les phénomènes hydrauliques qui s'y déroulent, fait de la gestion informatisée une opération indispensable, rendue possible grâce aux progrès de l'informatique. [11]

Elle permet en effet :

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

II.5) La gestion et l'archivage des données des défaillances :

L'historique des défaillances et anomalies permet de mettre en évidence les problèmes récurrents du réseau et ses secteurs sensibles. A défaut d'avoir celui des années précédentes, un historique des casses et interventions doit désormais être enregistré.

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 dépose ou de mise hors service du tronçon.

La constatation d'une défaillance peut également résulter d'une démarche active de recherche de fuite. [12]

III) La gestion patrimoniale :

III.1) Définition :

La gestion patrimoniale est une approche à long terme qui tient compte de l'état du patrimoine tout au long de son cycle de vie dans le but d'assurer le niveau de performance requis avec un facteur risque donné, le tout dans un contexte économique contraint. En particulier c'est la planification de renouvellement, elle demande une connaissance précise des infrastructures. Celle-ci se fait à travers la réalisation et la mise à jour des plans, le recensement des incidents, la programmation du renouvellement. [12]

la gestion des patrimoines est un processus systématique de maintien, de mise à niveau et d'exploitation rentable des biens physiques. Elle associe les principes d'ingénierie, les pratiques commerciales et la théorie économique, et fournit des outils qui favorisent une démarche plus organisée, logique à l'égard du processus de décision.

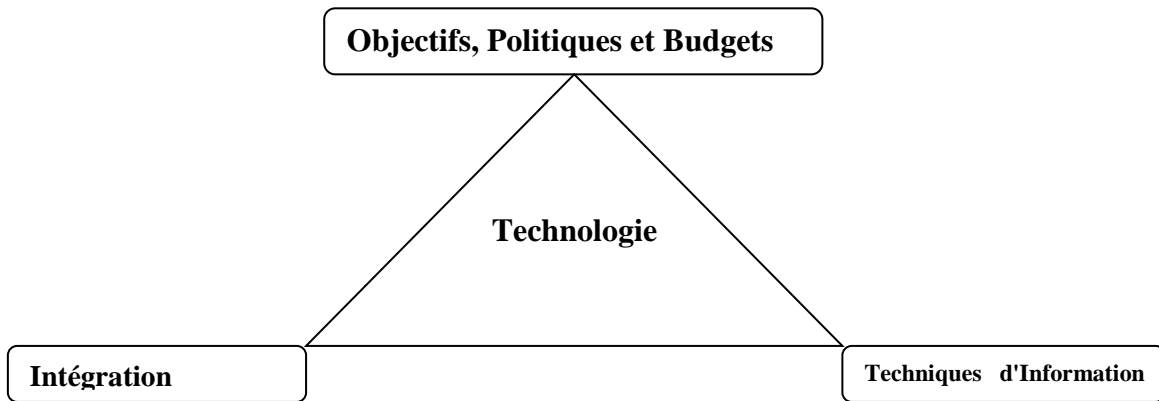


Figure (II.1) : *exemple d'une gestion stratégique du patrimoine.* [22]

Donc La gestion patrimoine est l'ensemble des techniques qui permettent d'optimiser les actifs et donc d'améliorer sa capacité d'enrichissement. En effet, rappelons que l'ensemble des actifs contribuent à l'enrichissement financier d'une personne physique ou morale. Ainsi la gestion de patrimoine touche des domaines assez divers.

III.2) Les paramètres de La gestion patrimoniale :

La connaissance des données patrimoniales est essentielle pour une bonne gestion, les paramètres d'exploitation de l'ouvrage doivent absolument être mis à la disposition des exploitants. La base de données qui permet de disposer de l'ensemble des paramètres patrimoniaux regroupe notamment : [22]

- ✓ La coupe technique de l'ouvrage.
- ✓ Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau.
- ✓ La position du niveau statique et du niveau dynamique à différents débits.
- ✓ Le débit spécifique de l'ouvrage.
- ✓ Le débit maximum d'exploitation à ne pas dépasser.

Un exploitant ne peut pas gérer correctement ces ouvrages sans avoir connaissance de ces informations patrimoniales.

III.3) Les objectifs de la gestion du patrimoine :

Ces objectifs sont variés et différent d'une personne à une autre :

- ✓ Constituer et développer son patrimoine, son épargne.
- ✓ Garantir son patrimoine.
- ✓ Optimiser sa fiscalité (*Impôt sur le revenu ou ISF*).
- ✓ Rentabiliser ses investissements.
- ✓ Protéger ses proches.
- ✓ Acquérir un bien.
- ✓ Préparer sa retraite.
- ✓ Transmettre à ses proches.

III.4) La gestion patrimoniale d'un système d'alimentation en eau potable :

Dans le cas d'un système d'alimentation en eau potable cela peut donc se définir comme un processus de planification visant l'optimisation, de : la conception, la fourniture et la réalisation des infrastructures, la maintenance de l'ensemble du système, et la mise hors service de ces infrastructures.

Et se traduisant par un ensemble d'actions à entreprendre à court, moyen et long terme devant permettre d'atteindre et de maintenir sur le long terme, tout en garantissant un prix de l'eau acceptable pour les consommateurs, un niveau de performance du service d'eau. Ce processus doit, en permanence, s'adapter à : [12]

- ✓ la réglementation.
- ✓ les attentes des usagers.
- ✓ la situation de la ressource en eau.
- ✓ les conventions et/ou contrats de délégation.
- ✓ les conséquences prévisibles pour les générations futures.
- ✓ le contexte budgétaire et financier y compris l'accès aux emprunts et subventions.

IV) Défaillances d'un système d'AEP :**IV.1) Définition :**

On appelle défaillance toute détérioration pouvant provoquer ou accentuer le risque de dysfonctionnement du réseau (ou de l'un de ses éléments), ou la diminution de son rendement [8].

IV.2) Les différents types de défaillances :

L'apparition de dégradations ponctuelles ou récurrentes témoigne d'une défaillance dans le réseau de distribution d'eau. Les répercussions sont variées et peuvent entraîner risques sanitaires ou simples désagréments auprès des abonnés, ruptures, percements, fuites, ... Il est donc primordial d'avoir une connaissance de l'ensemble de ces phénomènes pour pouvoir prétendre à une identification précise sur le terrain. [2]

IV.2.1) Diminution de la capacité de transport :

La réduction du diamètre et/ou l'augmentation de la rugosité réduisent les capacités hydrauliques du réseau. Cette défaillance est engendrée par l'entartrage calcaire sur les conduites sans revêtement interne, mais aussi par l'apparition de protubérances corrosives, responsables également de chutes de pression. A 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. [7]

IV.2.1.1) Les 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.[7]

a) Cause des fuites :

- ✓ Rupture ou mauvaise étanchéité des conduites, Excès de pression.
- ✓ Joints détériorés ou mal exécutés
- ✓ Corrosion.
- ✓ Glissements de terrains.

b) Effets des fuites :

- ✓ Perturbation de la circulation suite aux inondations.
- ✓ Risque de retour d'eau.
- ✓ Risque de dégradation de la qualité de l'eau suite à l'introduction d'eau polluée.

IV.2.1.2) Les pertes : Dans un réseau, d'alimentation en eau potable on distingue deux types de pertes et leurs causes sont diverses : [7]

a) Les pertes techniques : elles sont dues :

- ✓ Au débordement des réservoirs dues soit mauvais fonctionnement du flotteur ou de la vanne de vidange.
- ✓ Aux fuites sur conduites et branchements particuliers engendrées par les casses et leurs différentes causes.
- ✓ Aux fuites sur robinets, vannes et colliers dues à un mauvais serrage des joints, des presses étoupent des vannes et des colliers de prise.

b) Les pertes administratives : ce sont les eaux consommées mais non comptabilisées.

On citera :

- ✓ La consommation des organismes publics.
- ✓ La défectuosité ou l'insensibilité des compteurs.
- ✓ Absence de compteurs chez les abonnés.
- ✓ Pertes par branchements illicites.

IV.2.1.3) Les casses (ruptures) : Une rupture ou une casse est définie comme étant une détérioration induisant un arrêt momentané de l'alimentation en eau et qui nécessite une intervention sur le réseau. [7]

a) Les causes des ruptures :

- ✓ Mouvement du sol.
- ✓ Coup de bélier.
- ✓ Travaux de chantier.
- ✓ Trafic routier intense.
- ✓ Mauvaise conditions de pose.

b) Les effets des ruptures :

- ✓ Fuites et leurs conséquences.
- ✓ Risque d'introduction d'eau polluée.
- ✓ Interruption de l'alimentation en eau des abonnés.

IV.2.2) Dégradation de la qualité de l'eau :

De la source jusqu'à son arrivée aux usagers, l'eau peut subir de très nombreuses modifications de sa qualité intrinsèque. [7]

Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans le réseau est indispensable pour les services d'exploitation afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels tels que les risques sanitaires. Les facteurs susceptibles de provoquer la dégradation de la qualité de l'eau [2]

IV.2.2.1) 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.

a) Corrosion interne : Elle est liée à la qualité de l'eau et à ses différentes caractéristiques, elle peut provenir :

- du pH, du taux d'oxygène dissous, de l'écart par rapport à l'équilibre calco carbonique.
- de 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.
- du développement d'un bio-film bactérien sur les parois affectant inévitablement tous les types de conduites.

De plus, la corrosion des conduites et la formation de dépôts sont favorisées :

- par une stagnation de l'eau dans le réseau, notamment dans les conduites en attente, les zones soumises aux variations saisonnières importantes de population et les canalisations surdimensionnées.
- par une turbidité et des concentrations en ions métalliques élevées.

Des risques de contamination sont à craindre lorsque le bio film se développe ou lorsqu'une plus forte consommation de chlore est enregistrée. 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.

b) Corrosion externe : La corrosion externe correspond à un échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite, avec des origines diverses telles que :

- 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 ». [2]

c) Phénomène d'entartrage : Le transport d'une eau incrustante peut provoquer un entartrage des conduites. La formation de ces dépôts calcaires a des répercussions internes sur la qualité de l'eau et sur son écoulement par réduction de la section utile de la conduite.[2]

d) Les phénomènes biologiques : L'eau traitée produite dans les stations de traitement d'eau potable par le réseau jusqu'aux usagers n'est jamais stérile. On parle d'ailleurs de désinfection et non de stérilisation. Un certain nombre de microorganismes est introduit dans le réseau (*pour les germes totaux, le niveau guide est par exemple de 10 germes / ml pour un dénombrement à 37° C*) :

- ✓ D'une part, parce que les procédés physico-chimiques classiques de traitement ne permettent pas d'assurer une élimination totale des micros organismes.
- ✓ D'autre part, parce que diverses situations d'exploitation en usine peuvent conduire à des relargages (mauvais rinçage des filtres, distribution des premières eaux produites par la filtration après lavage...).

A l'intérieur du réseau, ces bactéries qui ont été seulement blessées ou stressées par les opérations de traitement de l'eau, peuvent se réanimer ou se réparer en fonction de paramètres tels que la température, les nutriments présents et bien sûr le temps. Par ailleurs, dans le réseau, certains points offrent des voies d'entrée à la contamination par des micros organismes. C'est le cas des réservoirs où l'eau est en contact avec l'air, et où les orifices mal protégés peuvent permettre le passage de poussières ou d'insectes apportant des contaminations.

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

La biomasse libre dans le réseau se fixe sur les parois des canalisations, qu'elle soit morte ou vivante et constitue un premier support pour le développement de couches supérieures plus actives. Si ces organismes rencontrent des conditions ambiantes satisfaisantes, le développement d'un bio-film sur les parois peut avoir lieu. On peut définir simplement le bio-film comme l'ensemble des micro-organismes et de leurs sécrétions macro cellulaires présents sur la surface interne de la conduite. C'est cependant, un système dynamique où s'installe une chaîne alimentaire complexe qui se développe jusqu'à obturation de toute la section interne. [2]

IV.2.3) Les interruptions : Une interruption est un arrêt momentané de l'alimentation en eau dans la durée réservée à la distribution. Cet arrêt dû soit au dysfonctionnement de quelques ouvrages hydrauliques (pompe, réservoir ...etc.), soit à une réparation d'une fuite, soit à une action ayant pour but d'éviter un danger qui menace la population (inondation, dégradation de la qualité de l'eau), soit à un sabotage sur le réseau. [7]

IV.2.4) Les plaintes des consommateurs : Les plaintes des usagers ne sont en réalité que les conséquences des différentes défaillances qui surviennent sur le réseau.

Elles sont dues au non satisfaction vis-à-vis de la qualité de service. Le plus souvent, on enregistre des plaintes sur le manque de pression, sur la qualité de l'eau et les interruptions fréquentes d'alimentation en eau. [7]

IV.2.5) Facteurs liés à la conception et à la gestion du réseau :

IV.2.5.1) Le temps de séjours et la vitesse d'écoulement :

La conservation de la qualité de l'eau est facilitée par la réduction du temps de séjour dans le réseau. Les stagnations d'eau favorisant corrosion et dépôts apparaissent dès que la vitesse de l'eau est inférieure à 0,5 m/s. [21]

IV.2.5.2) Le choix des matériaux :

Les interactions entre l'eau et les matériaux du réseau peuvent être à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau distribuée. [21]

V) La Modélisation des réseaux d'Alimentation en eau potable :**V.1) Définition :**

La modélisation est une représentation logique et mathématique du comportement du système réel dans un contexte donnée et une problématique donnée, le modèle prend dans la majorité des cas la forme d'une série d'hypothèse concernant le fonctionnement du système et qui sont exprimer à l'aide de relation mathématique, logique ou symboliques entre les entités. Ces modèles sont dite analytiques. Lorsque le système est assez complexe à modéliser de manière analytique, les praticiens utilisent un modèle descriptif qui détaille les différents évènements et actions décrivant son comportement. [14]

De façon générale c'est une Représentation numérique virtuelle du réseau de distribution d'eau potable permettant de simuler, d'une part, son fonctionnement dans son état actuel et, d'autre part, l'effet de modifications des infrastructures existantes ou des conditions d'exploitation.

Dans cette étape, on procèdera à :

- ✓ La récolte et la saisie des données de base du logiciel utilisé.
- ✓ Une série de simulation du fonctionnement du réseau sous différents.
- ✓ scénarios possibles et imaginables.

V.1) Les déférentes des modèle :

La représentation et la précision du modèle sont tributaires des objectifs du service de l'eau et des analyses escomptées, le niveau de détail conditionne donc les résultats de la modélisation. Distingue plusieurs types de modèles : [2]

V.1.1) Modèle pour le dimensionnement du réseau :

Le modèle permet de vérifier pour une configuration donnée du réseau, la satisfaction des exigences des abonnés en termes de pression et de débit. L'intérêt est de dimensionner les conduites et dispositifs hydrauliques. L'état des conduites et la demande sont supposés connus. Le niveau de détail est important, toutes les conduites sont représentées.[2]

V.1.2) Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic :

Dans ce cas, le modèle cherche à décrire le fonctionnement d'un réseau existant, par la détermination de l'état des conduites à travers la mesure de la rugosité des conduites et la

demande des abonnés. Pour un réseau, des données liées à la topologie du réseau, les types des conduites, la typologie des consommateurs ainsi que des mesures de pression et débits en des points du réseau sont supposés connus. Un calage du modèle permet de déterminer certains paramètres inconnus : rugosité, consommation afin de s'approcher le plus possible du fonctionnement réel du réseau.[2]

V.1.3) Modèle pour la gestion du réseau :

Dans ce cas, le modèle servira à décrire le comportement des sources d'approvisionnement, des zones de stockage et des stations de pompage. L'intérêt de ce type de modèle est d'optimiser l'exploitation des sources d'eau et de minimiser les coûts d'exploitation du réseau en régulant le pompage et le stockage de l'eau dans la journée. Ce modèle ne retient que les conduites de grand diamètre servant au transport et à la distribution de l'eau.[2]

V.1.4) Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau :

Dans ce cas, le modèle cherche à décrire les temps de séjour (stagnation) de l'eau dans le réseau. En effet, des temps de séjours importants altèrent la qualité de l'eau dans le réseau. L'objet du modèle est de mesurer l'évolution d'un produit, à titre d'exemple le chlore, dans le réseau et d'en mesurer les concentrations à des points précis du réseau.[2]

V.2) Modélisation fonctionnelle du réseau d'AEP :

Un réseau d'AEP a pour mission principale d'assurer les fonctions de production, de stockage et de distribution tout en satisfaisant une clientèle toujours exigeante en qualité et en quantité, Ces trois principales fonctions sont modélisées en tenant compte de certaines mesures techniques qui conditionnent les données d'entrée et les résultats de sortie pour chaque fonction étudiée.[15]

La modélisation du fonctionnement du réseau doit décrire le comportement réel du réseau. En fonction de l'utilisation du modèle, un niveau de détail doit être défini. Le modèle ne considérera que certaines conduites du réseau et certains abonnés seront rassemblés sur des nœuds afin de simplifier la modélisation. Il n'existe pas de règles précises pour la simplification de réseau, mais certaines sont fréquemment utilisées :

- ✓ Suppression des conduites de petits diamètres ou de petites longueurs.
- ✓ Suppression des conduites en antenne.
- ✓ Suppression des nœuds intermédiaires.

- ✓ Agglomération de plusieurs abonnés en un même nœud.
- ✓ Concaténation de conduites de même diamètre et même matériau.
- ✓ Distinction entre abonnés de natures différentes : domestique, industriel, autres.

Une multitude de logiciels permettent de simuler le fonctionnement du réseau d'eau potable et des ouvrages de stockage, de production et de régulation, sur une période donnée, en tenant compte de la répartition des consommations domestiques, et éventuellement industrielles et artisanales, au cours de la journée .

V.3) Intérêts de la modélisation des réseaux d'AEP :

La modélisation des données est une étape fondamentale dans la conception des bases des données qui seront utiles pour la gestion du réseau d'eau potable elle permet de traduire le monde réel par toute sa complexité, et par des structures de données. [10]

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

V.3.1) Du point de vue hydraulique :

- ✓ Connaitre le fonctionnement hydraulique du réseau sur les déférant horizon actuelle et future et aussi d'estimer les besoins en renforcement et en extension du réseau enter mes d'infrastructure.
- ✓ D'obtenir une vision du fonctionnement du réseau en toute condition au degré de précision désiré.
- ✓ Permet de déterminer les défaillances et les points noirs non apparents sur notre réseau qui serait la base pour l'établissement des plannings de gestion et de renforcement à court et long termes. [10]

V.3.2) Du point de vue économique :

- ✓ Coté exploitation, elle permet d'étudier les situations critiques liées à l'indisponibilité des ressources, d'ouvrages de stockages ou de pompages ou d'une canalisation maitresse, ou de rechercher les dépositions les mieux adaptées pour les couts d'exploitation.
- ✓ Un outil d'aide à la décision pour l'établissement des programmes de d'développement durable et des projets de mobilisation à l'échelle sectorielle. [10]

V.3.3) Du point de vue sécurité :

- ✓ Elle permet d'intervenir plus rapidement, et limiter les dégâts qui peuvent être rencontrés en cas d'incendie ou de contamination. .
- ✓ Elle permet aussi de classer, d'identifier les zones selon leurs degrés de risque, et de planifier les méthodes d'intervention à l'avance. [10]

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

VI) La possibilité d'application des méthodes multicritères à la gestion des ressources en eau :

Concernant les problèmes d'ingénierie ou de gestion liés aux ressources en eau, l'application des méthodes d'aide multicritère à la décision remonte au début des années soixante-dix déjà. Suggèrent leur utilisation pour le développement d'une gestion convenable des ressources en eau. Bien que, beaucoup reste encore à faire pour l'application des approches multicritères à de réels problèmes de design et d'aménagement en ingénierie impliquant des objectifs conflictuels comme le soulignent.[16][17][18]

Parmi les différentes méthodes employées, on trouve les méthodes de surclassement de synthèse qui constituent une des approches les plus prolifiques en aide multicritère à la décision. L'idée est de construire des relations binaires en comparant par paire toutes les actions potentielles pour ensuite les exploiter de sorte à obtenir une recommandation finale. Dans cette catégorie, les méthodes de la famille *ELECTRE* et *PROMETHEE* sont bien connues et ont été appliquées dans divers problèmes concrets, Notamment en gestion des ressources en eau. Ainsi proposent une méthodologie pour la "priorisation" de l'allocation des ressources en eau dans une région de Pologne en utilisant la méthode de surclassement. *ELECTRE III*. [19][16]

D'autres méthodes de la famille *ELECTRE* ont été utilisées (*ELECTRE :I,II, III, IV*) dans la gestion des ressources en eau pour l'allocation de ressource ou de projet. Ont aussi utilisé la méthode *PROMETHEE* dans une étude de cas sur la gestion des ressources en eau en Espagne. [20]

D'autres familles de méthodes ont aussi été employées dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Il s'agit notamment des méthodes de critère unique de synthèse. C'est une classe de méthodes fondées sur l'agrégation complète des critères en un critère unique. C'est le cas de *AHP*. [18]

VI) Conclusion :

Ce chapitre comporte trois parties principales : Nous allons d'abord décrire la gestion des ressources en eau de façon générale, la gestion patrimoniale et ces objectifs, La seconde partie portera, les différentes défaillances susceptibles de se manifester dans un réseau d'A.E.P, La modélisation des réseaux d'AEP, Enfin la dernière partie aura pour objet de la possibilité de l'application des méthodes multicritères à la gestion des ressources en eau, qui sera l'objectif des chapitres suivantes.

**Chapitre III :
Les modèles de gestion des réseaux
d'AEP**

Chapitre III :

Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

I) Introduction :

Pour décrire la réalité complexe de l'hydraulique et de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable, un important effort de développement des modèles mathématiques a été réalisé, depuis trente ans. Cet effort a été grandement favorisé par le développement des moyens informatiques. [2] D'autre part, de concevoir, dimensionner et planifier les aménagements rendus nécessaires par l'évolution des consommations ou de la réglementation en matière de sécurité.

L'objectif de ce chapitre est de mettre le point sur les différentes méthodes et approches d'aide à la décision, et de faire une description générale sur les méthodes d'analyse multicritères. [7]

II) La Modélisations de détérioration des infrastructures :

Différents modèles de dégradation ont été développés et utilisés dans la littérature, ils utilisent en général des échantillons d'inspection.

Les modèles de détérioration des infrastructures sont classés en trois grands groupes, Ils sont ainsi repartis en : Modèles déterministes, modèles statistiques et modèles centrés sur l'intelligence artificielle. [22]

II.1) Modèles déterministes :

Les modèles déterministes sont compris comme des modèles mathématiques déterminés entièrement par des équations. Ces modèles permettent de relier un type de défaut ou un état structurel ou fonctionnel à un paramètre identifié. On peut les ranger en deux sous-groupes. [22]

- ✓ *Régression linéaire.*
- ✓ *Régression exponentielle.*

II.2) Modèle centré sur l'intelligence artificielle :

C'est au congrès de Dartmouth de 1956 que le terme « intelligence artificielle » a été officiellement utilisé pour la première fois. Il renvoie au projet de mise en œuvre de modèles rendant des machines capables de résoudre des problèmes. Dans cette famille des modèles, le réseau des neurones, la logique floue et le raisonnement à base de cas (CBR) ont fait l'objet d'application extensive dans la simulation de la détérioration des conduites.

Parmi les études basées sur la logique floue pour déterminer l'état structurel des conduites, on peut citer celle de Rajani et ses collaborateurs (2006) et Kleiner et ses collaborateurs (2006b) pour prédire l'évolution de la conduite. L'un des désavantages de cette méthode c'est la subjectivité lorsqu'il est question d'établir les règles de déduction par les experts.

Parmi les travaux basés sur le réseau des neurones, on peut citer ceux de Moselhi et ses collaborateurs(2000) pour calcification des défauts des conduites et ceux d'Al-Barqawi et ses collaborateurs(2006), pour ce qui est de la détérioration et la gestion des conduites d'eau. [22]

Le raisonnement à base de cas (CBR) est une approche de résolution de problèmes qui contient au moins deux parties : une description de situation représentant un "problème" et une "solution" utilisée pour résoudre le problème. Cette approche est juste pour les domaines où la similarité entre les descriptions de problèmes nous donne une indication de l'utilité des solutions antécédentes (*La montagne et col, 2002*).

L'un des désavantages de cette méthode c'est la subjectivité dans le processus décisionnel ainsi que la disposition des données importantes afin d'arriver à des conclusions acceptables. [22]

II.3) Le Modèles statistiques :

C'est une manière simplifiée et formalisée mathématiquement d'approximer la réalité, en d'autres termes, de décrire les processus qui génèrent vos données. Optionnellement, elle permet de faire des prédictions à partir de cette approximation. Le modèle statistique est l'équation mathématique utilisée. [45]

Les modèles statistiques ou stochastiques sont des modèles mathématiques décrits par des équations de probabilité. Ils simulent des processus qui dépendent du hasard, En dépit des avantages, ces modèles posent néanmoins un problème en ce qui concerne leur validation, les données sont souvent insuffisantes (*Baik et col.2006*). Trans (2007) a montré que l'utilisation de réseaux de neurones est plus efficace en divisant la base de données en deux groupes, le premier groupe pour calibrer le modèle, et le second comme un échantillon

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

pour valider le modèle. Selon (Syachrani, 2010 ; Ana et Bauwens 2010 ; Egger et col. 2013) l'un des principaux problèmes avec les modèles de détérioration en cours est que la plupart d'entre eux sont très rigides, car ils sont conçus pour un environnement idéal. Certains modèles nécessitent de vastes bases de données pour calibrer et valider ces modèles. [22]

III) Les différentes modèles mathématiques :

Les modèles mathématiques, d'une façon très générale, sont constitués D'un ensemble de variables, choisies pour représenter l'objet étudié. Et D'un ensemble de relations mathématiques entre ces variables, choisies pour représenter son fonctionnement. Ces relations, qui doivent permettre de calculer les variables de sortie en fonction des variables d'entrée, font aussi intervenir d'autres paramètres. Cette imitation recouvre deux fonctions essentielles, complémentaires et indispensables :

L'une de représentation simplifiée de la réalité, perçue d'un certain point de vue par le modélisateur, à travers un filtre conceptuel : un modèle est donc une interprétation et non simple reproduction, L'autre, d'instrument d'étude de cette réalité, conçu pour répondre à un certain objectif guidant l'ensemble des choix faits au cours de la modélisation : un modèle est donc aussi une représentation orientée et sélective.

D'où le caractère doublement relatif d'un modèle, qui dépend tout à la fois de la justesse des Conceptions et hypothèses sur lesquelles il repose et de l'objectif poursuivi. Ainsi, il est nécessaire, bien que cela soit trop souvent oublié, d'explicitement clairement les objectifs poursuivis, les choix, hypothèses et approximations de l'outil, et enfin, définir si c'est possible, les limites de son domaine de validité et donc définir son champ d'application[13].

III.1) Les modèles des systèmes de gestion de base de données SGBD :

Les modèles des systèmes de gestion de base de données utilisés se distinguent par la façon dont sont représentées les relations entre les données. La plupart des modèles traitent de manière identique les relations d'attributs, la différence existe dans le traitement des associations. Les modèles existants sont :

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

III.1.1) Le modèle hiérarchique :

Les données dans ce modèle sont représentées sous forme d'arbre par des enregistrements logiques reliés. La structure arborescente du modèle fait apparaître plusieurs niveaux d'informations successivement décroissantes et univoques, ce qui impose un chemin d'accès unique ; Un nœud père peut avoir plusieurs fils, un fils ne peut exister indépendamment de son père. L'inconvénient de ce modèle est principalement la redondance et la dissymétrie. En revanche, l'avantage d'un tel modèle est la représentation directe des liens et une rapidité lors de la recherche des données si la hiérarchie est bien définie au préalable. [23]

III.1.2) Le modèle réseau :

Ce modèle permet de remédier aux inconvénients du modèle précédent, à savoir la redondance et la dissymétrie. L'organisation des données est structurée en enregistrements. Les associations entre les ensembles d'entités sont représentées par des liens multiples. L'accès aux données n'est pas uniquement limité aux chemins descendants / ascendants, les relations sont donc de tous types. La recherche d'une donnée peut être lente et dépend beaucoup de la structure de la base. [24]

III.1.3) Le modèle orienté objet :

Le but de sa conception récente est d'assurer globalement la cohérence, la sécurité, l'intégrité et la fiabilité des données géographiquement regroupées en un contexte unique d'objet. [23]

III.1.4) Le modèle relationnel :

Ce modèle envisage l'organisation de données sous forme des tables à deux dimensions, dans lesquelles les lignes sont des enregistrements et les colonnes des attributs. Ce modèle possède plusieurs objectifs :

- ✓ Proposer des schémas de données faciles à utiliser.
- ✓ Améliorer l'indépendance logique et physique.
- ✓ Optimiser les accès à la base de données.
- ✓ Améliorer l'intégrité et la confidentialité.
- ✓ Prendre en compte une variété d'applications.

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

Le système de gestion de base de données relationnel a réussi à s'imposer en tant que système et modèle dans le monde de l'informatique. [24]

IV) Les méthodes mathématiques d'analyse multicritère :

Ces méthodes sont issues principalement des travaux de *Thomas L.Saaty* et du chercheur *Bernard Roy*, créateur du Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision (*LAMSADE*).

Ont pour but la résolution des problèmes d'Aide à la décision multicritère. Elles constituent une étape importante du processus de décision, qui suit celle d'identification et de définition du problème, et aboutissent au choix d'une ou plusieurs solutions optimales (s), parmi un ensemble discret de solutions, via une procédure de sélection. Elles permettent également de répondre aux problématiques et de rangement, par l'intermédiaire d'une procédure d'affectation et de classement respectivement. Elles sont confrontées à deux limites : l'une liée au manque de données fiables sur une durée suffisante, ce qui peut empêcher la construction ou la validation de la méthode ; l'autre liée à la technicité inhérente à de telles méthodes puisque ces dernières nécessitent l'usage de concepts délicats qui peuvent déboucher sur des résultats erronés ou une analyse confuse. Ces méthodes héritent également des problèmes informatiques, notamment celui de l'explosion combinatoire. [25]

Les méthodes multicritères sont généralement classés comme discrète ou continue, selon le domaine des alternatives. La première traite un nombre, généralement limités, et pré-spécifié d'alternatives. La dernière traite des valeurs de décision variables a déterminé dans un domaine continu ou entier d'un nombre de choix très grand ou infini. Plusieurs auteurs ont classés ces méthodes comme :

- ✓ *aide à la décision multi-attribut (ADMA).*
- ✓ *l'aide à la décision à objectifs multiples (ADOM).*

IV.1) Les méthodes d'analyse multicritères :

On distingue trois types des méthodes d'optimisations multicritères :

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

IV.1.1) La méthode de l'utilité multi-attributs :

Cette méthode repose sur le principe suivant : le scientifique pose des questions parfois difficiles et pertinentes au décideur, les réponses de ce dernier lui permettent de maximiser ou minimiser une fonction $U=U(g1; g2;.....gn)$ en posant des hypothèses mathématiques trop forts. Avec : $g1; g2; gn$, sont les points de vue prise en compte par le décideur. [21]

IV.1.2) Les méthodes de surclassement :

Contrairement à la méthode précédant, les méthodes de surclassement permettent à l'homme d'étude d'éviter l'introduction des hypothèses mathématiques trop forts et les questions difficiles pour le décideur, dans ces méthodes, l'homme d'étude essaye d'enrichir la relation de surclassement (dominance) par des éléments peu discutables, c'est-à-dire par les préférences solidement établies par le décideur. [21]

IV.1.3) Les méthodes interactives :

Elles consistent en une alternance d'étapes de calculs et de dialogue avec le décideur. La première étape de calcul fournit une première solution en apportant des informations supplémentaires sur ses préférences (étape dialogue).

Ces informations sont injectées dans le modèle utilisé par l'homme d'étude et permettant de fournir une nouvelle solution (nouvelle étape de calcul) cette alternance d'étapes poursuit jusqu'à atteindre la solution optimale. [21]

V) L'Aide à la décision :

V.1) Définition :

Roy a défini l'aide à la décision comme : « l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités, mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part ». [25]

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

L'aide à la décision a été définie par Roy (1992) comme étant un ensemble des techniques basées sur la représentation numérique telle que la pondération et la notation des différentes alternatives. Ces techniques permettant aux décideurs de vérifier et d'analyser rapidement les informations afin de pouvoir prendre la décision a priori la plus adaptée.[26]

V.2) Processus d'aide à la décision :

Les activités d'aide à la décision s'articule autour d'un « processus de décision » l'activité d'aide à la décision ne se fait pas seulement pour, mais aussi, avec les acteurs du processus. Donc, elle implique un minimum d'insertion dans ce processus. [27] Toute activité d'aide à la décision fait intervenir un décideur et assez souvent un homme d'étude, selon : [25]

- ❖ Le décideur, est un intervenant principal à qui s'adresse l'aide à la décision et occupant une place centrale dans le processus de décision. La notion de décideur "désigne en dernier ressort l'entité qui apprécie le "possible" et les finalités, exprime les préférences et est sensé les faire prévaloir dans l'évolution du processus".
- ❖ l'homme d'étude, il guide le décideur dans les problèmes complexes, son rôle « consiste entre autres à expliciter le modèle, à l'exploiter en vue d'obtenir des éléments de réponses, à éclairer le décideur sur les conséquences de tel ou tel comportement en lui rendant intelligibles, éventuellement en prescrivant (préconisant, conseillant) une ou une série d'actions ou encore une méthodologie ».

V.3) Etapes de la démarche :

Pour appliquer ces méthodes, la démarche commune est selon les étapes suivantes : [22]

- ✓ Identifier l'objectif général de la démarche et le type de décision.
- ✓ Dresser la liste des actions ou solutions potentielles.
- ✓ Identifier les critères qui orienteront les décideurs.
- ✓ Juger chacune des solutions par rapport à chacun des critères.
- ✓ Agréger ces jugements pour choisir la solution la plus satisfaisante.

VI) L'analyse multicritères à la décision :

VI.1) Définition :

C'est la Science technique vouée à l'éclaircissement de la compréhension d'un problème de décision et à sa résolution. Elle devient multicritère lorsque le problème comporte plusieurs objectifs, souvent contradictoires. Analyser qui vise à expliciter une famille cohérente de critères pour permettre de concevoir, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision. [30]

L'analyse multicritères est généralement définie comme «une aide à la décision et un outil mathématique permettant la comparaison des différentes alternatives ou scénarios selon de nombreux critères, souvent contradictoires, afin de guider le décideur vers un choix judicieux», désignent généralement un ensemble de méthodes permettant d'agrèger plusieurs critères afin de choisir une ou plusieurs actions ou solutions. On affirme qu'il n'existe pas, en général, une solution qui soit la meilleure pour tous les points de vue. [29]

Donc L'analyse multicritères est généralement définie comme un outil mathématique permettant la comparaison des différentes alternatives ou scénarios selon de nombreux critères, souvent contradictoires, afin de guider le décideur vers un choix judicieux.

VI.2) Description des Terminologie de base et approches de l'AMC :

Actions potentielles, critères, unités et poids des critères sont la terminologie utilisée dans la plupart des méthodes appartenant à l'AMC (*Analyse Multicritères*).

VI.3.1) Définitions :

❖ Action :

L'Aide à la décision multicritère s'intéresse au choix parmi un nombre fini d'actions possibles (projet, investissement, décision, solution, plan, variante, candidat...) pour atteindre un objectif.

❖ Critère :

Un critère est une fonction définie sur l'ensemble des actions représentant les préférences de l'utilisateur selon son point de vue.

❖ Unités :

Façon d'exprimer la performance vs les critères (tangibles ou intangibles).

- ❖ **Le poids de critère :** Le poids mesure l'importance d'un critère par rapport aux autres du point de vue du décideur.

VI.3) Notion d'aide multicritère à la décision :

L'aide multicritère à la décision a grandi sur et en réaction aux techniques d'optimisation unique critère, notamment la programmation linéaire. Ils ont été développés pendant la seconde guerre mondiale et perfectionnés dans les premiers jours de la recherche opérationnelle dans le champ de gestion d'entreprise, dans les deux contextes sans tenir compte des conséquences secondaires qui nécessitent de multiples critères. [31] C'est une Approches simples et un peu brut à concilier plusieurs critères exigent des alternatives pour répondre à un, plusieurs ou tous les critères basés sur des valeurs de seuil. Ces approches sont nommées méthodes non-compensatoires, puisque l'augmentation de la valeur d'un critère ne peut pas être compensée par une diminution de la valeur d'un autre.

Parmi les partisans d'approches compensatoires plus sophistiquées qui facilitent le compromis entre critères, deux écoles d'aide multicritère à la décision (*américaine et européenne*) ont évolué en même temps, mais un peu séparément pendant les années 1960 et 1970, Les deux écoles ont partagé les concepts de solutions alternatives et les critères, mais différaient dans leur philosophie et approche d'agrégation des critères. Au début, l'école américaine d'aide multicritère à la décision a suivi la tradition de recherche opérationnelle. Un ensemble de ses méthodes a utilisé une fonction de valeur/utilité basée sur la théorie de l'utilité multi-attribut.[33] une autre série de méthodes au sein de l'école américaine est centrée sur l'idée de préciser les résultats souhaitables ou satisfaisants et utiliser la programmation mathématique pour venir aussi près que possible de ceux-ci. L'école européenne s'est éloigné de l'idée d'obtenir un optimum, et a développé des relations de sur classement (out rankingrelationships) pour aider les décideurs à comparer les alternatives deux à deux (pair-wisemanner) et classer leurs préférences pour les alternatives de diverses manières. Une assertion clé dans cette approche est que les décideurs n'ont pas des idées préconçues précises de l'importance relative des critères, et que aide à la décision devrait les aider à développer ces idées. [25][35].

La division claire entre les deux écoles a disparu. Les différentes techniques sont considérées comme des outils dans la boîte à outils de l'analyste, elles sont appliquées en fonction des différents problèmes ou des phases d'un seul problème. Par conséquent, les

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

défis primaires de la recherche se sont déplacés de développement des méthodes, à des questions telles que les cadres d'intégration de différentes méthodes.[37]

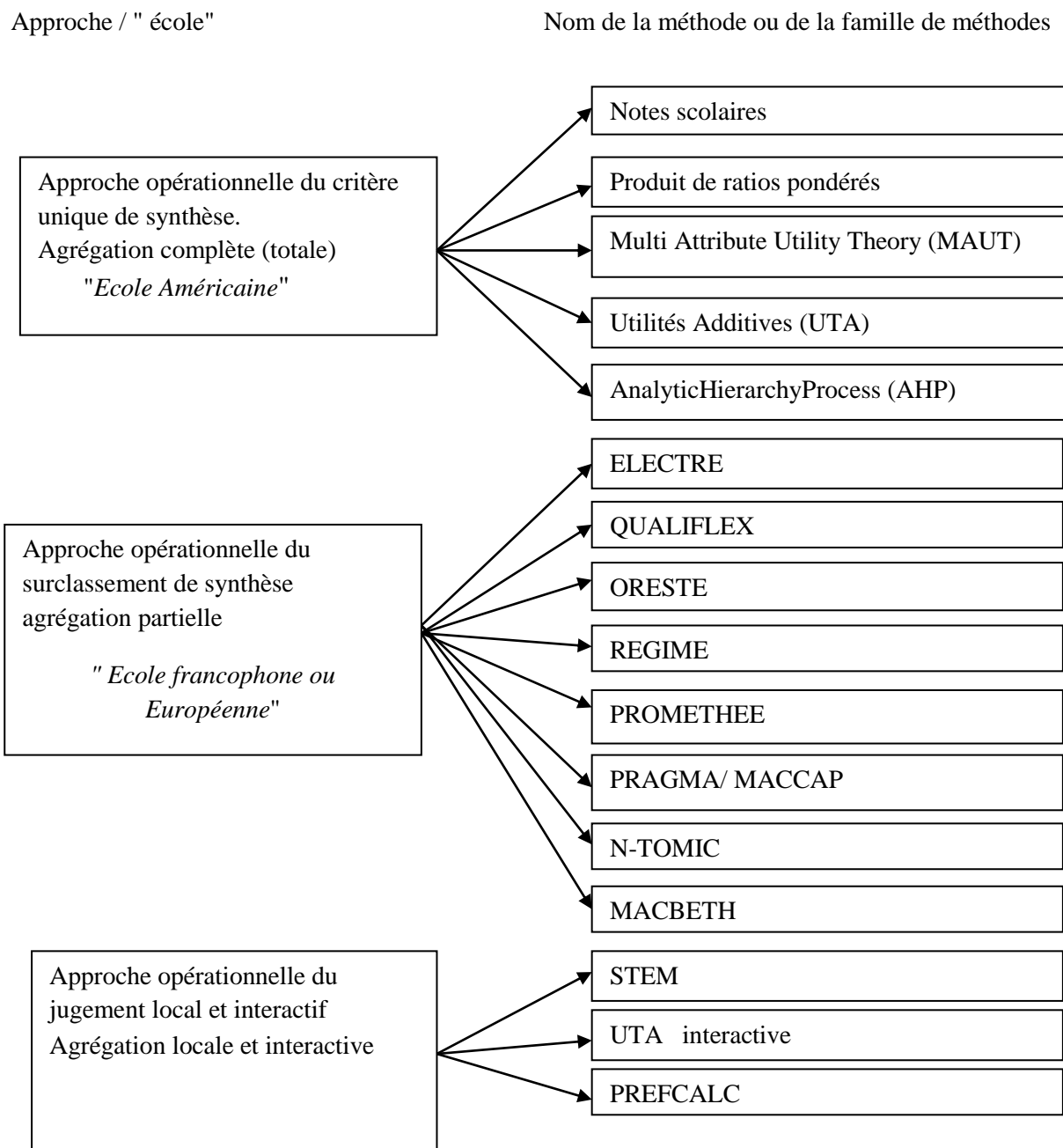


Figure (III.1): Approches et méthodes de l'AMC. [22]

VI.3.2) Fonctionnement de l'analyse multicritère à la décision :

L'aide multicritère à la décision assiste les décideurs dans l'analyse des actions potentielles ou alternatives sur la base de plusieurs facteurs/critères incommensurables, en utilisant les règles de décision pour regrouper ces critères pour évaluer ou classer les alternatives [38]

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

Bien que les critères de décision normalement ne puissent pas tous être maximisés en sélectionnant une alternative ou une action, les chercheurs et les praticiens l'aide multicritère à la décision ne considèrent pas cette dernière, simplement comme un problème d'optimisation quantitative qui identifie les meilleurs «solutions» potentiels. Au lieu de cela, l'accent est mis sur obtenir et rendre transparent les valeurs et aussi la subjectivité qui est appliquée aux mesures les plus objectives, et de comprendre leurs implications [39]

VII) La méthode d'analyse hiérarchique des procédés AHP :

VII.1) Analyse multicritère hiérarchique :

Il s'agit de la méthode dont *Thomas.LSaaty* est l'inventeur, l'architecte et le premier théoricien. (1980). Elle repose sur trois concepts : [40]

- ✓ *La structuration hiérarchique* : décomposition du problème en sous problèmes.
- ✓ *La structuration des priorités* : classement des éléments selon leur importance relative.
- ✓ *La cohérence logique* : les éléments sont regroupés et classés de façon logique.

Cette méthode présente plusieurs intérêts notables et permet de :

- ✓ Élaborer un compromis représentatif des divers avis mais pas nécessairement le consensus
- ✓ Affiner la définition d'un problème par la décomposition.
- ✓ Établir des priorités.
- ✓ Prendre en compte l'interdépendance des éléments.
- ✓ Évaluer la cohérence logique des avis utilisés.

VII.2) Définition :

La méthode d'analyse hiérarchique des procédés *AHP*, a été créée dans les années 1970 par Thomas Saaty professeur au *Wharton school of business*. Et consultant pour le gouvernement américain, il l'a développé pour optimiser l'allocation des ressources. Largement étudiée et affinée, Elle a notamment des applications en de prise de décision de groupe [45], est utilisée à travers le monde pour une grande variété de prise de décision, que ce soit des décisions gouvernementales dans le monde des affaires, de l'industrie, de la santé, de la construction navale ou de l'éducation. [46]

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

L'analyse hiérarchique des procédés est une méthode multicritère d'aide à la décision considérant plusieurs critères à fine de prendre la meilleure décision, elle fournit une structure de prise de décision qui tient compte de facteurs pesés en groupe.

La structure dit hiérarchique et la suivante : le but, puis les critères d'atteinte du but, puis les alternatives possibles pour chaque critère, 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.

VII.3) Procédures de L'analyse hiérarchique des procédés (AHP) :

Saaty et al. (2012), décrit les sept piliers de L'analyse hiérarchique des procédés *AHP* comme suit : [41]

- ✓ Échelles de ratio, proportionnalité et des échelles de ratio normalisé.
- ✓ Comparaisons deux à deux réciproque.
- ✓ La sensibilité du vecteur propre droit principale.
- ✓ « Clustering » et utilisation des pivots pour étendre l'échelle.
- ✓ La préservation de rang et l'inversion.
- ✓ Intégrer les jugements de groupe.
- ✓ Synthèse pour créer une échelle de ratio à une dimension pour représenter le résultat global.

VII.4) Fonctionnement de l'AHP :

L'AHP considère un ensemble de critères d'évaluation, et un ensemble d'alternatives dont la meilleure décision doit être faite, puisque certains des critères pourraient être contrastés, il n'est pas vrai en général, que la meilleure alternative est celle qui optimise chaque critère unique, mais plutôt celle qui réalise le compromis le plus approprié parmi les différents critères.

Cette méthode repose sur un découpage du processus de décision en une structure hiérarchique. Cette structure pyramidale se compose toujours au sommet du sujet de décision, puis d'un niveau de critère, puis d'un niveau de sous-critère... et tout en bas des différentes alternatives que nous avons.

L'AHP génère un poids pour chaque critère d'évaluation selon les comparaisons deux-à-deux du décideur des critères. Plus est grand le poids, le plus important est le critère

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

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 [42]

Théoriquement, l'AHP est basé sur quatre axiomes donnés par Saaty (1994), ceux-ci sont : [43]

- ❖ **Axiome 1** : Le décideur peut fournir des comparaisons deux à deux ***aij*** de deux alternatives *i* et *j* correspondant à un critère/sous-critère sur une échelle de rapport qui est réciproque, à savoir ***aij = 1/aij***.
- ❖ **Axiome 2** : Le décideur ne juge jamais une alternative à être infiniment meilleur qu'une autre correspondant à un critère, à savoir ***aij ≠ ∞***.
- ❖ **Axiome 3** : Le problème de décision peut être formulé comme une hiérarchie.
- ❖ **Axiome 4** : Tous les critères/sous-critères qui ont un certain impact sur le problème donné, et toutes les alternatives pertinentes, sont représentés dans la hiérarchie en une seule fois.

La figure (III.2) ci de suite représenté la décomposition hiérarchique de l'AHP :

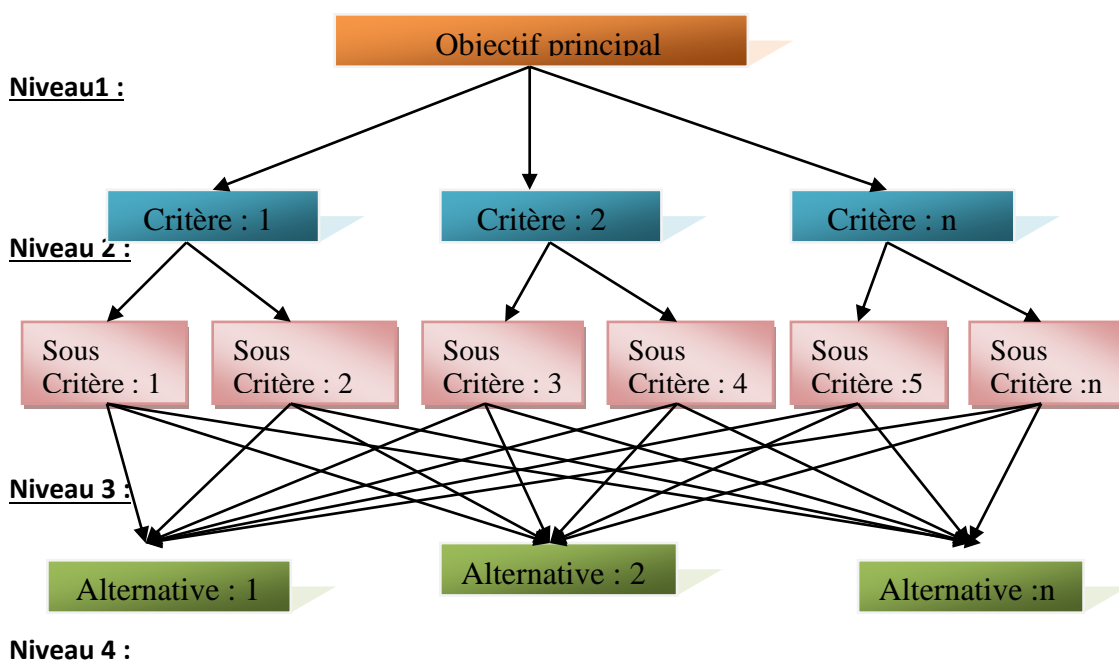


Figure (III.2) : Exemple de décomposition hiérarchique de quatre niveaux.

Chapitre III : Les modèles de gestion des réseaux d'AEP

VIII) Conclusion :

Les avantages sur la modernisation des méthodes de gestion des réseaux d'AEP ont attiré autant d'attention par les chercheurs, les organismes gouvernementaux et les gestionnaires du secteur public et privé. Le développement d'un programme d'inspection et de réhabilitation efficace est centré sur de savoir quand, où et comment réhabiliter. Un grand nombre de tronçons déficitaires résultant d'une mauvaise activité de maintenance et de restrictions budgétaires par le passé nécessitent le développement d'outils de priorisation pour répondre aux besoins de réhabilitation des tronçons les plus soumis à risque de dysfonctionnement.

Toutefois, en tenant compte de la littérature scientifique consacrée à la gestion des réseaux d'AEP, les problématiques sont identifiées dans le chapitre suivant.

Chapitre IV
La réhabilitation des conduites
d'AEP par le modèle
AHP-PROMETHEE II

Chapitre IV:

La réhabilitation des conduites d'AEP par le modèle AHP-PROMETHEE II

I) Introduction :

La gestion patrimoniale des infrastructures s'appuie d'abord sur l'expérience des gestionnaires mais aussi sur des outils d'aide à la décision, construits à dire d'expert, ou de la modélisation des phénomènes et de choix de décision, nécessite le développement d'outils d'aide à la décision qui puissent soutenir les gestionnaires dans leurs choix opérationnels. A partir de l'analyse comparative de différents modèles d'aide à la décision mis en œuvre dans les domaines des ouvrages d'art, des réseaux urbains et des ouvrages de protection contre les risques naturels.

Ce chapitre met en évidence la nécessaire complémentarité entre les méthodes multicritères d'aide à la décision, et les approches économiques, ainsi que l'importance de la qualité des données utilisées pour la gestion des réseaux d'AEP.

Notre cas d'étude consiste à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour la priorisation de gestion et de Réhabilitation de réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel, pour cela notre choix basé sur la combinaison des deux méthodes multicritères d'aide à la décision *AHP_PROMETHEE-II*.

II) Description et Formulation mathématique des méthodes utilisées :

II.1) La méthode AHP :

L'analyse hiérarchique multicritère, inventée par le mathématicien Thomas Saaty (1980), permet la comparaison et le choix entre des options préétablies. Elle repose sur la comparaison de paires d'options et de critères.

II.1.1) Description de la méthode AHP :

Méthode multicritère d'aide à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié de technologie, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise.

II.1.2) Principes fondamentaux de la méthode AHP :

La méthode repose sur trois principes fondamentaux qui sont :

- ✓ Structuration hiérarchique (classes -critères -poids).
- ✓ Structuration des priorités (sous critères -rangs).
- ✓ Cohérence logique.

II.1.3) Formulation mathématique :

Pour trouver les ou les solutions idéales (s)de la méthode *AHP* il faut appliquer au problème l'algorithme suivant :

II.1.3.1) Construction de la hiérarchie :

Il faut déterminer les différents niveaux hiérarchiques et choisir les critères à chaque niveau. La comparaison s'effectue selon les critères de niveau équivalent.

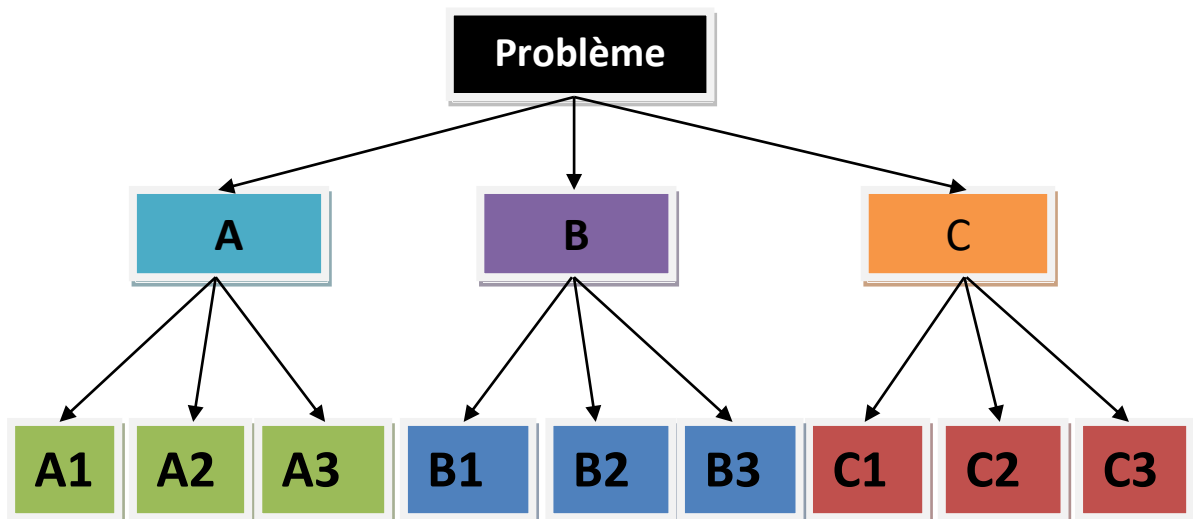


Figure (IV.1) : schéma représente un exemple de la structuration hiérarchique.

II.1.3.2) Matrice de comparaison :

Quand un problème est structuré hiérarchiquement, une matrice de comparaison est mise en place pour comparer l'importance relative des critères en respectant l'objectif premier inscrit au niveau supérieur de l'arbre. Pour comparer les critères, il faut se poser la question : Dans quelle mesure l'un des critères possède-t-il l'avantage ou domine, influence, satisfait, profite, contribue-t-il d'avantage à la propriété par rapport à l'autre.

Les comparaisons par paire sont présentées dans une matrice carrée, réciproque, de dimension ($n*n$) est le nombre de critères.

Chapitre IV : La réhabilitation des conduites d'AEP par le modèle AHP-PROMETHEE II

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

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

Les positions de transposition de la matrice sont calculées selon l'axiome de réciprocité :

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

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

Pour la comparaison de ces critères intangibles ou non quantifiables, Saaty (1980) a proposé une échelle de pondération pour les critères intangibles, il a utilisé des chiffres pour représenter l'importance relative d'un critère par rapport à un autre en fonction de la priorité.

Le tableau suivante représenté l'échelle de mesure de pondération pour les critères intangibles de la méthode AHP de Saaty :

Tableau (IV.1): Echelle de comparaison binaire utilisée pour évaluer l'importance entre les critères. [22]

Valeur numérique	Echelle 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 sont 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 :

$$A=[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.3})$$

II.1.3.3) Détermination des poids des critères :

Pour réaliser cette étape, normaliser les colonnes de la matrice de comparaison. La somme des éléments de chaque colonne vaut 1. Ensuite sommer les éléments de chaque ligne. Les Poids des critères sont calculés à partir de la matrice de comparaison A, selon les étapes suivantes :

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

$$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (\text{IV.4})$$

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

$$\text{Some total} = \sum_{i=1}^n S_i \quad (\text{IV.5})$$

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

$$W_i = \frac{S_i}{\text{Some total}} \quad (\text{IV.6})$$

II.1.3.4) La cohérence des jugements :

La cohérence de jugement consiste à comparer notre jugement par rapport à la pondération Aléatoire des critères. Selon (*Saaty, 1982*), le ratio de cohérence **RC** est approximativement un indicateur mathématique du jugement par rapport à un jugement fait de façon aléatoire doit être $\leq 10 \%$, soit une imprécision de moins de **10 %**.

Il est difficile de se tenir toujours à une cohérence parfaite, mais un certain degré de cohérence est évidemment nécessaire, Alors les indicateurs indice de cohérence et ratio de cohérence nous avertiront que les solutions risquent d'être quelque peu aléatoires. Si le ratio de cohérence est inférieur ou égal à **10 %**, l'appréciation est jugée cohérente.

Chapitre IV : La réhabilitation des conduites d'AEP par le modèle AHP-PROMETHEE II

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

Tableau (IV.2) : Echelle aléatoire de Saaty

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0.00	0.00	0.58	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**, on accepte la matrice de comparaison, sinon, on revoit 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} : C'est la sommation de produit entre chaque éléments de vecteur poids avec la somme des colonnes de la matrice **A**.

Calcul de l'indice de cohérence (**IC**) de la matrice par la relation suivante :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{IV.7})$$

- D'où **(n)** est le nombre de critères en comparaison.

Le ratio de cohérence (**RC**) se calcule par l'équation :

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (\text{IV.8})$$

- **RC** est le rapport entre **IC** et un indice de cohérence aléatoire (**RI**).
- L'indice (**RI**) est présenté dans le Tableau précédent.

II.2) Description de La méthode PROMETHEE :

Les méthodes PROMETHEE (Préférence Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) sont des méthodes multicritères d'aide à la décision qui appartiennent à la famille des méthodes de sur classement, basées sur les théories de Roy (*développeur des méthodes ELECTRE*). Elles ont été développées par Brans et Vincke. Elles reposent sur le

mécanisme élémentaire qui est la comparaison deux à deux des actions selon chaque critère.

II.2.1) Formulation mathématique de PROMETHEE II :

Pour trouver les ou les solutions idéales (s) de la méthode *PROMETHEE II* il faut appliquer l'algorithme suivant au problème:

II.2.1.1) Matrice multicritère pour PROMETHEE :

Soit $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ est 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.

Tableau (IV.3) : *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	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	....	$f_m(a_n)$

II.2.1.2) Fonction de préférence PROMETHEE :

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

$$d_m(a_i, a_j) = f_m(a_i) - f_m(a_j) \tag{IV.9}$$

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).

$$P_m(a_i, a_j) = f_i[c_i(a_i) - c_i(a_j)] \tag{IV.10}$$

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

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

A) usuelle fonction :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } d_j \leq 0 \\ 1 & \text{if } d_j > 0 \end{cases} \quad (\text{IV.11})$$

B) fonction en U :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } d_j \leq q_j \\ 1 & \text{if } d_j > q_j \end{cases} \quad (\text{IV.12})$$

✓ Avec (q_j) le seuil de l'indifférence.

C) Fonction en V :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{p_j} & \text{if } d_j \leq p_j \\ 1 & \text{if } d_j > p_j \end{cases} \quad (\text{IV.13})$$

✓ Avec (p_j) le seuil de préférence.

D) Fonction palier :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } d_j \leq q_j \\ \frac{1}{2} & \text{if } q_j < d_j \leq p_j \\ 1 & \text{if } d_j > p_j \end{cases} \quad (\text{IV.14})$$

E) Fonction linéaire :

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } d_j \leq q_j \\ \frac{d_j - q_j}{p_j - q_j} & \text{if } q_j < d_j \leq p_j \\ 1 & \text{if } d_j > p_j \end{cases} \quad (\text{IV.15})$$

F) Fonction Gaussienne :

$$P_j(d_j) = 1 - e^{-\frac{d_j^2}{2S_j^2}} \quad (\text{IV.16})$$

II.2.1.3) Degré de préférence PROMETHEE :

Lorsqu'une fonction de préférence a été associée à chaque critère par le décideur, un degré de préférence est ensuite calculé pour comparer globalement chaque couple d'alternatives. Le degré de préférence est présenté par la relation suivante :

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n P_i(a, b)W_i \quad (\text{IV.17})$$

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).

II.2.1.4) Flux de préférence :

Pour positionner chaque alternative « a » par rapport à toutes les autres alternatives, deux Grandeurs sont calculées.

II.2.1.4.1) 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 quelques 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 :

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (\text{IV.18})$$

II.2.1.4.2) Flux négatif de préférence :

Le flux négatif de préférence $\Phi^-(a)$ 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 :

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (\text{IV.19})$$

II.2.1.4.3) Flux net de préférence

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

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (\text{IV.20})$$

II.2.1.5) Les classements PROMETHEE II :

PROMETHEE II est un classement complet des alternatives. La méthode consiste à classer Les alternatives par flux net décroissant :

- ✓ a est préféré à b [**a P b**] si et seulement si : $\Phi(a) > \Phi(b)$.
- ✓ a est indifférent à b [**a I b**] si et seulement si : $\Phi(a) = \Phi(b)$.

III) Justification du choix de la méthode AHP_PROMETHEEII :

Notre cas d'étude consiste à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour la priorisation de gestion et de Réhabilitation de réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel, pour cela notre choix basé sur la combinaison des deux méthodes multicritères d'aide à la décision *AHP_PROMETHEE II* a été bien justifié, en se basant sur les avantages de chaque méthode.

III.1) Avantages :

III.1.1) La méthode AHP :

Les avantages de cette méthode sont :

- ✓ Seule méthode permettant de vérifier la cohérence des relations d'importance entre les critères.
- ✓ Unités de mesures : qualitatives et quantitatives, valeurs relatives ou absolues pour établir des priorités.
- ✓ Structure hiérarchique : trie des éléments d'un système dans différents niveaux et dans des groupes à caractéristiques similaires.
- ✓ La possibilité d'ajouter ou d'éliminer des critères ;
- ✓ Les critères peuvent avoir des importances variables.

III.1.2) La méthode PROMETHEE :

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 qui sont :

- ✓ L'introduction de six fonctions de préférence différentes dans un seul et même Processus ; il s'agit d'une extension de critère mais de façon bien formalisée.
- ✓ Cette méthode est parvenue à intégrer de façon simple les développements récents dans la modélisation des préférences.
- ✓ PROMETHEE, quoique dépourvue d'une base mathématique, a essayé de combler ce manque en procédant par la systématisation de la fonction de préférence. En effet, le décideur, ayant à choisir la forme de la fonction de préférence parmi six formes, se sentirait plutôt rassuré.
- ✓ La simplicité de PROMETHEE la place sur une bonne position pour être utilisée si on cherche à ranger des actions potentielles.

III.2) Inconvénients :

III.2.1) La méthode AHP :

Les inconvénients de la méthode AHP sont :

- ✓ Le nombre de comparaisons augmente plus rapidement que le nombre de critères.
- ✓ Le choix d'échelle de 1 à 9 n'est pas justifié mathématiquement.

III.2.2) La méthode PROMETHEE :

PROMETHEE fait partie de la famille des méthodes de sur classement et les critiques qui se trouvent dans la littérature s'adressent généralement à cette famille. Néanmoins, on peut indiquer quelques critiques qui la concernent directement.

- ✓ En tant que méthode de sur classement de type rangement, PROMETHEE permet de ranger les actions mais ne permet pas de rendre compte des différences quantitatives relatives à ces actions.
- ✓ Le fait de prendre des seuils d'indifférence et de préférence constants peut être considéré comme une restriction.
- ✓ La méthode PROMETHEE manque de fondements théoriques qui permettraient d'introduire les poids des critères.

IV) Une analyse comparative des méthodes PROMETHEE et AHP :

Cette comparaison comprend une analyse comparative des éléments suivants dans les deux méthodes d'AMC : les jugements de valeur sous-jacentes, la structuration du problème, le traitement des incohérences, la détermination du poids, l'évaluation de l'échelle, le problème d'inversion de rang, l'appui des décisions de groupe, la disponibilité.[22]

IV.1) Des jugements de valeur sous-jacente :

La méthode AHP peut être considérée comme une méthode d'agrégation complète de type additif (*Roy et Bouyssou, 1993*). Le problème avec une telle agrégation est que l'information peut être perdue par exemple le classement complet par la méthode PROMETHEE II est un classement forcé de la méthode PROMETHEE I, c'est à dire la différence entre le flux positif et le flux négatif, dans ce cas peut conduire à la perte d'information.

IV.2) La structuration du problème :

L'avantage de la méthode *AHP* est qu'elle décompose un problème de décision en plusieurs niveaux, avec une structuration hiérarchique, le décideur peut obtenir une vue claire du

problème et l'importance de chaque critère devient clair. Par contre la méthode *PROMETHEE* ne fournit pas cette hiérarchie. Dans le cas de nombreux niveaux, il peut devenir très difficile pour le décideur d'obtenir une vue claire du problème et d'évaluer les résultats.

IV.3) Traitement des incohérences :

Parmi les avantages de la méthode *AHP*, la cohérence de jugement qui consiste à comparer notre jugement par rapport à la pondération aléatoire des critères. La méthode *PROMETHEE* permet, à travers l'analyse de sensibilité, d'établir les intervalles de confiance des poids pour chaque critère avant le classement des alternatives.

IV.4) Détermination des poids :

La détermination des poids par la méthode *AHP* est basée sur la matrice de comparaison des critères par paires, et les poids des critères sont déterminés en utilisant la méthode de vecteurs propres. Si les questions posées pour obtenir les poids ne sont pas correctement formulées, des anomalies peuvent se produire.

Avec *PROMETHEE*, il n'y a pas de méthodes spécifiques prévues pour déterminer les poids. En outre, les critères généraux doivent être définis, ce qui peut être difficile à réaliser par un utilisateur inexpérimenté.

IV.5) L'évaluation de l'échelle :

L'inconvénient majeur de la méthode *AHP* est la limitation artificielle de l'utilisation de l'échelle de neuf (9) points. Selon Saaty (1982) le cerveau humain ne peut pas comparer les variantes qui diffèrent trop en taille. Il faut dans ces cas créer une hiérarchie avec des éléments qui sont comparables en utilisant une échelle de neuf points.

PROMETHEE a besoin de beaucoup moins d'inputs. Seules les évaluations doivent être effectuées pour chaque alternative sur chaque critère.

IV.6) Le problème d'inversion de rang : [22]

Les deux méthodes souffrent du problème d'inversion de rang. Cela signifie que, dans certains cas, le classement des alternatives peut être renversé quand une nouvelle alternative est introduite. Ce problème a été identifié, pour la méthode *AHP*, par Barzilai et col. (1987), Belton et Gear (1983, 1985), Dyer (1990) et Holder (1990) et pour *PROMETHEE* par De Keyser et Peeters (1996).

IV.7) Visualisation du problème :

La visualisation du problème de décision est meilleure lorsqu'on utilise la méthode PROMETHEE. Le Plan PROMETHEE GAIA est un outil puissant pour identifier les conflits entre les critères et à regrouper les solutions d'alternatives. Cependant, une visualisation correspondante a également été développée pour la méthode AHP.

V) Description du modèle proposé (AHP_PROMETHEE-II) :

Le modèle proposé *AHP_PROMETHEE-II* est divisé en deux grandes parties :

❖ V.1) La première partie :

Cette partie est divisée en trois étapes, en utilisant la méthode *AHP*, elle consiste à calculer les poids des critères utilisés pour la priorisation des critères qu'on choisit à réhabiliter.

- *Première étape* : on détermine les critères qui ont une influence sur la réhabilitation des conduites des réseaux d'alimentation en eau potable et déterminer leur hiérarchie.
- *La deuxième étape* : consiste à créer une matrice de comparaison binaire entre les critères et calculer leur poids.
- *La troisième partie* : consiste à vérifier la cohérence de jugement avec le ratio de cohérence *RC*. Si *RC* est inférieure à **0.10**, on accepte la matrice de comparaison et on garde les poids des critères.

Sinon : on revoit les jugements avec la modification de la matrice de comparaison jusqu'à la satisfaction de la valeur *RC* ($RC < 0.10$) et l'obtention des valeurs finales pour les poids des critères à utiliser dans la deuxième partie.

❖ V.2) La deuxième partie (2) :

Cette partie est divisée en six étapes de l'algorithme en utilisant la méthode **PROMETHEEII**, consiste à classer les conduites par l'ordre décroissant du plus mauvais vers le bon.

- *Dans la première étape* : on détermine la matrice conduites/critères, les lignes de la matrice présentent les conduites et les colonnes présentent les critères.
- *La deuxième étape* : concerne la détermination de la fonction de préférence c'est-à-dire la comparaison entre les conduites pour chaque critère.
- *Dans la troisième étape* : on calcule le degré de préférence des conduites pour chaque critère entre *0* et *1*.
- *La quatrième étape* : consiste à calculer le flux positif et le flux négatif pour chaque conduite.

➤ **Dans la cinquième étape :** on calcule le flux net de préférence de chaque conduite.
Dans la sixième et dernière étape : on utilisant les valeurs du flux net pour classer les conduites de réseau d'alimentation en eau potable par ordre prioritaire à réhabiliter.

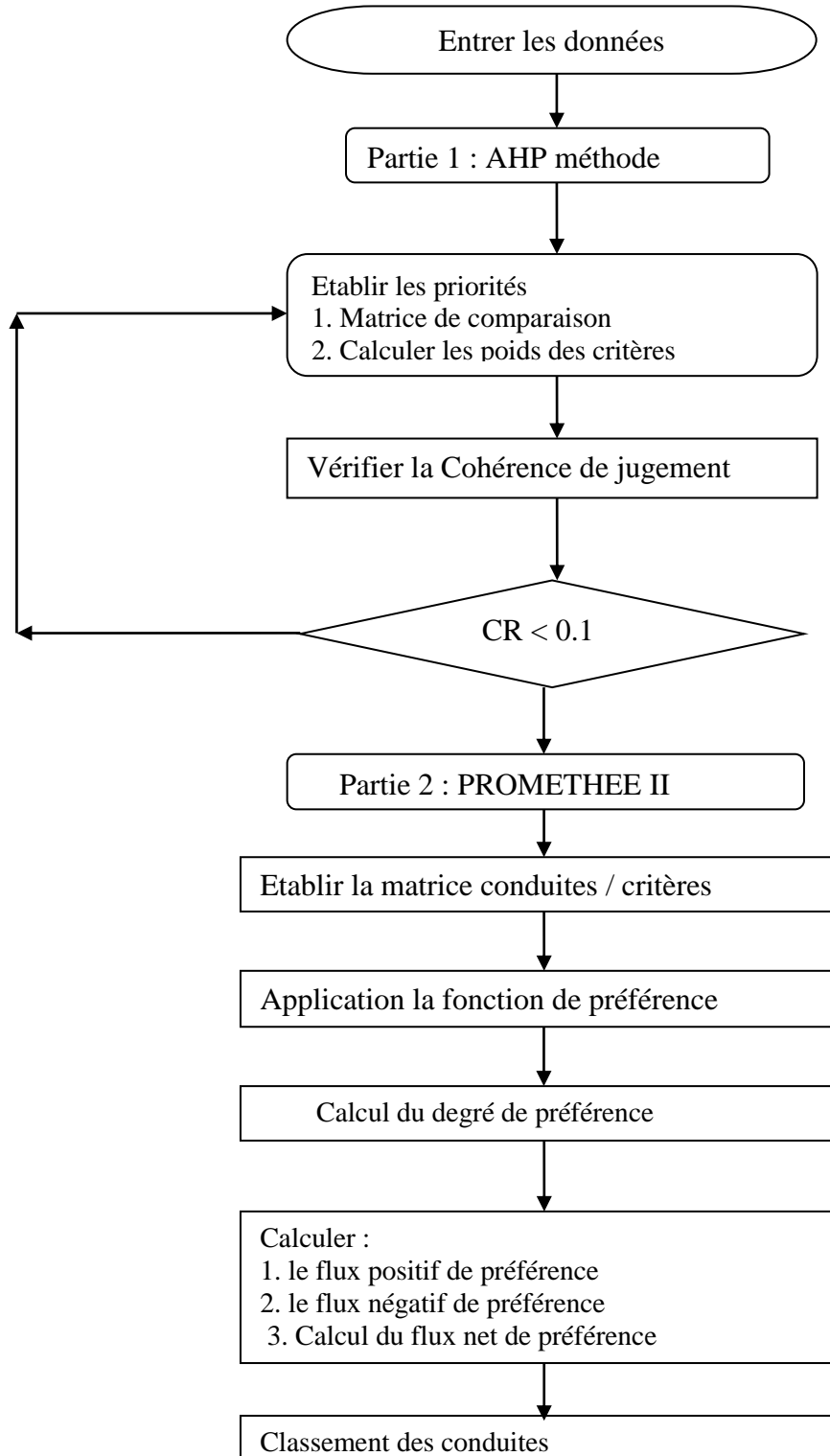


Figure (IV. 2):Schéma représentatif du modèle proposé.

VI) Choix des critères :

Un critère par sa propre définition est une fonction définie sur l'ensemble des actions représentant les préférences de l'utilisateur selon son point de vue.

Les critères pouvant évalué le niveau d'urgence sont nombreux et complexes. La première étape, consiste à décomposer le problème dans une structure hiérarchique des critères et sous-critères retenus.

Pour cela le programme de gestion et de réhabilitation d'un réseau d'eau potable elle reposer sur nombreux facteurs rentrent en ligne de compte : les abonnés et leurs importances (*industrielles, sensibles, commerçants, ...*), la qualité de l'eau, l'environnement de la conduite, l'impact économique sur le gestionnaire en cas de réhabilitation, les coûts de maintenances en service. Pour notre cas d'étude nous avons choisirent les critères qui sont par la suite :

A) Critère (1) : La Longueur des conduites LONG (m)

Par convention, la longueur des tronçons est exprimée en mètres, Compte-tenu de la précision (et de l'échelle) des plans, il n'est pas recommandé de mesurer la longueur des canalisations directement sur le plan. Ce critère est basé sur la longueur de la conduite.

- ✓ **LONG < 10m**
- ✓ **10m ≤ LONG ≤ 20m**
- ✓ **20m ≤ LONG ≤ 30m**
- ✓ **LONG > 30m**

B) Critère (2) : Profondeur de pose PDP (m)

La pose des conduites est une étape cruciale pour assurer le maintien du bon état des canalisations. La profondeur de pose est fonction du diamètre de la conduite mais doit surtout pallié aux contraintes d'écrasements exercées sur le sol, Des valeurs minimales de l'ordre de **(0.8m)** sont recommandées afin de réduire les facteurs pouvant dégrader les conduites. Ainsi, une conduite posée à une profondeur adéquate n'est pas endommagée par les chocs liés au trafic en cas de mauvais état de la voirie. Les vibrations des véhicules induisent un phénomène dit d'ovalisation qui diminue la résistance mécanique et augmente les pertes de charge. Il faut donc s'en prémunir. Ce critère est basé sur la profondeur de pose de la conduite : **PDP (m)**.

- ✓ **PDP < 0.5m**
- ✓ **0.5m ≤ PDP ≤ 0.8m**
- ✓ **0.8m ≤ PDP ≤ 1.2m**
- ✓ **PDP > 1.2m**

C) Critère (3) : le Matériau des conduites (MAT)

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. Ce critère est basé sur le type de matériau de la conduite : **(MAT)**

- ✓ **Polyéthylène Haute Densité. (PEHD)** [Note- « 1 »]
- ✓ **Galvanisé. (GV)** [Note - « 2 »]
- ✓ **Polychlorure de vinyle. (PVC)** [Note - « 3 »]
- ✓ **Acier. (A)** [Note - « 4 »]

D) Critère (4) : L'Âge des canalisations AGE (ans)

C'est la différence entre l'année courante et l'année centrale de la période de pose de la canalisation. La perception générale est que les conduites d'alimentation en eau potable les plus âgées sont les plus sensibles à la détérioration. Ce critère est basé sur l'âge de la conduite : **AGE (ans)**.

- ✓ **AGE <10ans.**
- ✓ **10ans ≤ AGE ≤ 20ans.**
- ✓ **20ans ≤ AGE ≤ 30ans.**
- ✓ **AGE >30ans.**

E) Critère (5) : Emplacement des conduits EMDC

La position de conduites caractérise leur emplacement par rapport à l'occupation des sols. Évidemment les conduites qui se trouvent sous les chaussées vont avoir un poids plus grand par rapport à celles se trouvent sous un espace vert, puisque les travaux sur celle-ci vont engendrer des frais plus importants et provoquer une gêne négligeable. Ce critère est basé sur l'emplacement des conduits **EMDC** :

- ✓ **Espace vertes.** [Note- « 1 »]
- ✓ **Trottoirs.** [Note - « 2 »]
- ✓ **Routes** [Note - « 3 »]

F) Critère(6) : Investissement INV (DA)

C'est le montant d'argent dépensé par le gestionnaire pour la réhabilitation des conduites d'alimentation en eau potable dans une commune ; cela doit être minimisé pour éviter un gros investissement dans la même commune.

Ce critère est calculé en fonction du montant en dinars par longueur de conduite **INV**.

- ✓ **INV < 1200 DA**
- ✓ **1200 DA ≤ INV ≤ 3500 DA**
- ✓ **3500 DA ≤ INV ≤ 5000 DA**
- ✓ **INV > 5000 DA**

J) Critère (7) : les Diamètre des conduites DIA (mm)

Le diamètre des conduites est généralement bien connu des services d'eau puisqu'il s'agit d'une donnée essentielle au dimensionnement d'un réseau ou à son renouvellement.

Les conduites les plus grandes sont plus susceptibles d'avoir des taux plus élevés de détérioration du fait qu'elles ont plus de surface exposée à l'interaction avec l'eau et le sol.

Ce critère est basé sur le diamètre de la conduite : **DIA (mm)**.

- ✓ **DIA ≤ 80 mm**
- ✓ **80 mm ≤ DIA ≤ 150 mm**
- ✓ **150 mm ≤ DIA ≤ 300 mm**
- ✓ **DIA > 300 mm**

H) Critère (8) : Présence d'un autre réseau urbain PRURB

La présence d'un autre réseau urbaine en parallèle avec le réseau d'alimentation en eau potable, peu provoque des problèmes et perturbe le fonctionnement de ce dernier.

Par exemple une grosse fuite ou une rupture à côté d'un réseau d'assainissement peut perturbe le bon fonctionnement de réseau et surtout un grande impact sur la qualité de l'eau transporter, Ce critère est basé sur La présence d'un autre réseau urbaine en parallèle avec le réseau d'alimentation en eau potable **PRURB**.

- ✓ **Absence de réseau URB** [Note - « 1 »]
- ✓ **Présence de réseau URB** [Note - « 2 »]

I) Critère (9) : La zone de développement ZDDV

Les canalisations traversant les zones industrielles prioritaires en cas d'une réhabilitation face à celle se trouvent dans les zones d'habitation, puisque les canalisations traversant les zones industrielles vont un grand risque de la dégradation des conduits et de la qualité

d'eau due aux différents rejets. Ce critère est basé sur La zone de développement de réseau d'alimentation en eau potable **ZDDV**.

✓ **ZDDV : zones d'habitation** [Note - « 1 »]

✓ **ZDDV : zones industrielles** [Note - « 2 »]

G) Critère(10) : Réhabilitation technique (RHB)

La réhabilitation comme étant l'ensemble des opérations qui permettent de maintenir en état de fonctionnement un matériel susceptible de se dégrader, soit par réparation de l'ouvrage faillé, soit par un renouvellement total du matériel

✓ **Réparation de l'ouvrage** [Note - « 1 »]

✓ **Renouvellement total de l'ouvrage** [Note - « 2 »]

Les critères que nous avons pris en considération pour notre cas d'étude, sont les différents objectifs de tout gestionnaire d'un réseau de distribution d'eau potable soucieux d'une bonne optimisation de la gestion. Ces objectifs sont :

- Satisfaire les besoins des consommateurs en eau.
- Minimiser le nombre des fuites sur les canalisations.
- Minimiser le nombre des casses sur les canalisations.
- Minimiser la fréquence des interruptions dues aux casses répétées
- Minimiser le cout annuel des réparations et des réhabilitations.
- Garantir une meilleure qualité d'eau pour les consommateurs.
- Minimiser les plaintes des consommateurs dues à une mauvaise qualité de service.

VII) Conclusion :

Une méthodologie pour la priorisation de la réhabilitation des conduites d'AEP a été développée en se basant sur un ensemble de critères. Ces critères ont été regroupés selon une structure hiérarchique par la méthode d'analyse hiérarchique des procédés (AHP). Après la détermination les poids des critères, on a utilisé la méthode PROMETHEE II (Préférence Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) pour classer les conduites d'AEP le plus urgent vers moins urgent à réhabiliter.

L'application de cette méthode est présentée dans le chapitre IV en utilisant les données de Réseaux d'AEP de Jijel.

Chapitre V
Application de l'outil d'aide à la
gestion aux réseaux
d'AEP de Jijel

Chapitre V

Application de l'outil d'aide à la gestion aux réseaux d'AEP de Jijel

I) Introduction :

La détérioration structurelle des conduites provoque la réduction de leur capacité hydraulique. Elle est l'une des principales causes de l'interruption de service des systèmes d'alimentation en eau potable. Cependant, le maintien de la performance des conduites n'est pas une tâche facile en raison du budget limité pour la maintenance et la réhabilitation. D'où la nécessité de développer des modèles de détérioration, qui peuvent prévoir l'état actuel et futur des conduites. L'information prédite peut être utilisée pour la planification budgétaire pour la maintenance et la réhabilitation.

Le développement d'un modèle de détérioration structurelle des conduites de réseau d'alimentation en eau potable est le but principal de ce chapitre. La méthodologie est basée sur le modèle *AHP_PROMETHEEII* calibré par les données de réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel.

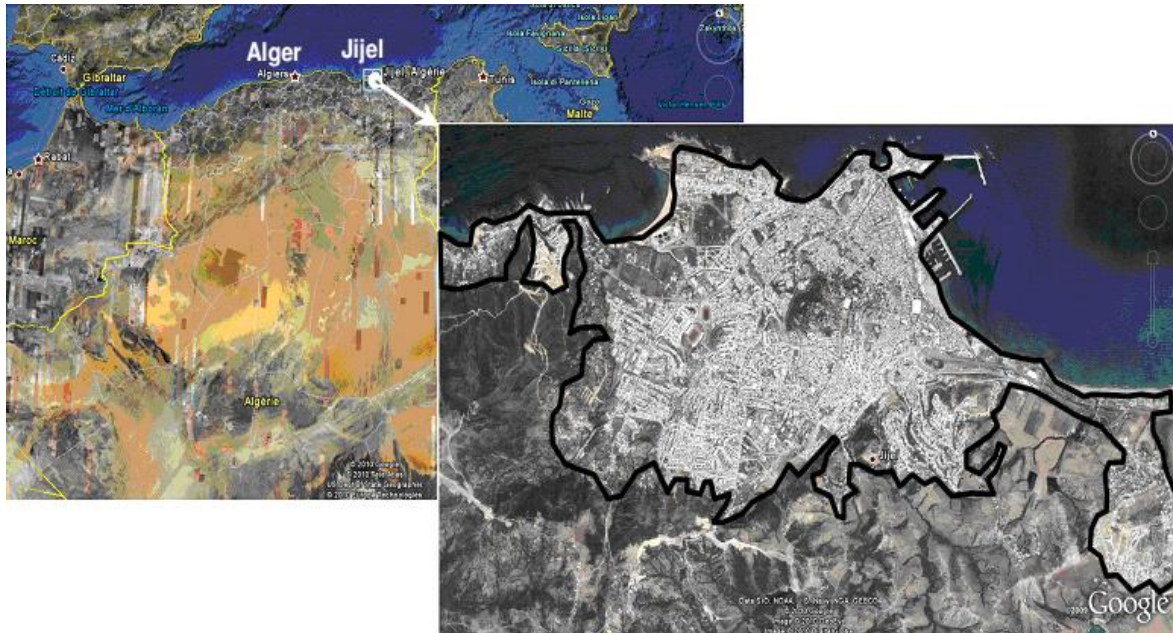
Ce chapitre présente l'application l'outil d'aide pour la gestion de réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel (*zone de pression de laakabi*).

II) Présentation de site d'étude :

II.1) Localisation géographique de la wilaya de Jijel :

La région de Jijel fait partie du Sahel littoral de l'Algérie ; elle est située au Nord-est entre les latitudes $36^{\circ} 10$ et $36^{\circ} 50$ Nord et les longitudes $5^{\circ} 25$ et $6^{\circ} 30$ Est. Le territoire de la wilaya dont la superficie s'élève à 2396 km^2 , avec une façade maritime de 120 km . Elle est distante d'environ de 390 km de la capitale Alger.

Administrativement la wilaya compte 28 communes organisées en 11 Daïra.



Figure(V.1): Localisation de la wilaya de Jijel (Algérie)

La wilaya est limitée :

- ✓ au nord par la mer Méditerranée.
- ✓ à l'ouest par la Wilaya de Bejaïa.
- ✓ à l'est par la Wilaya de Skikda.
- ✓ au sud-ouest la wilaya de Sétif.
- ✓ au sud par la Wilaya de Mila.
- ✓ et enfin au sud-est par la Wilaya de Constantine .

II.2) Les Relief :

La commune du chef-lieu de wilaya a une superficie totale de **65,66km²** au relief difficile. Le territoire communal est constitué par une plaine côtière cernée par le Mont Mezghitane (**300 m d'altitude**) et les zones montagneuses des **Beni-Caid** au sud et la mer Méditerranée au Nord. La vallée de **Oued El Kantara** coupe cette plaine à l'Est de la ville, le territoire s'étend jusqu'à **l'oued Mencha** à l'Est et **l'Oued Kissir** à l'Ouest.

La région de Jijel est caractérisée par un relief montagneux très accidenté. Les montagnes occupent **82%** de la superficie totale, elles se tiennent jusqu'à **1500 mètres**, on distingue principalement deux régions physiques :

II.2.1) Les zones de plaines : Situées au Nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines de Jijel, les plaines d'El Aouana, le bassin de JIJEL, les Vallées de Oued El Kebir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hour.

II.2.2) Les zone de montagnes : Elles sont composées de deux zones :

- ❖ **Zones des montagnes d'altitude moyennes :** Situées dans la partie littorale et centrale de la wilaya, caractérisée par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important.
- ❖ **Zones de montagnes d'altitude élevée :** Situées à la limite Sud de la Wilaya. Elle comporte les plus hauts sommets de la wilaya dont les principaux sont : Tamesguida (1458m), Bouazza (1547 m) et Seddet (956 m).

II.3) La géologie :

La région de Jijel appartient au domaine Nord Atlasique et est caractérisée par un relief essentiellement monta-côtières sur le couloir ***Kaous-Taher-Chekfa***. Sa géologie est liée à celle de la Petite Kabylie.

On a un ensemble de terrains sédimentaire d'âges Mésozoïque et ***Cénozoïque*** Couvrant les terrains métamorphique. Ces formations tertiaires reposeraient soit sur le socle Kabyle, soit sur les terrains d'âge crétacé ou sur les séries de types flysch. Des sédiments littoraux couvrent les structures tertiaires individualisées durant le Néogène ; elles constituent le Bassin Néogène de Jijel ou Bassin Sahélien de Jijel

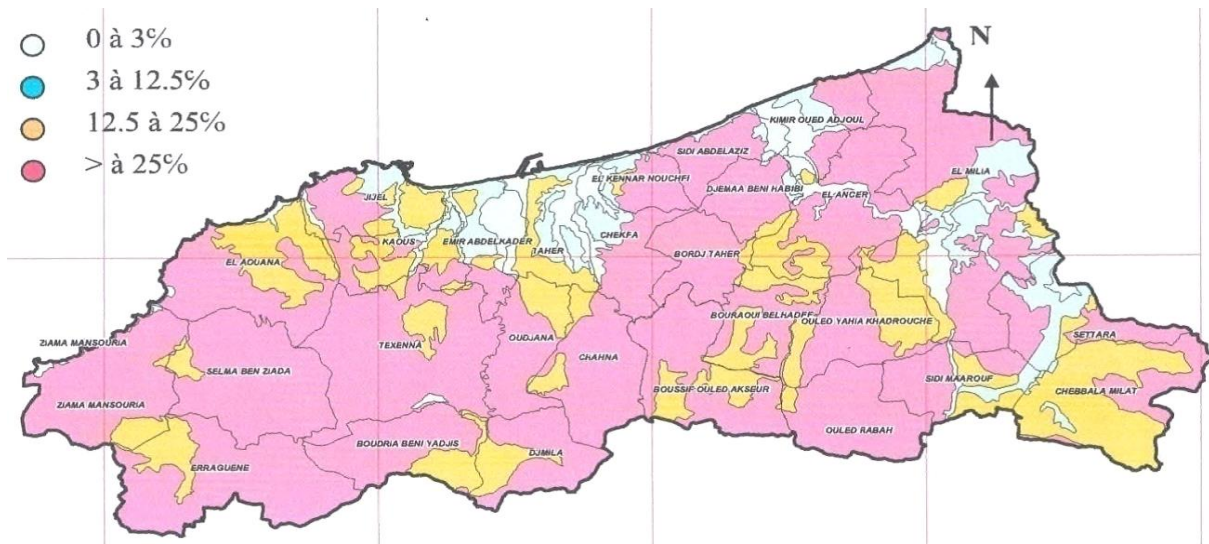
Les plis qui ont touchés la région de Jijel et le nord du massif kabyle sont les plissements anté-crétacés, qui ont produit au nord des principaux massifs les dépôts albiens puis sénoniens, et ensuite les plissements éocènes, qui ont amené l'invasion marine sur la plus grande partie du massif ancien de la région orientale (dépôt des grès de Numidie) de Jijel à Annaba.

II.4) Les pentes :

Une carte des pentes de la région de Jijel à l'échelle 1/200000, nous permette quantifier le relief en fonction de l'inclinaison du terrain. Par catégorie de pente, il ressort pour toute la wilaya les proportions suivantes :

Tableau .V.1 : *Classes de pente dans la région de Jijel.*

	Pente%	Superficies HA	%
Classe I	0à3%	11000 HA	4.65%
Classe II	3à12.5%	33.501 HA	14.16%
Classe III	12.5à25%	192.055HA	26.05%
Classe IV	>à25%	130.541HA	55.14%



Figure(V.2) : carte des pentes de la région de Jijel (1/200 000).

Deux massifs aux pentes raides encadrent le territoire de la wilaya, en inscrivant comme repère, nous citerons les communes qui s'y situent :

- ❖ À l'Est, les communes d'El-Milia, Settara, Ghebala et Sidi Maarouf qui totalisent **25.780 ha** de terrain ayant plus de **25%** de pente où les formes escarpées sont nombreuses, caractérisant ainsi le relief accidenté.
- ❖ À l'Ouest, les communes de Zياما, Erraguene, El-Aouna et Selma qui totalisent **1.327 ha** de terrain ayant plus de **25%** de pente.

II.5) Le Climat :

Jijel est sous l'influence d'un climat maritime méditerranéen caractérisé par des étés secs et tempérés, et des hivers doux et humides. Les pluies durent (**06**) mois totalisant une pluviométrie de **1200 mm**. La température est très douce en hiver (**11°** en moyenne au mois de janvier) et la chaleur est tempérée par la brise de mer en été (**26°** en moyenne au mois d'août).

II.6) Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la région de Jijel est très dense. Il est dominé par une direction Sud-Nord et des affluents de directions différentes favorisent l'écoulement des lames d'eau précipitées qui déversent généralement dans la mer. Les plus importants oueds sont :

- ❖ Oued El-Kébir: qui prend naissance de la jonction d'Oued Rhumel et Oued Endja, traverse El-Milia et El-Ancer et se jette à la mer dans la région de Beni-Belaid.
- ❖ Oued Djen-Djen qui prend sa source au Babors (Erraguene) est constitué de trois étages bioclimatiques (partie supérieure Erraguene barrage, partie centrale Oued Missa Taballout et partie maritime Azzaouane à Taher).

II.7) Réservoirs :

Avec une pluviométrie de **(800 à 1200 Mm/An)**, la wilaya de Jijel est considérée parmi les régions les plus arrosées d'Algérie. Elle reçoit chaque année des apports d'eaux de pluie très importants, qui ruissellent généralement vers les principaux Oueds existants dans la région.

En outre, elle recèle plusieurs nappes phréatiques, dont les plus importantes sont : *la nappe d'Oued Nil, la nappe d'Oued El-Kebir, la nappe d'Oued Djen-Djen, la nappe d'Oued kissir, et la nappe d'Oued Mencha.*

- **(2264)** forages.
- **(06)** barrages, avec un apport qui permet d'atteindre **800 millions de m³/an.**

III) Description de système D'AEP de la ville de Jijel :

La ville de Jijel dispose d'une ressource globalement satisfaisante en terme de volume distribué au regard de sa taille.

En effet, le volume journalier moyen mis en distribution, c'est-à-dire mesuré en sortie des ouvrages de stockage, est de l'ordre de **24 350 m³/jour**. En outre, le volume journalier moyen consommé par les gros consommateurs (*administrations et industries principalement*) est de l'ordre de **3 450 m³/jour**. Ainsi, le volume journalier moyen mis en distribution pour les domestiques est de l'ordre de **40 000 m³/jour**.

En outre, on peut estimer la population de la ville, agglomérations secondaires comprises, à environ **155 780** habitants.

La dotation équivalente par habitant est donc de l'ordre de **266 l/jour**, Le volume mis en distribution est donc potentiellement suffisant pour alimenter l'ensemble des consommateurs de la ville de manière continue (**H24**).

Le linéaire de canalisations collecté sur l'ensemble de la ville de Jijel atteint **306 km**.

III.1) Le découpage du système de distribution de la ville de Jijel :

Au total, la ville de Jijel est formée de 10 zones de pression en service, dont :

Huit zones alimentées par des ouvrages de stockage :

- ❖ **Crête**, alimentée par les réservoirs de Crête en service :
 - ✓ 4 réservoirs au sol d'une capacité de **2 000 m³** chacun,
 - ✓ 2 réservoirs enterrés d'une capacité de **500 m³** chacun,
 - ✓ 1 réservoir surélevé d'une capacité de **80 m³**,
- ❖ **OuledAïssa Inférieur**, alimentée par les réservoirs du même nom :
 - ✓ 3 réservoirs au sol d'une capacité de **2 000 m³** chacun,
- ❖ **OuledAïssa Supérieur**, alimentée par le réservoir et la bache du même nom :
 - ✓ 1 réservoir au sol d'une capacité de **1 000 m³**,
 - ✓ 1 bache de stockage d'une capacité de **100m³**,
- ❖ **Haddada Inférieur**, alimentée par le réservoir du même nom d'une capacité de **2000 m³**,
- ❖ **Mezoui**, alimentée par la bache du même nom d'une capacité de **100 m³**,
- ❖ **Haddada Supérieur**, alimentée par le réservoir du même nom d'une capacité de **2 000 m³**,
- ❖ **Laakabi**, alimentée par le réservoir du même nom d'une capacité de **500 m³**,
- ❖ **Harrathen**, alimentée par le réservoir du même nom d'une capacité de **500 m³**,
 - ✓ Deux zones alimentées directement depuis l'adduction :
- ❖ **Harrathen Adduction** : directement alimentée depuis le refoulement issu des forages de Mencha,
- ❖ **Haddada Adduction** : directement alimentée depuis la canalisation de refoulement alimentant le réservoir d'Haddada Inférieur.

En outre, 2 zones de pression supplémentaires existent et possèdent leur propre ouvrage des stockages et réseau de distribution :

Boughdire et K'Maih. Ces réseaux ne sont pas en service : et n'ont donc pas fait l'objet d'un diagnostic. En effet, ils ont été réalisés par l'APC dans le cadre des PCD (Programmes Communaux de Développement) mais non rétrocédés à l'ADE à ce jour.

III.2) Zone de pression Laakabi (LA) :

La zone de pression *Laakabi* est désignée ainsi car alimentée par le réservoir du même nom, Cette zone de pression est relativement étendue du point de vue géographique et limitée du point de vue du nombre d'abonnés. Elle correspond à l'extension de l'urbanisation de la ville de Jijel vers l'Est.

Elle est constituée

- en majorité d'habitats individuels.
- de quelques commerces ainsi que d'administrations.

La topographie de la zone est comprise entre **50 m NGA** sur la partie basse et **150 m NGA** au droit du site du réservoir. Ainsi, cet étage de pression présente une dénivelée de **100 m**, ce qui représente une dénivelée trop importante au regard des pressions statiques.

Le type de réseau est majoritairement constitué d'un **réseau ramifié**.

- ❖ **Ouvrages de stockage et de pompage** : La zone de pression Laakabi est alimentée à partir d'un réservoir d'une capacité de **500 m³**.
- ❖ **Réseau de distribution de distribution structurant** : La distribution est centrée sur le réservoir de Laakabi via une canalisation unique **Ø300 en PEHD**.

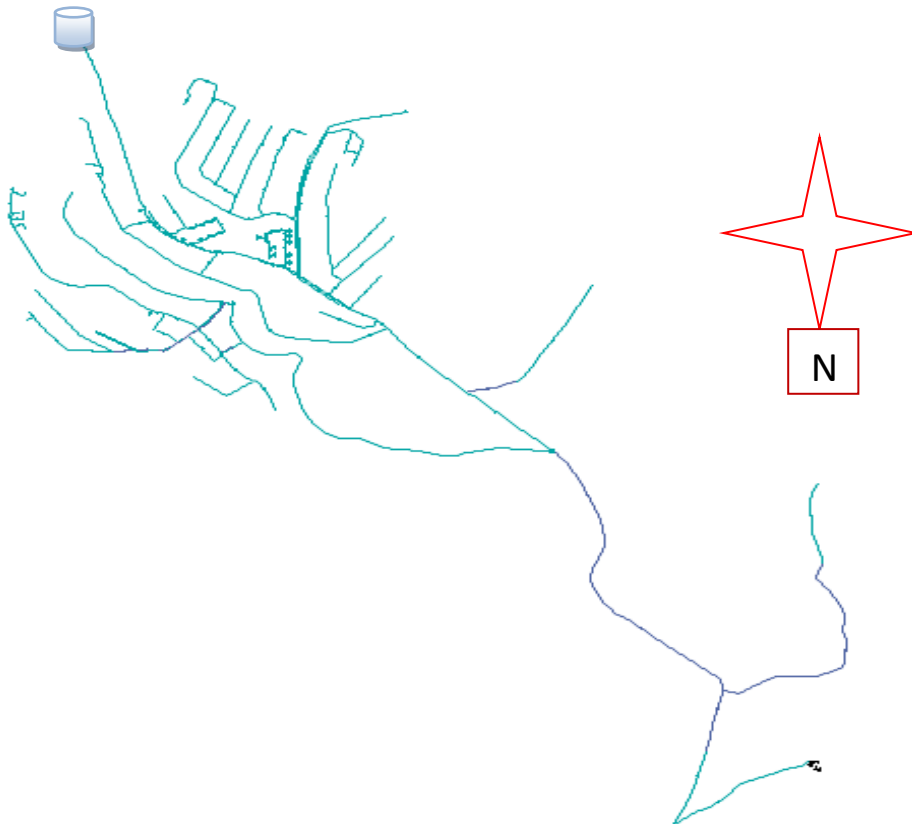


Figure (V.3) : Schéma représentatif de réseau de distribution de la zone de pression de *laakabi*.

III.2.1) Caractérisation des conduites :

III.2.1.1) Le Linéaires :

Le linéaire de canalisations collecté sur l'ensemble de la ville de Jijel atteint **306 km**.

Le secteur de la zone de pression **Laakabi** en regroupe **14,7 km** soit **5 %** du linéaire total.

Le tableau suivant représente les Caractéristiques générales de la configuration du réseau sur le secteur de la zone de pression Laakabi :

Tableau (V.2) : Le linéaire de canalisations Le secteur de la zone de pression Laakabi.

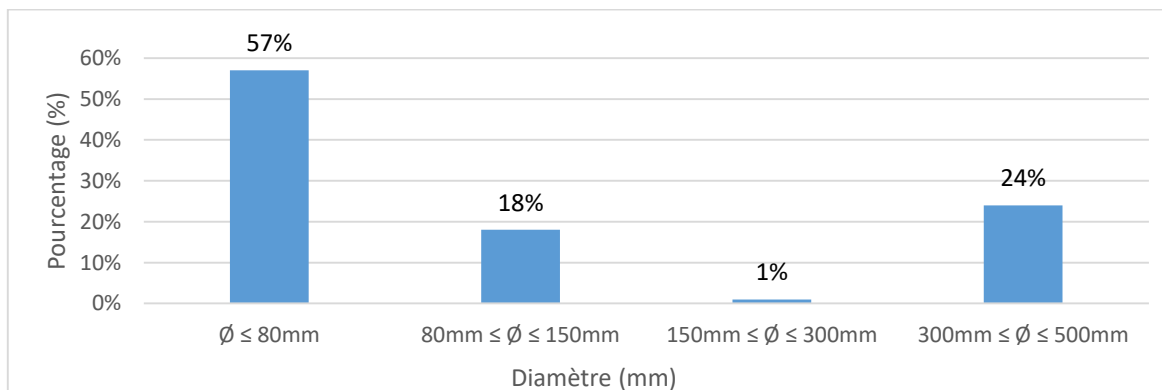
secteur	Superficie Km ²	Linéaire km	Somme de linéaire des canalisations (km)	Nbre de branchement
LA	2.99	5	14.7	1056

III.2.1.2) Les Diamètres :

Cette zone est composée à **81 %** de conduites d'un diamètre inférieur à **150 mm** avec **57 %** des Canalisations de diamètre inférieur à **80 mm**. Ces diamètres sont caractéristiques d'un réseau de Distribution d'eau potable secondaire "classique".

Cette tendance générale connaît cependant des variations dans les secteurs et sous-secteurs selon le type de consommateurs et leur répartition spatiale.

La figure suivante met en évidence l'importance relative des différentes classes de diamètres au sein de la zone de pression **Laakabi**.



Figure(V.4) : Répartition des classes de diamètres dans la zone de pression Laakabi.

La répartition des canalisations par diamètre sur le secteur de Laakabi fait ressortir :

- un faible pourcentage de conduite de diamètre supérieur à 300 mm.
- une majorité de canalisations dont le diamètre est inférieur à 80 mm, et un pourcentage faible de conduites dont le diamètre est compris entre 80 et 150 mm.

- le pourcentage de conduites primaires est faible sur le secteur de Laakabi si l'on considère que de telles conduites correspondent à celles dont le diamètre est supérieur à 150 mm

III.2.1.3) Le type des Matériaux :

D'une façon plus détaillée les matériaux existants dans la zone de **Laakabi** sont:

- ✓ Le PEHD
- ✓ Le galvanisé
- ✓ Le PVC
- ✓ l'Acier

La figure suivante fait état des pourcentages de chaque matériau présent dans la zone de Laakabi.

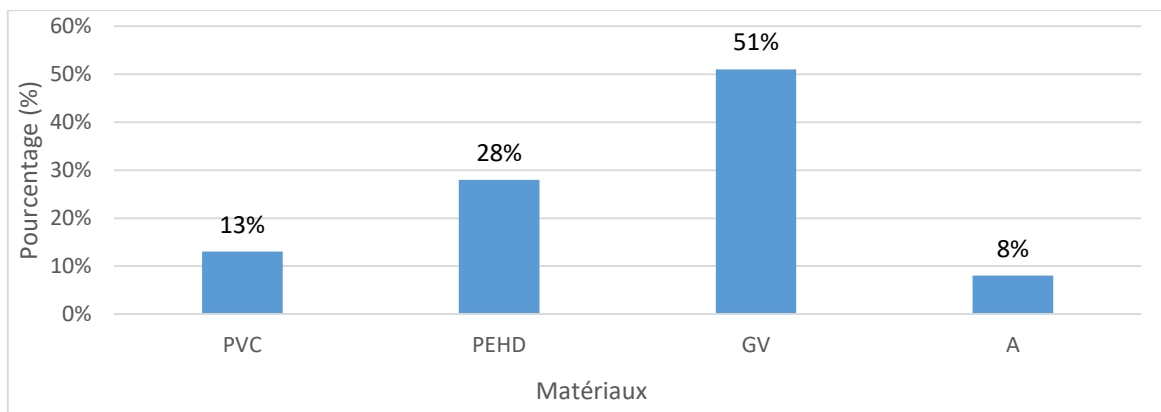


Figure (V.5): Répartition des matériaux sur la zone de pression Laakabi

72 % des conduites sont constitués d'acier galvanisé et de PVC, c'est-à-dire de matériaux sensibles aux fuites et à proscrire à l'avenir.

D'une façon plus détaillée

- ✓ Le PEHD (42 % du linéaire)
- ✓ L'acier galvanisé (36 % du linéaire)
- ✓ Le PVC et l'Acier en plus faible pourcentage

III.2.1.4) Année de pose :

Le graphe ci-dessous de répartition des décennies des canalisations de pose sur la zone de pression **Laakabi**, Ainsi 57% du linéaire de conduites a été posées avant 2000 (réseau de moins de 10 ans) 98 % des canalisations ont été posées avant 1980 (réseau de moins de 30 ans)).

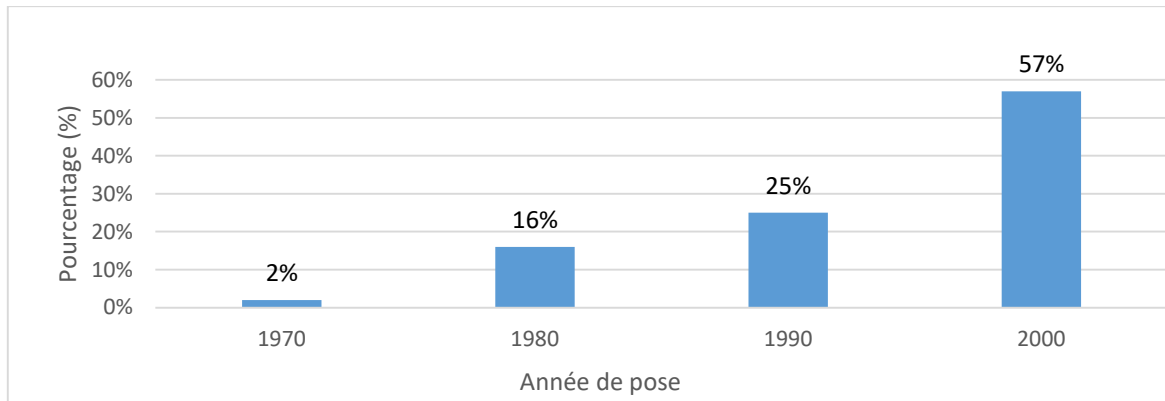


Figure (V.6) : Répartition des décennies de pose sur la zone de pression Laakabi.

III.2.1.5) Année de pose des canalisations en fonction du matériau :

Jusqu'aux années **98**, l'acier galvanisé est largement majoritaire sur le réseau, à l'exception d'une petite campagne de pose d'acier dans les années **80**. Les années **2000** sont marquées par l'apparition du **PEHD** avec une petite quantité de **PVC**, cela est dû au renouvellement du réseau qui s'est fait ces dernières années.

La pose de ces matériaux se poursuit dans les années **2001** jusqu'à **2005** en grande quantité.

III.2.1.6) Profondeur de pose :

Les profondeurs de pose relevées sur la zone de pression Laakabi sont de l'ordre de **0.2 m** jusqu'à **1.2 m**.

IV) Application du modèle AHP-PROMETHEE II

Dans Cette partie nous avons présenté l'application de modèle **AHP-PROMETHEE II** qui est présenté dans le chapitre précédant, pour but de la priorisation de réhabilitation des tronçons de réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel (*zone de pression de laakabi*).

IV.1) Application de la première partie du modèle proposé :

IV.1.1) Présentation des données des tronçons :

Le tableau (V.3) représente un échantillon de cinq (05) tronçons zone de pression de *laakabi* pour L'application du modèle **AHP-PROMETHEE II**. Chaque conduite est donnée en fonction de Dix (10) critères.

Tableau(V.3) : Exemple d'un échantillon de base de données des conduites de Laakabi.

Critères	Code	COND1	COND2	COND3	COND4	COND5
Longueur (m)	LONG	12	13	15	13	12.5
Profondeur (m)	PDP	0.4	0.5	0.65	0.6	0.8
Matériau	MAT	PEHD	PEHD	PEHD	GV	GV
Age (ans)	AGE	10	10	10	30	30
Emplacement	EMDC	Routes	Routes	Trottoirs	Espace.V	Espace.V
Investissement (DA/ml)	INV	1200	1200	1200	3500	3500
Diamètres (mm)	DIA	80	80	80	100	100
Présence réseau urbain	PRURB	Non	Non	Non	oui	Oui
Zone de développement	ZDDV	Habit	Habit	Habit	Habit	Indust
Réhabilitations technique	RHB	1	1	1	1	2

IV.1.2) Construction de la matrice de comparaison :

La matrice de comparaison est construite à partir de *Tableau (IV.1)* à l'aide de l'échelle de comparaison de Saaty (1980) et les informations de comparaison des critères ont été mises sous forme de matrice (*équation(IV.3), chapitre IV*).

Le tableau suivant représenté la matrice de comparaison par paire entre les dix critères et leur poids, utilisés pour la priorisation de la réhabilitation des tronçons (conduites) de réseaux d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel (*Zone de pression de Laakabi*).

Tableau (V.4) : La matrice de comparaison pour les différents critères.

Critères	LONG	PDP	MAT	AGE	EMDC	INV	DIA	PRURB	ZDDV	RHB	Poids
LONG	1	0.5	0.33	0.33	0.5	2	0.25	0.33	0.5	2	0.05227931
PDP	2	1	0.5	0.33	0.5	2	0.5	0.5	0.5	2	0.06688089
MAT	3	2	1	0.5	0.5	2	0.5	3	2	3	0.12227297
AGE	3	3	2	1	3	2	3	2	0.5	5	0.19338379
EMDC	2	1	2	0.33	1	2	0.5	3	2	3	0.12378652
INV	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.2	0.5	0.5	5	0.05771428
DIA	4	2	2	0.33	2	0.5	1	2	2	3	0.14157919
PRURB	3	2	0.33	0.5	0.33	2	0.5	1	0.5	4	0.08720598
ZDDV	2	2	0.5	2	0.5	2	0.5	2	1	5	0.12605192
RHB	0.5	0.5	0.33	0.2	0.33	0.2	0.33	0.25	0.2	1	0.02884514

Le tableau (V.4) montre que :

- Le critère Longueur (**LONG**) des conduites dans la première ligne et critère Longueur (**LONG**) des Conduites dans la première colonne sont également préférés et ont été assignés de la valeur **1**.
- Le critère Profondeur de pose(**PDP**) des conduites dans la deuxième ligne est modérément préféré que le critère (**LONG**) dans la première colonne et la valeur attribuée est **2**.
- Le critère Matériaux (**MAT**) dans la troisième ligne est extrêmement préférable que le critère (**LONG**) dans la première colonne, la valeur attribuée est **3**.
- Le critère Diamètre (**DIA**) dans la septième ligne est fortement préféré que critère(**LONG**) dans la première colonne et la valeur attribuée est **4** et ainsi de suite.
- D'autre part, le critère Investissement (**INV**) dans la sixième ligne est modérément moins préféré que le critère Longueur (**LONG**) dans la première colonne et la valeur attribuée est de **1/2**.
- Le critère Longueur (**LONG**) dans la première ligne est extrêmement moins préféré que le critère Matériaux (**MAT**) dans la troisième colonne, la valeur attribuée est **1/3** et ainsi de suite jusqu'à le remplissage de toute la matrice de comparaison.

On peut exprimer mathématiquement La matrice de comparaison pour les différents critères comme suite :

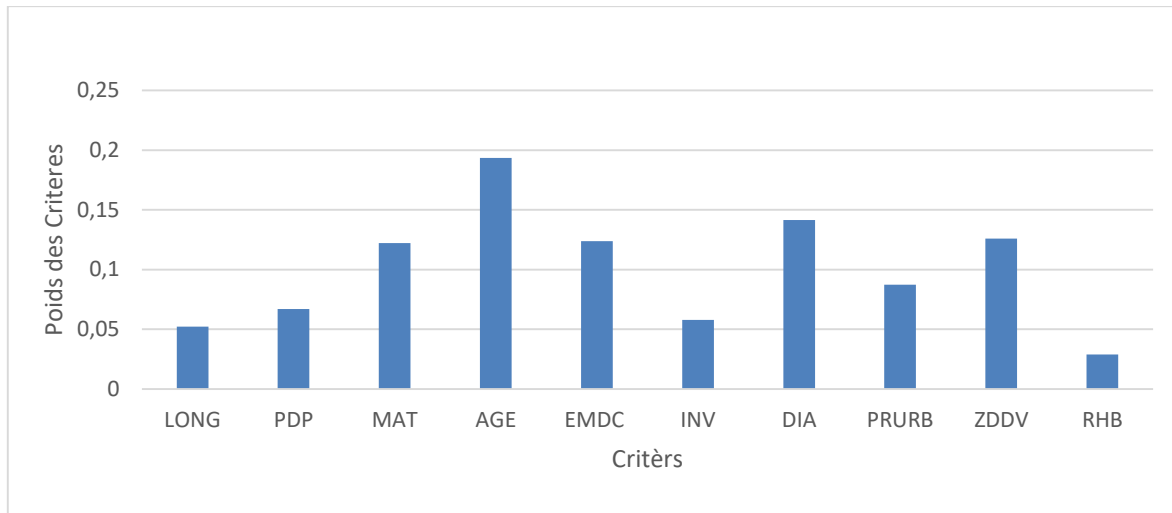
$$a_{11} = (\text{LONG}, \text{LONG}) = 1, a_{21} = (\text{PDP}, \text{LONG}) = 2; \quad a_{31} = (\text{MAT}, \text{LONG}) = 3;$$

$$a_{41} = (\text{AGE}, \text{LONG}) = 3, a_{51} = (\text{EMDC}, \text{LONG}) = 2; \quad a_{61} = (\text{INV}, \text{LONG}) = 1/2;$$

$$a_{81} = (\text{PRURB}, \text{LONG}) = 3, a_{91} = (\text{ZDDV}, \text{LONG}) = 2; a_{101} = (\text{RHB}, \text{LONG}) = 1/2;$$

$$a_{12} = (\text{LONG}, \text{PDP}) = 1/2, \quad a_{13} = (\text{LONG}, \text{MAT}) = 1/3; a_{14} = (\text{LONG}, \text{AGE}) = 1/3.$$

La figure suivante montre les résultats obtenus pour les poids des dix critères par la méthode AHP.



Figure(V.7) : schéma représenté les poids des dix critères obtenus par la méthode AHP.

Les résultats montrent que :

- ✓ Le critère L'Âge des canalisations **AGE** est un critère important dans la priorité de la réhabilitation des tronçons de conduites dans le réseau d'alimentation en eau potable avec un poids de (**AGE=0.193384**).
- ✓ Suivi par le critère Diamètre des conduites avec un poids de (**DIA=0.141579**).
- ✓ Suivi par Zone de développement avec un poids de (**ZDDV=0.126052**).
- ✓ Suivi par Emplacement des conduites avec un poids de (**EMDC=0.123787**).
- ✓ Suivi par Le Matériaux avec un poids de (**MAT=0.122273**).
- ✓ La Présence d'un autre réseau urbain avec un poids de (**PRURB=0.087206**).
- ✓ Suivi par La Profondeur de pose avec un poids de (**PDP =0.066881**).
- ✓ Suivi par Investissement avec un poids de (**INV=0.052279**).
- ✓ Suivi par La Longueur avec un poids de (**LONG=0.052279**).
- ✓ et la Technique de Réhabilitation avec un poids de (**RHB=0.028845**).

IV.1.3) Vérification cohérence de jugement :

Après avoir obtenu les poids des critères utilisés pour la priorité de la réhabilitation, on passe à la vérification de la cohérence des jugements proposés dans la matrice de comparaison Tableau (V.4), Les résultats obtenus sont :

- ✓ La valeur propre maximale de la matrice est : **$\lambda_{max} = 10.9089311$** .
- ✓ L'indice aléatoire RI de l'échelle de Saaty **RI = 1.49**.
- ✓ L'indice de cohérence **IC = 0.100992342**.
- ✓ Le ratio de cohérence **RC = 0.067780095 < 0.1**.

Les résultats montre que le Ratio de Cohérence ($RC = 0.067780095 < 0.1$).

Donc ($RC < 10\%$) on peut dire que la condition et vérifier, est les résultats des poids on peut les utilisés dans la deuxième partie de modèle.

IV.2) Deuxième partie du modèle proposé :

La deuxième partie du modèle proposé est la méthode (**PROMETHEE II**) (*Préférence Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*)

Cette partie consiste à classer les des tronçons (conduites) de réseaux d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel par ordre décroissant le plus urgent a réhabilité jusqu'à la moindre urgent avec la considération des valeurs des poids des critères obtenu dans la partie (I). Dans cette partie, nous fait un exemple de cinq (05) conduites pour expliquer la méthode proposée.

IV.2.1) La matrice d'évaluation :

Sur la base des critères d'évaluation, la matrice d'évaluation est formée. Dans ce processus, Certains critères ont une structure quantitative (**AGE, DIA, MAT...etc.**), tandis que d'autres ont une structure qualitative ou une structure incertaine qui ne peut pas être mesurée avec précision.

L'utilisation des deux échelles quantitatives et qualitatives assure que tous les critères sont Correctement traités sur la meilleure façon.

Les évaluations des cinq (05) conduites de réseaux d'alimentation en eau potable en fonction des dix critères, à savoir, la matrice d'évaluation, sont affichés dans le tableau suivant (V.5)

Tableau (V.5) : représentation de la matrice d'évaluation Exemple de cinq conduites.

Critères	Unit	Max/Min	Wi	Pi	COND1	COND2	COND3	COND4	COND5
LONG	m	Max	0.05227931	Usual	12	13	15	13	12.5
PDP	m	Max	0.06688089	Usual	0.4	0.5	0.65	0.6	0.8
MAT	.....	Max	0.12227297	Usual	PEHD	PEHD	PEHD	GV	GV
Age	ans	Max	0.19338379	Usual	10	10	10	30	30
EMDC	.....	Max	0.12378652	Usual	Routes	Routes	Troutt	E.V	E.V
INV	DA	Min	0.05771428	Usual	1200	1200	1200	3500	3500
DIA	mm	Max	0.14157919	Usual	80	80	80	100	100
PRURB	.....	Max	0.08720598	Usual	Non	Non	Non	oui	oui
ZDDV	.....	Max	0.12605192	Usual	indust	indust	indust	indust	habit
RHB	.....	Max	0.02884514	Usual	1	1	1	1	2

Après avoir calculé les poids des critères en utilisant la méthode AHP et formé la matrice D'évaluation, la prochaine étape est d'avoir des informations sur la fonction de préférence Utilisée lorsque l'on compare les conduites en termes de chaque critère.

IV.2.2) La fonction de préférence :

Dans notre cas d'étude, nous avons choisis la fonction de préférence usuelle (*usual, function*) pour sa simplicité.

La fonction de préférence usuelle (P_i) traduit la différence entre les évaluations obtenues par deux conduites par exemple (*COND3 et COND4*) en termes d'un critère particulier, dans un degré de préférence **0 et 1**.

- ❖ Si deux conduites ont une différence ($d \neq 0$) dans le critère C_i , puis une valeur de préférence $P_i = 1$ sera affectée à la meilleure conduite tandis que la mauvaise conduite reçoit une valeur 0 .
- ❖ Si deux critères ont une différence de zéro, ils sont indifférents ce qui se traduit par une affectation de 0 des deux conduites.

Par exemple:

- ❖ $P_{LONG}(COND3, COND4) = LONG(COND3) - LONG(COND4) = 15 - 13 = 2$.
 - ✓ La valeur attribuée pour $P_{LONG}(COND3, COND4)$ est **1**,
 - ✓ La valeur attribuée pour $P_{LONG}(COND4, COND3)$ est **0**.

- ❖ $P_{LONG}(COND2, COND4) = LONG(COND2) - LONG(COND4) = 13 - 13 = 0$.
 - ✓ La valeur attribuée pour $P_{LONG}(COND2, COND4)$ est **0**
 - ✓ La valeur attribuée pour $P_{LONG}(COND4, COND2)$ est **0**.

La comparaison entre les cinq (05) conduites par rapport aux Dix critères donne les matrices dans les Tableaux (V.6) à (V.15).

Tableau (V.6) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Longueur (LONG).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	1	.....	0	0	1
Cond3	1	1	.....	1	1
Cond4	1	0	0	.....	1
Cond5	1	0	0	0	.....

Tableau (V.7) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Profondeur de pose (**PDP**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	1	.....	0	0	0
Cond3	1	1	.....	1	0
Cond4	1	1	0	.....	0
Cond5	1	1	1	1	.....

Tableau(V.8) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Matériau (**MAT**)

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	0	.....	0	0	0
Cond3	0	0	.....	0	0
Cond4	1	1	1	.....	0
Cond5	1	1	1	0	.....

Tableau (V.9) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Age des conduites (**AGE**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	0	.....	0	0	0
Cond3	1	1	.....	0	0
Cond4	1	1	0	.....	0
Cond5	1	1	0	0	.....

Tableau (V.10) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Emplacement des conduites (**EMDC**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	1	1	1
Cond2	0	.....	1	1	1
Cond3	0	0	.....	1	1
Cond4	0	0	0	.....	0
Cond5	0	0	0	0	.....

Tableau (V.11) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Investissement (**INV**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	0	.....	0	0	0
Cond3	0	0	.....	0	0
Cond4	1	1	1	.....	0
Cond5	1	1	1	0	.....

Tableau (V.12) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Diamètre (**DIA**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	0	.....	0	0	0
Cond3	0	0	.....	0	0
Cond4	1	1	1	.....	0
Cond5	1	1	1	0	.....

Tableau (V.13) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Présence d'un réseau urbain (**PRURB**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	0	.....	0	0	0
Cond3	0	0	.....	0	0
Cond4	1	1	0	.....	0
Cond5	1	1	0	0	.....

Tableau (V.14) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Zone de développement (**ZDDV**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	1
Cond2	0	.....	0	0	1
Cond3	0	0	.....	0	1
Cond4	0	0	0	.....	1
Cond5	0	0	0	0	.....

Tableau (V.15) : Les valeurs de préférence résultant des comparaisons des conduites par rapport au critère Réhabilitation (**RHB**).

Conduites	Con1	Con2	Con3	Con4	Con5
Cond1	.....	0	0	0	0
Cond2	0	.....	0	0	0
Cond3	0	0	.....	0	0
Cond4	0	0	0	.....	0
Cond5	1	1	1	1	.....

IV.2.3) Degré de préférence

Le tableau (V.16) 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.

Par exemple :

$$\pi(\text{COND3}, \text{COND1}) = \sum_{i=1}^{10} P_i(\text{COND3}, \text{COND1}) \times W_i = 0.3125$$

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 :

$$\phi^+(\text{COND3}) = \frac{1}{9} \sum_{x \in A} \pi(\text{COND3}, x) = \frac{1}{9} [\pi(\text{COND3}, \text{COND1}) + \pi(\text{COND3}, \text{COND2}) + \pi(\text{COND3}, \text{COND4}) + \pi(\text{COND3}, \text{COND5})] = \mathbf{0.1300}$$

$$\phi^-(\text{COND3}) = \frac{1}{9} \sum_{x \in A} \pi(x, \text{COND3}) = \frac{1}{9} [\pi(\text{COND1}, \text{COND3}) + \pi(\text{COND2}, \text{COND3}) + \pi(\text{COND4}, \text{COND3}) + \pi(\text{COND5}, \text{COND3})] = \mathbf{0.1096}$$

$$\phi(\text{COND3}) = \phi^+(\text{COND3}) - \phi^-(\text{COND3}) = 0.1300 - 0.1096 = \mathbf{0.0204}$$

Tableau (V.16) : Le flux positif, le flux négatif, le flux net des conduites et le classement.

π	Cond1	Cond2	Cond3	Cond4	Cond5	ϕ^+	ϕ	Rang
Cond1	.....	0.0000	0.1238	0.1238	0.2498	0.0553	-0.1561	5
Cond2	0.1192	.....	0.1238	0.1238	0.3021	0.0743	-0.1123	4
Cond3	0.3125	0.3125	.....	0.2429	0.3021	0.1300	0.0204	3
Cond4	0.7213	0.6690	0.3216	.....	0.1783	0.2100	0.1449	1
Cond5	0.8762	0.8239	0.5433	0.2218	.....	0.2179	0.1031	2
ϕ^-	0.2115	0.1867	0.1096	0.0651	0.1147			

La figure (V.8) présente les flux positif, négatif et net pour les conduites de Laakabi (Cond1, Cond2, Cond3, Cond4, Cond5)

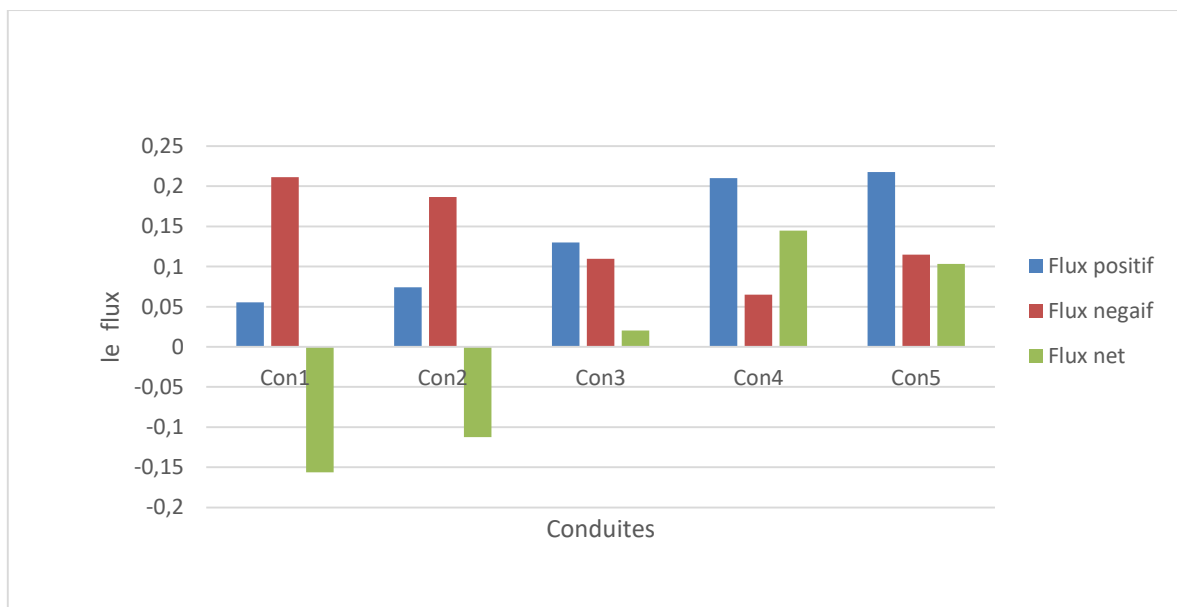


Figure. (V.8) : Présentation des flux positif, négatif et net pour les conduites.

IV.2.4) Classement des conduites pour réhabilitation :

D'après les résultats montrés dans la figure (V.8) et le tableau (V.16), obtenus par la méthode AHP-PROMETHEEII :

La COND4 est la conduite la plus prioritaire pour la réhabilitation parmi les autres conduites avec comme flux positif de $\phi^+ = 0.2100$, flux négatif de $\phi^- = 0.0651$ et le flux net de $\phi = 0.1449$.

La COND5 a été classé le deuxième conduite pour la réhabilitation avec un flux positif de $\phi^+ = 0.2179$, flux négatif de $\phi^- = 0.1147$ et le flux net de $\phi = 0.1031$.

La COND3 a été classé la troisième conduite pour la réhabilitation avec un flux positif de $\phi^+ = 0.1300$, flux négatif de $\phi^- = 0.1096$ et le flux net de $\phi = 0.0204$.

Donc La conduite 2 a été classé la quatrième conduite pour la réhabilitation avec un flux positif de $\phi^+ = 0.0743$, flux négatif de $\phi^- = 0.1867$ et le flux net de $\phi = - 0.1123$.

La conduite 1 a été classé la cinquième conduite avec un flux positif de $\phi^+ = 0.0553$, flux négatif de $\phi^- = 0.2115$ et le flux net de $\phi = - 0.1561$.

V) Conclusion :

La méthodologie de la gestion de réseau d'AEP a été appliquée sur le réseau d'AEP de Jijel, pour la priorisation de la réhabilitation des conduites d'AEP avec l'application de modèle AHP-PROMETHEEII.

Le calcul des poids des dix critères a été effectué par la méthode AHP et le classement des conduites par la méthode PROMETHEE II.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le réseau d'alimentation en eau potable constitue un patrimoine qui vieillit, Ce vieillissement engendre des dysfonctionnements se manifestent principalement le fonctionnement hydraulique, désordres structurale de réseau d'AEP.

L'objectif général de ce travail a été de développer un outil d'aide à la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable afin d'améliorer le niveau de service de ce réseau.

Pour atteindre cet objectif général, nous avons élaboré des méthodes pour la priorisation des réhabilitations des conduites d'alimentation en eau potable.

L'application de la méthodologie a été faite sur 200 conduites de réseaux d'alimentation en eau potable de la ville de Jijel, zone de pression de laakabiet dix critères à pour les évaluer, Ces critères représentent les différentes questions examinées dans l'ordre de priorité des conduites, qui sont structurel, hydraulique, environnemental, financière, technique et social.

La méthode d'analyse hiérarchique des procédés (AHP) est utilisée pour déterminer les poids des critères. La méthode de la Préférence Classement - Organisation - Méthode d'enrichissement - Evaluations (PROMETHEE II) a été utilisée pour obtenir le classement final des conduites.

Parmi la limitation du modèle AHP-PROMETHEE II, le nombre de critères utilisés ne doit pas dépasser quinze (15) critères pour vérifier la cohérence des jugements proposés dans la matrice de comparaison des critères.

D'après l'application de cet outil de gestion, les gestionnaires des réseaux d'alimentation en eau potable peuvent améliorer les performances hydraulique et structurelle de chaque conduite avec la planification de la réhabilitation des conduites.

Bibliographie

Références Bibliographique

Références bibliographique

Abdelbaki Ch , (11 décembre 2014) : Thèse Doctorat « *Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG* » université Abou bakrbelkaid Tlemcen.[10]

AMARA aissani (2011) :« *modélisation et simulation chapitre* »chapitre I, p14. [14]

B.O. Saracoglu (2013):.,«*Selecting industrial investment locations in master plans of countries* »,European J. of Industrial Engineering ,InderscienceEntreprises Ltd., vol. 7, n°4, ,p.416-441.[46]

Bekhtari Med Cherif, (Septembre 2015) :« *Les méthodes multicritères pour analyser les aptitudes des terres agricoles* », le cas du blé tendre en Languedoc-Roussillon analysé avec la méthode AHP.[41]

« *alimentation en eau potable,Smartio water : (2016)* » [3]

Belton V. & Stewart T. J. (2002):« *Multiple Criteria Decision Analysis* », An Integrated Approach. Springer US.[37]

Bhatarai et Starkl, (2005):«*Rural Water Supply and Sanitation in Developing Countries* ».Symposium on the AnalyticHierarchyProcess 2005, July 8- 10, 2005 Honolulu, Hawaii. [18]

Choux, B, (1990) : « *Modélisation des réseaux d'eau potable, compatibilité avec la cartographie informatisée, L'eau – L'industrie – Les nuisances* »[11]

Cordier, R, (2017) : « *les réseaux d'alimentation en eau potable* » [4]

customer/fr/portal/articles/2062460-qu-est-ce-que-la-modélisation-statistique, (2017).[44].

Dupont A, (1979) :« *Hydrauliqueurbaine, Tome 2, Edition Eyrolles*» [9].

Dykstra D. P. (1984):« *Mathematical programming for natural resource management* », New York. McGraw-Hill.[34]

Gueddjouj & ouaret, (2002) :« *mémoire de fine d'étude, optimisation multicritère pour la gestion d'un réseau* »[21]

H. Aaya, (2016) : « *cours d'alimentation en eau potable* »[8]

Références Bibliographique

Keeney R. L. et Raiffa H. (1993): « *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs* ». Cambridge University Press. [33]

KESSILI Abdelhak, (2016) : thèse Pour l'obtention du grade de docteur en science « *Elaboration d'outil d'aide à l'exploitation des réseaux d'assainissement - Cas d'application : (les réseaux d'assainissement d'Alger) »* [22]

L.Saaty et Kirti Peniwati, Group Decision Making(2008): « *Drawing out and Reconciling Differences* », Pittsburgh, Pennsylvania, RWS Publications,.[45]

L'équipe de Saint-Gobain Pipe Systems Belgium sa (04/2009) : « *Robinetterie pour réseaux d'eau potable* » [5]

LAURINI R & François M-R (1993) : « *les bases de données en géomantique* », Paris :Edition Haremes.[23]

LIRATNI M, (2011) : « *guide méthodologique pour le diagnostic des réseaux de distribution d'eau potable* » [2]

Martel & Matarazzo (2005): « *Other Outranking Approches Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art Surveys. Dans Multiple criteria decision analysis* »: state of the art surveys. Figueira, Greco, S, Ehrgott M, editeurs. New York Springer 2005.197-262. [19]

Morcous, G., Rivard, H., Hanna, A. M., (2002): « *Modeling Bridge Deterioration Using Case-Based Reasoning* », Journal of Infrastructure Systems, ASCE, 8(3), 86-95 p [43]

Nadia Lehoux & Pascale Vallée, (novembre 2004) : « *Analyse multicritère* » [30]

Nafi, (2006) : « *la programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable* », Mémoire de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I. [1]

Onema, ASTEE, AITF, (Mai 2013): « *Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable* » [12]

Ouellabi, F & Chettouh, Y, (juin 2015) : mémoire de l'obtention du diplôme Master en Hydraulique, « *dimensionnement du réseau d'alimentations en eau potable de secteur route Touggourt – EL OUED –* » [7]

Rouet P, (1993) : « *Les données dans les Systèmes d'Information Géographique* », Edition Hermes. [24]

Roy B. (1985): « *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* ». Paris : Economica, [25]

ROY B. (1992) : « *Science de la décision ou science de l'aide à la décision* », Revue Internationale de systémique, 6, 497-529. Cité par LE Bars M. (2003). [16]

Références Bibliographique

Roy B. (1996):« *Multicriteria Methodology for Decision Aiding* ». USA. kluwer academic publishers, *Nonconvex Optimization and Its Applications*[26]

Roy B. (2005):« *An overview of MCDA techniques today* », paradigms and challenges.[35]

Roy B. (2005):An overview of MCDA techniques today: paradigms and challenges. In: Figueira J., Greco S. et Ehrgott M., eds. « *Multiple criteria decision analysis* »: state of the art surveys. New York: Springer. [38]

Saaty T. L. & Vargas L. G. (2012):« *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process* ». Springer Science & Business Media.[40]

Saaty T. L. (1980):« *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation* ». New York/London. McGraw-Hill International Book Co. [39]

Saaty T. L. (1994):« *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces* »[42]

SHÄRLIG A. (1996): « *Pratiquer ELECTRE et PROMETHÉE* ». Presse Polytechnique et universitaires Romandes .(1996) Lausanne.[20]

Tome II, (1979) : « *Ouvrage de transport-Élévation et distribution des eaux* »[6]

Valiron. F, (1994) : « *Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement* », Tome 1, 2, 3, Edition Lavoisier.[15]

Vincke, P., (1989) : « *L'aide multicritère à la décision* ». Édition Ellipses, Paris.[29]

Zeleny M. (1982):« *multiple Criteria Decision Making* ». New York. McGraw-Hill.[31]

Annexe

Annexe

Annexe :

Le tableau suivant représente le classement final des 200 conduites pour la priorité de réhabilitation de réseau d'AEP de la ville de Jijel, les résultats obtenus d'après la méthode PROMETHEEII :

Classement	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Con 16	0,3863	0,5648	0,1785
2	Con 17	0,3657	0,5454	0,1796
3	Con 155	0,3131	0,5190	0,2059
4	Con 7	0,3020	0,5281	0,2261
5	Con 92	0,3005	0,4873	0,1868
6	Con 172	0,2853	0,5086	0,2233
7	Con 187	0,2850	0,4958	0,2108
8	Con 8	0,2781	0,5196	0,2415
9	Con 191	0,2760	0,5219	0,2458
10	Con 91	0,2715	0,4637	0,1922
11	Con 156	0,2674	0,4960	0,2286
12	Con 133	0,2610	0,5320	0,2710
13	Con 157	0,2535	0,4900	0,2365
14	Con 6	0,2498	0,5024	0,2526
15	Con 190	0,2470	0,4982	0,2512
15	Con 192	0,2470	0,4982	0,2512
17	Con 166	0,2267	0,5164	0,2897
18	Con 134	0,2249	0,5144	0,2894
19	Con 15	0,2171	0,4334	0,2164
20	Con 189	0,2128	0,4376	0,2248
21	Con 63	0,2019	0,4253	0,2233
21	Con 64	0,2019	0,4253	0,2233
21	Con 65	0,2019	0,4253	0,2233
21	Con 66	0,2019	0,4253	0,2233
25	Con 14	0,1983	0,4233	0,2251
26	Con 188	0,1973	0,4322	0,2349
27	Con 129	0,1952	0,4740	0,2788
28	Con 130	0,1911	0,4716	0,2805
29	Con 175	0,1909	0,4724	0,2814
30	Con 185	0,1825	0,4538	0,2712
31	Con 170	0,1743	0,4619	0,2877
32	Con 168	0,1730	0,4863	0,3133
33	Con 174	0,1620	0,4488	0,2868
34	Con 167	0,1611	0,4737	0,3127
35	Con 87	0,1536	0,4217	0,2682
36	Con 89	0,1531	0,4156	0,2624
36	Con 90	0,1531	0,4156	0,2624
38	Con 131	0,1416	0,4501	0,3085
38	Con 132	0,1416	0,4501	0,3085

Annexe

40	Con 144	0,1391	0,4368	0,2977
41	Con 165	0,1391	0,4529	0,3138
42	Con 193	0,1390	0,4119	0,2729
43	Con 153	0,1318	0,4213	0,2894
43	Con 154	0,1318	0,4213	0,2894
45	Con 113	0,1310	0,3971	0,2660
46	Con 37	0,1299	0,3815	0,2516
47	Con 58	0,1260	0,3998	0,2738
47	Con 59	0,1260	0,3998	0,2738
49	Con 160	0,1250	0,4166	0,2916
50	Con 88	0,1246	0,3981	0,2735
51	Con 186	0,1220	0,4180	0,2960
52	Con 184	0,1218	0,3974	0,2756
53	Con 112	0,1205	0,3929	0,2723
54	Con 111	0,1195	0,3927	0,2732
55	Con 62	0,1167	0,3867	0,2700
55	Con 67	0,1167	0,3867	0,2700
57	Con 122	0,1138	0,4680	0,3542
58	Con 171	0,1084	0,4211	0,3127
59	Con 176	0,1075	0,4087	0,3013
60	Con 146	0,1039	0,4292	0,3252
61	Con 162	0,1022	0,4007	0,2985
61	Con 163	0,1022	0,4007	0,2985
63	Con 80	0,0989	0,3976	0,2987
63	Con 81	0,0989	0,3976	0,2987
65	Con 55	0,0970	0,3762	0,2792
65	Con 56	0,0970	0,3762	0,2792
65	Con 57	0,0970	0,3762	0,2792
68	Con 173	0,0965	0,4154	0,3189
69	Con 164	0,0941	0,3987	0,3046
70	Con 5	0,0910	0,4486	0,3576
71	Con 158	0,0881	0,3872	0,2991
71	Con 159	0,0881	0,3872	0,2991
73	Con 177	0,0816	0,3969	0,3153
74	Con 127	0,0815	0,3800	0,2986
75	Con 94	0,0718	0,3685	0,2966
75	Con 95	0,0718	0,3685	0,2966
77	Con 82	0,0710	0,3844	0,3134
78	Con 78	0,0699	0,3739	0,3040
78	Con 79	0,0699	0,3739	0,3040
80	Con 169	0,0691	0,4165	0,3474
81	Con 183	0,0672	0,3979	0,3307
82	Con 145	0,0640	0,3989	0,3349
83	Con 86	0,0569	0,3812	0,3243
84	Con 96	0,0559	0,3603	0,3044
84	Con 97	0,0559	0,3603	0,3044
86	Con 38	0,0522	0,3424	0,2902
87	Con 135	0,0518	0,4398	0,3881

Annexe

88	Con 147	0,0485	0,4153	0,3668
89	Con 123	0,0459	0,3949	0,3489
90	Con 83	0,0421	0,3608	0,3187
91	Con 115	0,0420	0,4020	0,3600
92	Con 114	0,0396	0,3542	0,3146
93	Con 110	0,0389	0,3495	0,3106
94	Con 178	0,0359	0,3567	0,3208
95	Con 13	0,0284	0,3300	0,3016
96	Con 60	0,0192	0,3370	0,3178
96	Con 61	0,0192	0,3370	0,3178
98	Con 126	0,0192	0,3555	0,3364
99	Con 74	0,0134	0,3573	0,3440
99	Con 75	0,0134	0,3573	0,3440
101	Con 11	0,0114	0,3230	0,3117
102	Con 109	0,0111	0,3364	0,3253
103	Con 152	0,0102	0,3498	0,3397
104	Con 181	-0,0006	0,3525	0,3530
104	Con 182	-0,0006	0,3525	0,3530
106	Con 124	-0,0022	0,3643	0,3665
106	Con 125	-0,0022	0,3643	0,3665
108	Con 39	-0,0030	0,3479	0,3509
109	Con 84	-0,0040	0,3399	0,3439
110	Con 50	-0,0057	0,3379	0,3435
111	Con 93	-0,0134	0,3299	0,3433
112	Con 161	-0,0151	0,3472	0,3623
113	Con 143	-0,0228	0,3296	0,3525
114	Con 12	-0,0263	0,2965	0,3228
115	Con 10	-0,0265	0,3086	0,3351
116	Con 41	-0,0279	0,3339	0,3618
116	Con 42	-0,0279	0,3339	0,3618
116	Con 43	-0,0279	0,3339	0,3618
119	Con 77	-0,0282	0,3244	0,3526
120	Con 72	-0,0323	0,3204	0,3527
120	Con 73	-0,0323	0,3204	0,3527
122	Con 44	-0,0365	0,3310	0,3676
123	Con 198	-0,0461	0,3417	0,3878
124	Con 19	-0,0487	0,3262	0,3749
125	Con 116	-0,0510	0,3536	0,4046
126	Con 46	-0,0511	0,3218	0,3729
127	Con 45	-0,0522	0,3193	0,3715
128	Con 180	-0,0549	0,3021	0,3570
129	Con 121	-0,0626	0,3530	0,4156
130	Con 18	-0,0631	0,3130	0,3761
131	Con 149	-0,0637	0,3346	0,3983
132	Con 49	-0,0650	0,3038	0,3688
133	Con 4	-0,0675	0,3234	0,3909
134	Con 140	-0,0683	0,3063	0,3746
135	Con 199	-0,0705	0,3223	0,3928

Annexe

135	Con 200	-0,0705	0,3223	0,3928
137	Con 179	-0,0707	0,2848	0,3554
138	Con 76	-0,0743	0,2938	0,3681
139	Con 120	-0,0774	0,3475	0,4248
140	Con 194	-0,0798	0,3078	0,3876
141	Con 20	-0,0808	0,3017	0,3825
142	Con 85	-0,0892	0,3013	0,3906
143	Con 106	-0,0893	0,2908	0,3801
144	Con 139	-0,0900	0,3014	0,3914
145	Con 51	-0,0933	0,2743	0,3676
146	Con 105	-0,0961	0,2882	0,3843
147	Con 128	-0,0975	0,2958	0,3933
148	Con 141	-0,0975	0,3002	0,3977
149	Con 136	-0,1039	0,3180	0,4219
150	Con 54	-0,1070	0,2986	0,4056
151	Con 197	-0,1104	0,2865	0,3969
152	Con 108	-0,1217	0,2760	0,3976
153	Con 119	-0,1264	0,3204	0,4469
154	Con 70	-0,1273	0,2899	0,4172
154	Con 71	-0,1273	0,2899	0,4172
156	Con 107	-0,1356	0,2699	0,4055
157	Con 31	-0,1395	0,2775	0,4170
157	Con 32	-0,1395	0,2775	0,4170
159	Con 52	-0,1411	0,2586	0,3997
159	Con 53	-0,1411	0,2586	0,3997
161	Con 151	-0,1473	0,2702	0,4174
162	Con 138	-0,1508	0,2653	0,4161
163	Con 142	-0,1561	0,2623	0,4184
164	Con 196	-0,1565	0,2754	0,4319
165	Con 137	-0,1626	0,2781	0,4407
166	Con 98	-0,1655	0,2451	0,4105
166	Con 99	-0,1655	0,2451	0,4105
166	Con 100	-0,1655	0,2451	0,4105
169	Con 195	-0,1670	0,2712	0,4382
170	Con 117	-0,1674	0,3008	0,4683
171	Con 69	-0,1682	0,2529	0,4211
172	Con 40	-0,1734	0,2608	0,4341
173	Con 118	-0,1743	0,2982	0,4725
174	Con 150	-0,1762	0,2465	0,4228
175	Con 9	-0,1787	0,2450	0,4237
176	Con 104	-0,1857	0,2398	0,4255
177	Con 68	-0,1972	0,2293	0,4265
178	Con 148	-0,2029	0,2905	0,4933
179	Con 47	-0,2141	0,2441	0,4581
179	Con 48	-0,2141	0,2441	0,4581
181	Con 34	-0,2244	0,1985	0,4229
181	Con 35	-0,2244	0,1985	0,4229
183	Con 30	-0,2247	0,2389	0,4637

Annexe

184	Con 103	-0,2575	0,1999	0,4574
185	Con 33	-0,2662	0,1793	0,4455
186	Con 36	-0,2907	0,1613	0,4520
187	Con 28	-0,3224	0,1644	0,4868
187	Con 29	-0,3224	0,1644	0,4868
189	Con 26	-0,3375	0,1468	0,4843
189	Con 27	-0,3375	0,1468	0,4843
191	Con 101	-0,3381	0,1597	0,4978
192	Con 2	-0,3818	0,1319	0,5138
193	Con 24	-0,3862	0,1312	0,5175
194	Con 1	-0,3968	0,1255	0,5223
195	Con 102	-0,3996	0,1277	0,5273
196	Con 21	-0,4152	0,1076	0,5228
197	Con 22	-0,4152	0,1076	0,5228
198	Con 23	-0,4152	0,1076	0,5228
199	Con 25	-0,4152	0,1076	0,5228
200	Con 3	-0,4342	0,1092	0,5433