

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

IKHLEF Sabrina

HALICHE Nacira

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Hydraulique Urbaine**

INTITULE :

PROBLEMATIQUE DE REHABILITATION DES CONDUITES DES RESEAUX D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Soutenu le **01/07 /2018** devant le jury composé de :

Président : M^r BERREKSI A.
Promoteur : M^r HAMCHAOUI S.
Co-Promotrice : M^{me} BOUCHRAKI F.
Examineur : M^r MERAH F.
Invité : M^r MOUSSOUNI A.

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Voici enfin que ce modeste travail arrive à terme. On tient à exprimer toutes notre reconnaissance à ceux qui au long de ce mémoire nous ont apporté leur soutien, la participation de certains à été décisive pour l'aboutissement de ce travail qu'il nous est agréable de présenter.

Un remerciement tout particulier à nos chers parents respectifs de leurs sacrifices consentis pour notre éducation et formation ; aussi à notre deuxième maman Nabia.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de M^r HAMCHAOUI Samir et M^{me} BOUCHRAKI Faiza ; on les remercie pour la qualité de leur encadrement exceptionnel, pour leur patience, leur rigueur, leur écoute et surtout leur disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. Que ce travail soit un témoignage de nos profonds respects.

Nos remerciements s'adressent à M^r MOUSSOUNI Abderezak qui nous a orienter et aider.

Nos remerciements s'adressent également à tous les ingénieurs de l'Algérienne des eaux :

M^r SADOU Belkacem, M^r KEDDADOUCHE Djillali, M^r MOUDOUB Massi, M^r HAMADOUCHE Riad, M^{me} BITOUT Fatima, M^{me} Ratiba, M^{me} Houda , sans oublier M^r AIT ELHOUCINE Karim.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait M^r BERREKSI Ali en étant président du jury, M^r MERAH Ferhat d'avoir accepté d'examiner ce travail, M^r KESSILI Abdelhak et M^r MOUSSOUNI Abderezak d'accepté notre invitation.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos enseignants du département d'hydraulique pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Dédicaces Sabrina

Je dédie ce mémoire à...

A ma très chère mère Dalila et mon très cher père Farid

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ma gratitude et ma reconnaissance envers vous. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation. Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde santé, longue vie et bonheur.

A mon très cher frère Hichem et ma très chère sœur Romaiissa

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mes chers grands-parents

Vava kiki, yemma Adouda et ttitti khedoudja.

A mes très chers oncles et leurs épouses

Dada Smail, dada Zahir, dada Rabah, dada Fatah, dada Samir, khali Djamel, khali Farid.

A mes très chères tantes et leurs époux

Khalti samia, nana khoukha, nana bahia, khalti zohra

A tous mes cousins et cousines

A toi ma très chère copine et binôme Nacira et toute sa famille

Je te dédie notre travail, nos efforts fourni avec tous mes vœux de bonheur et de réussite.

A mes copines et mes amis.



Dédicaces Nacira

Je dédie ce mémoire à...

A ma très chère mère Fatima, et mon très cher père Bachir

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ma gratitude et ma reconnaissance envers vous ; ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation. Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde santé, longue vie et bonheur.

A mes très chers frères

Nabil, Abdenour et Gaya.

A mes très chères sœurs

Fadila, Lila, Faiza, Kahina

A mes chers

Nadia, Louiza , Kahina ,Cherifa , Aini et K.N

A mes très chères nièces

Katia, Maylesse, Yasmine, Baya

A mes très chers neveux

Axel, Oualid

A toi ma grand-mère yemmas tmourth et khalti smina

A ma grande famille

Mes tantes, mes oncles ainsi que mes cousines et mes cousins

A toi ma très chère copine et binôme Sabrina et toute sa famille

Je te dédie notre travail, nos efforts fournis avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A tous mes copines et amis

Sommaire

Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	viii
Liste des symboles.....	x
Introduction générale.....	2
Partie I : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Généralités des réseaux d'AEP	
I.1. Introduction.....	5
I.2. Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable.....	5
I.3. Les éléments spécifiques du réseau d'eau potable.....	6
I.3.1. Captage	6
I.3.1.1. Définition	6
I.3.1.2. Type de captage	7
I.3.1.2.1. Captage des eaux souterraines	7
I.3.1.2.2. Captage des eaux de surface	7
I.3.1.2.3. Captage des eaux de sources.....	7
I.3.2. Traitement des eaux	7
I.3.2.1. Définition	7
I.3.2.2. Les étapes du traitement.....	8
I.3.3. Adduction.....	9
I.3.3.1. Définition	9
I.3.3.2. Constitution de l'adduction d'eau	9
I.3.3.3. Différents systèmes d'adduction.....	9
I.3.3.3.1. Problèmes diverses.....	9
I.3.4. Stockage.....	10
I.3.4.1 Définition	10
I.3.4.2. Type de stockage.....	10
I.3.4.2.1. Réservoirs	10
I.3.4.2.2. Bâches	11
I.3.5. Distribution	11
I.3.5.1. Différents types de réseaux de distribution.....	12
I.4. Étude de dysfonctionnement de réseau d'eau potable	13
I.4.1. Vieillessement d'un réseau d'eau	13
I.4.1.1. Définition du vieillissement d'une conduite d'eau	13
I.4.1.1.1. Mauvais fonctionnement hydraulique du réseau	14
I.4.1.1.2. Dommages divers	14
I.4.1.2. Évaluation du vieillissement d'une conduite	14

I.4.1.1.2. Dommages divers	14
I.4.1.2. Évaluation du vieillissement d'une conduite	14
I.4.2. Défaillances des conduites d'AEP	15
I.4.2.1. Définition de défaillance des conduites d'AEP	15
I.4.2.2. Causes des défaillances	16
I.5. Gestion des réseaux d'AEP	18
I.5.1. Action des usagers	19
I.5.2. Action des entreprises du service d'eau potable	19
I.6. Réhabilitation des réseaux d'AEP	19
I.6.1. Définition de la réhabilitation	19
I.6.2. Technique de réhabilitation.....	19
I.7. Conclusion	20
<i>Chapitre II : Aide à la décision multicritère (Concepts et Méthodes)</i>	
II.1. Introduction	21
II.2. Définitions	21
II.2.1. Critère	21
II.2.2. Alternative (action).....	21
II.2.3. Poids	21
II.2.4. Préférence du décideur	21
II.2.5. Aide à la décision	21
II.2.6. Aide à la décision multicritère.....	21
II.2.7. Fonction objective	21
II.2.8. Echelle d'intervalle.....	22
II.2.9. Décideur.....	22
II.2.10. Problématiques	22
II.2.10.1. Problématique de choix	22
II.2.10.2. Problématique de tri.....	22
II.2.10.3. Problématique de rangement	23
II.2.10.4. Problématique de description	23
II.3. Méthodes d'analyse multicritères	24
II.3.1. Approche de surclassement	24
II.3.1.1. Méthode PROMETHEE	24
II.3.1.1.1. Définition.....	24
II.3.1.1.2. Concept de la méthode.....	25
II.3.1.2. Méthode ELECTRE	25
II.3.1.2.1. Définition.....	25

II.3.1.2.2. Concept de la méthode.....	25
II.3.2. Approche de niveau de la référence.....	26
II.3.2.1. Méthode TOPSIS.....	27
II.3.2.1.1. Définition.....	27
II.3.2.1.2. Concept de TOPSIS.....	27
II.3.2.2. Méthode GP.....	28
II.3.2.2.1. Définition.....	28
II.3.2.2.2. Concept de la méthode.....	28
II.3.2.3. Méthode DEA.....	29
II.3.2.3.1. Définition.....	29
II.3.2.3.2. Concept de la méthode.....	30
II.3.3. Approche de l'agrégation complète.....	31
II.3.3.1. Méthode MAUT.....	31
II.3.3.1.1. Définition.....	31
II.3.3.1.2. Concept de la méthode.....	31
II.3.3.2. Méthode AHP.....	32
II.3.3.2.1. Définition.....	32
II.3.3.2.2. Concept de la méthode.....	32
II.3.3.3. Méthode ANP.....	33
II.3.3.3.1. Définition.....	33
II.3.3.3.2. Concept de la méthode.....	33
II.4. critiques sur les méthodes d'aide à la décision multicritère.....	34
II.5. Conclusion.....	37

Partie II : Méthodologie

Chapitre III : Méthodologie de priorisation pour une réhabilitation des conduites d'un réseau d'alimentation en eau potable

III.1. Introduction.....	39
III.2. Problème de décision.....	39
III.3. Méthodologie adoptée pour la priorisation.....	39
III.3.1 Caractéristique des tronçons.....	40
III.3.2. Identification des critères.....	41
III.3.3. Poids des critères.....	44
III.3.3.1. Calcul du poids par la méthode AHP.....	46
III.3.4. Préférence et classement des tronçons.....	47
III.3.4.1 Description de la méthode PROMETHEE.....	47

III.3.4.1.1. Les fonctions de préférences	48
III.3.4.1.2. Indice de préférence π	50
III.3.4.1.3. Flux sortant (positif).....	50
III.3.4.1.2 Flux entrant (négatif).....	50
III.3.4.1.3. Flux net.....	51
III.3.4.1.2. Classement	51
III.4. Conclusion.....	51

Partie III : Résultats et discussions

Chapitre IV : Étude de cas :Application de la méthodologie dans la réhabilitation du secteur Fouka

IV.1. Introduction	54
IV.2.Présentation de la ville de Béjaïa	54
IV.2.1.Situation géographique et topographique	54
IV.2.2. Situation climatique de la ville de Béjaïa.....	55
IV.2.3. Données socio-économiques de la ville de Béjaïa	56
IV.2.3.1. Population	56
IV.2.3.2. Habitat	57
IV.2.4. Historique de la ville Béjaïa.....	57
IV.2.4.1. Réalisation dans les différentes périodes	57
IV.3. Descriptions physique du système actuel d’AEP de la ville de Béjaïa	59
IV.3.1. Ressource en eau	59
IV.3.1.1. Forages et puits	59
IV.3.1.2. Source bleue	60
IV.3.1.3. Barrage Tichy Haf.....	60
IV.3.2. Sites de production.....	61
IV.3.2.1. Station de traitement	61
IV.3.2.2. Traitement	61
IV.3.2.3. Capacité nominale de la station	62
IV.3.3. Réseaux d’adduction	62
IV.3.3.1. Différents conduites d’adduction	63
IV.3.4. Réseau de distribution	65
IV.3.4.1. Réservoir	65
IV.3.4.2. Conduites du réseau de distribution	66
IV.3.4.3. Secteurs de distribution et choix du secteur à retenir pour l’application	66
IV.4. Présentation de la zone d’étude.....	67
IV.4.1. Situation géographique	67

IV.4.2. Population	67
IV.4.3. Caractéristique du réseau de distribution du secteur Fouka.....	67
IV.4.4. Réservoir	68
IV.4.5. Conduites du secteur Fouka	68
IV.5. Application de la méthode et résultats	69
IV.5.1. Calcul du poids des critères	69
IV.5.1.1. Synthèse du questionnaire.....	69
IV.5.1.2. Construction de la matrice de comparaison des critères	70
IV.5.1.3. Détermination des poids des critères	71
IV.5.1.4. Calcul de la valeur propre λ_{\max}	72
IV.5.1.5. Etude de la cohérence des jugements.....	75
IV.5.2. Calcul de l'ordre complet de la priorisation dans la réhabilitation des six tronçons en utilisant PROMETHEE II.....	77
IV.5.2.1. Choix de la fonction de préférence et seuil d'indifférence et de préférence.....	77
IV.5.2.2. Calcul des différences et des préférences des critères les uns aux autres par rapport aux 13 critères	78
IV.5.2.3. Calcul de l'indice de préférence, flux positif, négatif, et net	80
IV.5.3. Discussion des résultats	81
IV.5.3. 1. Cas de l'exemple du quartier qui comporte six tronçons.....	81
IV.5.3.2. Cas du réseau du secteur Fouka	82
IV.6. Conclusion	87
Conclusion générale.....	90

Bibliographies

Liste des tableaux

<u>Tableau I.1</u> : Causes des défaillances.....	17
<u>Tableau II.1</u> : Problématique de référence.....	23
<u>Tableau II.2</u> : Différentes variantes de PROMETHEE.....	25
<u>Tableau II.3</u> : Différents paramètres d'ELECTRE.....	26
<u>Tableau II.4</u> : Différentes variantes d'ELECTRE.....	26
<u>Tableau II.5</u> : Différentes étapes de TOPSIS.....	27
<u>Tableau II.6</u> : Paramètres de GP.....	28
<u>Tableau II.7</u> : Différentes variantes de GP.....	29
<u>Tableau II.8</u> : Différentes notions de base de DEA.....	30
<u>Tableau II.9</u> : Différents paramètres de la fonction d'utilité.....	32
<u>Tableau II.10</u> : Différentes étapes de la méthode ANP.....	34
<u>Tableau II.11</u> : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'aide à la décision.....	35
<u>Tableau II.12</u> : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'aide à la décision.....	36
<u>Tableau III.1</u> : Méthode de pondération utilisable lors de l'analyse multicritère.....	45
<u>Tableau III.2</u> : Echelle de comparaison par paire des préférences de SAATY.....	46
<u>Tableau III.3</u> : Modèle de matrice pour comparaisons binaires.....	46
<u>Tableau III.4</u> : Echelle de cohérence aléatoire de SAATY.....	47
<u>Tableau III.5</u> : Relations de dominance de PROMETHEE I et II.....	48
<u>Tableau III.6</u> : Les six fonctions de préférences de la méthode PROMETHEE.....	49
<u>Tableau III.7</u> : Formules de flux de surclassement.....	51
<u>Tableau IV.1</u> : Température moyenne mensuelle de la station de Bejaïa.....	55
<u>Tableau IV.2</u> : Pluie moyenne mensuelle de la station de Bejaïa.....	55
<u>Tableau IV.3</u> : Caractéristiques des conduites d'adduction de la partie Est.....	63
<u>Tableau IV.4</u> : Caractéristiques des conduites d'adduction de la partie Ouest.....	63
<u>Tableau IV.5</u> : Caractéristiques des conduites de chaine de Fouka.....	64
<u>Tableau IV.6</u> : Caractéristiques des conduites de chaine de Sidi Ahmed.....	64
<u>Tableau IV.7</u> : Caractéristiques des conduites de la chaine Iheddaden.....	64

<u>Tableau IV.8</u> : Caractéristiques des réservoirs de réseau de Béjaia.....	65
<u>Tableau IV.9</u> : Caractéristiques des conduites de distribution.....	66
<u>Tableau IV.10</u> : Caractéristique des conduites du secteur Fouka.....	68
<u>Tableau IV.11</u> : Comparaison par paire des critères.....	69
<u>Tableau IV.12</u> : Matrice de jugement des critères.....	71
<u>Tableau IV.13</u> : Somme de chaque colonne.....	71
<u>Tableau IV.14</u> : Division par le total de chaque colonne.....	72
<u>Tableau IV.15</u> : Moyenne de chaque ligne.....	72
<u>Tableau IV.16</u> : Résultats de la priorisation.....	73
<u>Tableau IV.17</u> : Vecteur priorité comme facteurs.....	73
<u>Tableau IV.18</u> : Calcul des colonnes pondérées.....	74
<u>Tableau IV.19</u> : Calcul de la somme pondérée.....	74
<u>Tableau IV.20</u> : Calcul de la valeur propre λ_{max}	75
<u>Tableau IV.21</u> : Echelle aléatoire de SAATY.....	75
<u>Tableau IV.22</u> : Poids des critères.....	76
<u>Tableau IV.23</u> : Synthèses des différentes données des six tronçons.....	77
<u>Tableau IV.24</u> : Synthèse des différences des critères.....	78
<u>Tableau IV.25</u> : Synthèse des préférences des critères.....	79
<u>Tableau IV.26</u> : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final.....	80
<u>Tableau IV.27</u> : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouka.....	82

Liste des figures

<u>Figure I.1</u> : Schéma général d'alimentation en eau potable.....	06
<u>Figure I.2</u> : Production d'eau potable.....	08
<u>Figure I.3</u> : Schéma d'un réservoir surélevé.....	11
<u>Figure I.4</u> : Schéma d'un réservoir au sol.....	11
<u>Figure I.5</u> : Réseau ramifié.....	12
<u>Figure I.6</u> : Réseau maillé.....	12
<u>Figure I.7</u> : Vieillessement des canalisations.....	13
<u>Figure I.8</u> : Différents types de rupture d'une conduite d'eau potable.....	16
<u>Figure I.9</u> : Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable.....	17
<u>Figure II.1</u> : Problématique de choix (sélection des meilleures actions).....	22
<u>Figure II.2</u> : Problématique de tri (affectation aux catégories).....	23
<u>Figure II.3</u> : Problématique de rangement (classement des actions).....	23
<u>Figure II.4</u> : Exemple de décomposition hiérarchique de quatre niveaux.....	33
<u>Figure III.1</u> : Méthodologie adoptée pour la priorisation de la réhabilitation des conduites d'eau potable.....	40
<u>Figure III.2</u> : Fréquence du type de ruptures en fonction du diamètre.....	42
<u>Figure III.3</u> : Répartition des fuites sur les tuyaux et sur les joints en fonction du diamètre.....	43
<u>Figure III.4</u> : Flux de surclassement sortant.....	50
<u>Figure III.5</u> : Flux de surclassement entrant.....	51
<u>Figure IV.1</u> : Situation géographique de la wilaya de Béjaïa.....	55
<u>Figure IV.2</u> : Diagramme ombro-thermique représentant le climat de la ville de Bejaïa.....	56
<u>Figure IV.3</u> : Répartition de la population par genre et par âge.....	56
<u>Figure IV.4</u> : Citernes romaine à Toudja.....	58
<u>Figure IV.5</u> : Cipse romaine.....	58
<u>Figure IV.6</u> : Bir Esselam.....	59

<u>Figure IV.7 :</u> <i>Abri de la source bleue</i>	60
<u>Figure IV.8 :</u> <i>Vue générale de l'emplacement de la source bleue</i>	60
<u>Figure IV.9 :</u> <i>Vue du barrage Tichy Haf</i>	61
<u>Figure IV.10 :</u> <i>Réseaux d'adduction qui alimentent la ville de Bejaïa</i>	62
<u>Figure IV.11 :</u> <i>Situation géographique de secteur Fouka</i>	67
<u>Figure IV.12 :</u> <i>Variation du poids des différents critères</i>	76
<u>Figure IV.13:</u> <i>Variation des différentes valeurs de flux</i>	81
<u>Figure IV.14 :</u> <i>Ordre complet des six tronçons en utilisant AHP-PROMETHEE II</i>	81

Liste des symboles

A: Ensemble des actions

A' : Matrice de comparaison

a^* : Profil idéal ; a_* : Profil non idéal

$C(X, X')$: Indice de concordance

$C_1(x)$: Système de contrainte relative au problème

C_i^* : Coefficient de mesure du rapprochement du profil idéal

CI : Indice de cohérence

$D(X, X')$: Indice de non-discordance

D_{ij}^* : distance euclidienne

E' : Normaliser les performances

e_{ij} : Produit des performances

$F(x)$: Fonction objective

$g_i(x)$: L'évaluation de solution x par rapport au critère i

n : Nombre d'éléments à comparer

RC : Ratio de cohérence

RI : Indice de cohérence aléatoire

S : Relation de surclassement

t_i : Amplitude

U : Fonction d'utilité

\mathcal{W} : Super matrice

w_j : Poids

X et X' : Actions

α : Problématique de choix

β : Problématique de tri

γ : Problématique de rangement

δ : Problématique de description

δ_i : Écart type

δ_i^+ : L'écart positif de x par rapport au but

δ_i^- : L'écart négatif de x par rapport au but

λ_{\max} : Valeur propre maximal

Introduction générale

Introduction générale

L'eau potable est transportée dans des canalisations, généralement enterrées. Elles sont en fonte grise ou ductile, en amiante-ciment, en PEHD, ...etc. Avec le temps, les canalisations commencent à vieillir, les performances hydrauliques diminuent, la qualité de l'eau se dégrade, les pertes d'eau et les ruptures augmentent (HAIDAR, 2006).

Le vieillissement des réseaux urbains d'eau potable constitue depuis plusieurs années une préoccupation majeure des gestionnaires des services d'eau publics et privés (AGHTM, 2003). Les réseaux d'eau potable constituent une partie du patrimoine urbain qui s'inscrit dans un processus de réhabilitation de longue durée. Par conséquent, leur gestion devrait se rattacher à des considérations liées à plusieurs critères, en d'autres termes à la dégradation dans le temps de leurs caractéristiques d'origine (HAIDAR, 2006).

Le constat fait par plusieurs chercheurs concernant la situation des services d'eau potable des grandes villes est peu réjouissant. Il est la conséquence d'un cumul de plusieurs facteurs tels que le manque de la ressource eau ; l'extension anarchique des villes occasionnée par l'exode rural et une démographie galopante ; le mauvais état des réseaux avec un taux de fuites dépassant les 50% en moyenne, ...etc. De ce fait, un rationnement est appliqué dans la majorité des villes et la dotation est loin de satisfaire les besoins des clients. Cette situation a engendré des pressions insoutenables, au niveau des services d'eau potable de la part de ses clients.

Consciente de la situation, l'Algérie a adoptée une politique et des mesures spécifiques afin de répondre aux différents besoins ceci en diversifiant la ressources et en procédant à l'économie de l'eau en optant principalement à la réhabilitation des réseaux d'eau potable. A cet effet, le programme de réhabilitation a été renforcé durant le début de ce siècle après la création du Ministère des Ressources en Eau en 2000. Depuis, beaucoup de moyens ont été déployés à tous les niveaux afin d'entamer des études de diagnostic, de réhabilitation et d'extension des réseaux d'alimentation en eau potable (MATE, 2000). Dans un premier lieu, onze villes sont concernées et la ville de Bejaia fait partie (COBA, 2009).

En analysant la littérature, on retrouve certains travaux consacrés à la réhabilitation des réseaux d'eau potable. Mais au niveau national peu de travaux sont consacrés à l'analyse de cette problématique. Cette analyse de la bibliographie a été un support dans la mise en œuvre de notre démarche. Une démarche qui s'adapte aux spécificités locales ceci en prenant en considération la disponibilité des données.

Pour mener à bien cette étude, le travail sera divisé en trois parties. Dans la première partie, une synthèse bibliographique sera présentée. Elle comporte deux chapitres. Dans le premier chapitre, on parlera des généralités sur les réseaux d'eau potable. Il regroupe un ensemble d'informations sur les réseaux d'eau potable. Le chapitre deux sera consacré aux outils d'aide à la décision. Ce chapitre synthétise les méthodes multicritère les plus utilisées dans le domaine d'aide à la décision.

Dans la deuxième partie, on exposera la méthode développée et proposée dans le cadre de la priorisation dans la réhabilitation des conduites d'un réseau d'alimentation en eau potable. Cette partie sera étalée dans le troisième chapitre. Dans ce chapitre, plusieurs points seront développés. Le premier point sera consacré aux problèmes de décisions et le deuxième point à la méthodologie adoptée pour la priorisation. Cette méthodologie débutera par la collecte des caractéristiques des tronçons et l'identification des critères. Par la suite, une discussion sur le choix de la méthode de pondération et le choix de la méthode à adopter concernant la problématique de préférence et de classement global des tronçons.

La troisième partie comporte le quatrième chapitre. Ce dernier sera consacré aux résultats et discussions à travers l'étude de cas. En effet, une application de la méthode sera réalisée sur une partie du réseau de distribution d'eau potable de la ville de Bejaia. Il s'agit du secteur Fouka.

PARTIE I :
Synthèse
bibliographique

I.1. Introduction

L'eau a une grande importance dans la vie de l'être humain ; il utilise cette eau dans différents domaines de sa vie. Pour l'utiliser, il l'a transporté de sa source vers son domicile à l'aide d'un réseau d'eau potable.

La fonction de base d'un réseau d'eau potable est de livrer l'eau en quantité suffisante et en qualité respectant les normes de potabilité issues aux consommateurs.

Le réseau d'eau potable est considéré comme patrimoine dans la mesure où il fournit un service, et ceci de manière fiable et pérenne. La gestion de la réhabilitation des réseaux d'eau potable constitue une nouvelle dynamique qui s'impose. Les gestionnaires doivent déterminer quand et comment renouveler, remplacer et réparer les installations existantes, de façon plus efficace et économique.

Dans ce chapitre, on va présenter en général le système d'alimentation en eau potable. Par la suite, on va présenter les différents types de défaillance des canalisations causées par plusieurs phénomènes. Ces défaillances engendrent une diminution de la résistance des conduites suite à un dysfonctionnement du réseau. Afin d'éviter ce mauvais dysfonctionnement les services d'eau potable doivent tenir compte de la gestion du réseau d'alimentation en eau potable. Les objectifs de la gestion sont l'amélioration de l'alimentation en eau potable et la prise en compte de la maintenance à travers la réhabilitation du réseau d'alimentation en eau potable.

I.2. Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable

Le réseau d'alimentation en eau potable regroupe l'ensemble des équipements, des services et des actions permettant de produire et de distribuer, à partir d'une eau brute, une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur.

Depuis son prélèvement dans le milieu naturel jusqu'au robinet de l'abonné, l'eau traverse de nombreuses infrastructures. Le réseau d'adduction, appelé aussi réseau primaire, désigne les canalisations d'un certain diamètre qui permettent le transfert de l'eau entre le captage (source ou forage) et le réservoir de stockage. Le réseau de distribution d'eau potable constitue le réseau secondaire et comprend toutes les canalisations d'un diamètre inférieur à 300 millimètres et les ouvrages permettant le transfert de l'eau entre le réservoir et les habitations des consommateurs. Le plus souvent, l'acheminement de l'eau dans le réseau s'effectue par gravité. Elle circule dans les tuyaux du réseau de distribution grâce à la pression naturelle générée par le poids du volume d'eau stockée plus haut, en amont, dans le château d'eau. Afin de gérer au mieux la circulation de l'eau, le réseau dispose de réducteurs de pression pour abaisser la pression trop forte sur le réseau ou des surpresseurs (pompes) pour l'augmenter.

Le branchement désigne la canalisation située entre la canalisation principale de distribution et le réseau privé de l'habitation du consommateur. Cette partie comprend en général une canalisation de faible diamètre, une vanne d'arrêt et le compteur d'eau (Agence de l'eau Rhone- Méditerranée Corse, 2017).

I.3. Les éléments spécifiques du réseau d'eau potable

Les principaux éléments constitutifs d'un réseau d'eau potable sont (Figure I.1) :

- Captage ;
- Traitement des eaux ;
- Adduction ;
- Stockage ;
- Distribution.

Un réseau d'eau potable est constitué d'un ensemble d'infrastructures destinées à la fourniture de l'eau potable à la population. Il remplit les fonctions suivantes :

- Produire : puiser l'eau dans le milieu naturel (1) et traiter l'eau pour la rendre potable (2).
- Transporter et stocker (3).
- Distribuer à chaque usager (4).

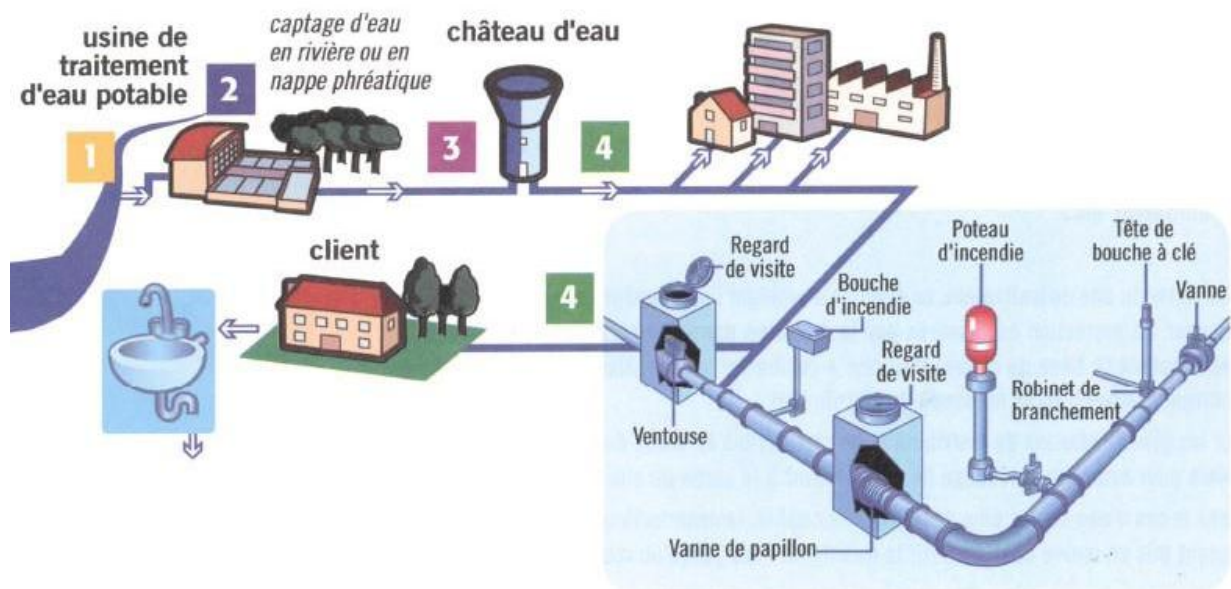


Figure I.1 : Schéma général d'alimentation en eau potable (Fascicule 2, 2016)

I.3.1. Captage

I.3.1.1. Définition

Par captage, on entend un ouvrage de prélèvement exploitant une ressource en eau, que ce soit en surface (prise d'eau en rivière ou barrage) ou dans le sous-sol (forage ou puits atteignant un aquifère). Qu'ils soient destinés à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation ou aux usages domestiques et industriels tout captage doit être déclaré à la mairie pour les prélèvements avec une demande d'autorisation. Au-delà de ces aspects quantitatifs les ressources destinées à l'alimentation en eau potable, qu'elle soit individuelle ou collective, sont également soumises à des contrôles qualitatifs obligatoires en rapport avec les normes de potabilité établies par le code de la santé publique (Onema).

I.3.1.2. Type de captage

I.3.1.2.1. Captage des eaux souterraines

Selon ce type de captage on trouve les forages et les puits. Ces moyens très répandus permettent le captage des eaux souterraines en maintenant leurs eaux à l'abri des contaminations. Les eaux souterraines sont en général limpides, mais leurs caractéristiques physico-chimiques varient en fonction du site et endroit. Dans chaque cas, on doit effectuer une étude pour déterminer quel traitement sera nécessaire pour rendre l'eau potable.

I.3.1.2.2. Captage des eaux de surface

Les eaux de surface sont les eaux des rivières et des fleuves (des eaux courantes), soient des eaux dormantes (étangs, lacs naturels ou artificiels). La prise d'eau ne doit être installée qu'après avoir pris connaissance du maximum d'informations relatives aux régimes d'écoulements des eaux, et aux débits (débits de crue et les débits d'étiage) afin de déterminer l'emplacement des ouvrages spécifiques.

I.3.1.2.3. Captage des eaux de sources

Une eau de source est une eau d'origine souterraine, ayant subi une protection contre la pollution et n'ayant subi ni traitement, ni adjonction. Elle doit satisfaire les critères de potabilité (ce qui n'est pas forcément le cas d'une eau minérale naturelle). Pour objet de la protéger contre la pollution, il faut installer un ouvrage spécial.

I.3.1.2.4. Captage des eaux de mère

Les eaux de mère sont les eaux de dessalement.

I.3.2. Traitement des eaux

I.3.2.1. Définition

Le traitement d'une eau brute après son captage dépend de sa qualité et de ses constituants. L'eau puisée dans l'environnement doit donc être analysée en continu avant de subir le traitement de potabilisation approprié. Ce contrôle exécuté, l'eau subit plusieurs traitements avant d'être distribuée dans les circuits d'eau potable (FUTURA Planete).

Selon le type de captage d'eau, on citera une eau qui coule du robinet provenant soit directement d'un captage, soit d'une usine de production d'eau potable, soit une eau pompée dans les nappes profondes qui subit une filtration et une chloration.

Une eau prélevée dans les rivières où les lacs est toujours traitée en usine pour devenir potable. Plusieurs étapes de nettoyage sont nécessaires pour rendre cette eau propre à la consommation et répondant aux normes de potabilisation.

Ces étapes peuvent varier selon le niveau de pollution de l'eau pompée. Dans la Figure I.2, un exemple des étapes à suivre pour la production d'une eau potable.

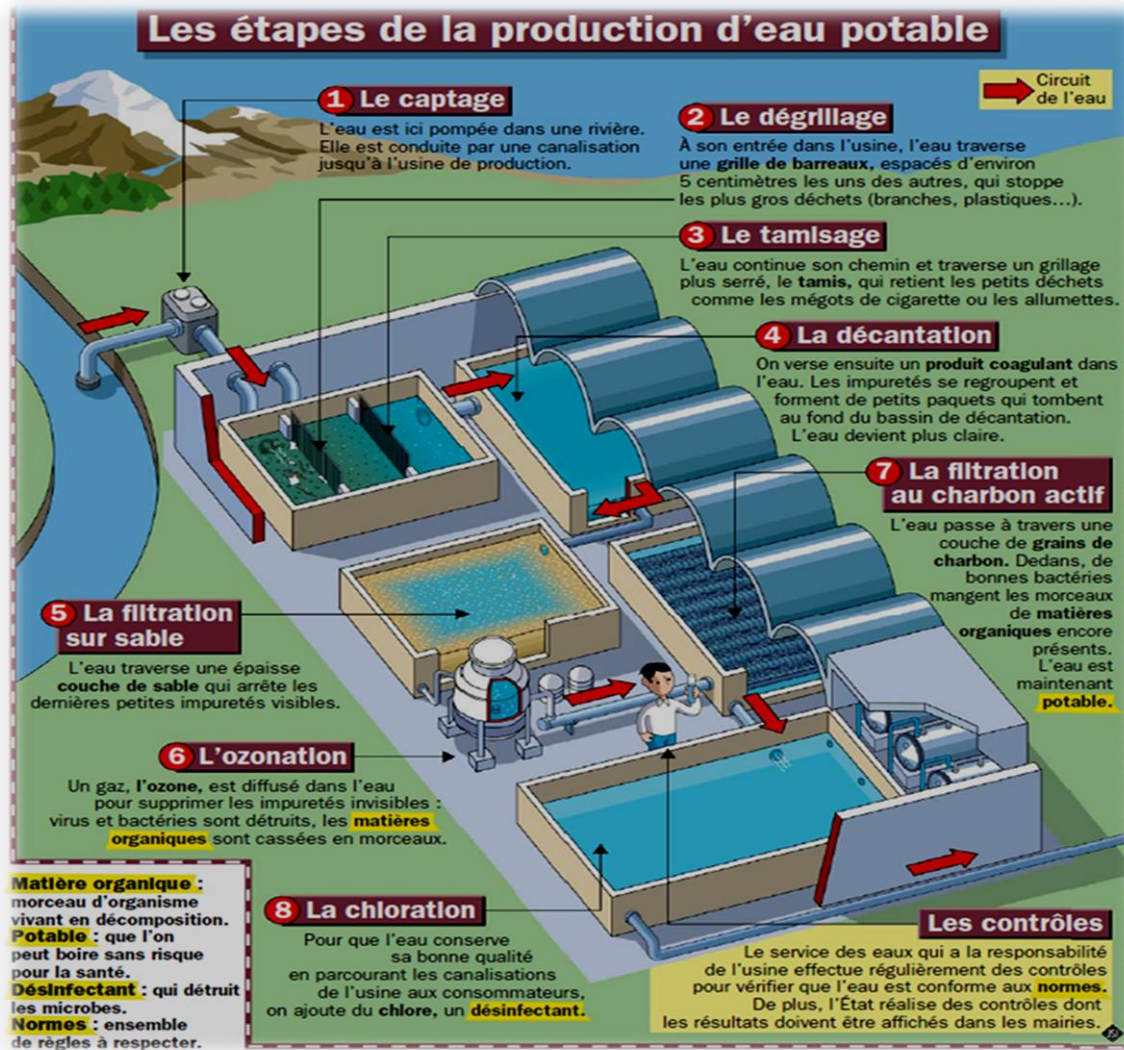


Figure I.2 : Production d'eau potable (Techmania)

I.3.2.2. Les étapes du traitement

Dégrillage et tamisage : le passage de l'eau captée à travers des grilles et tamis élimine les plus gros débris.

Oxydation : si la charge organique est très importante ou s'il y a de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse en solution, l'oxydation facilite leur élimination lors de la phase de clarification. Cette étape d'oxydation peut se faire avec du chlore ou de l'ozone.

Clarification (coagulation-floculation, décantation et filtration) : en présence de produits coagulants et floculant, les particules en suspension dans les eaux s'agrègent en flocons. Le poids de ces flocons provoque la sédimentation des particules au fond des bassins de décantation. La filtration finale à travers des filtres minéraux (sable) où des membranes permettent de produire une eau limpide débarrassée de ses particules.

Désinfection : les bactéries et virus pathogènes qui demeurent dans l'eau sont éliminés lors de l'étape de désinfection. On utilise pour cela du chlore, de l'ozone ou des ultraviolets. Une petite quantité de chlore reste dans l'eau produite pour éviter un développement bactérien plus en aval, dans le réseau d'eau.

Autres traitements : éventuellement, la dureté de l'eau est corrigée pour éviter la corrosion ou l'entartrage des canalisations. En cas de pollutions spécifiques, aux nitrates ou aux pesticides par exemple, des traitements de dépollution supplémentaires sont appliqués.

À la sortie de l'usine de potabilisation, l'eau est acheminée vers des réservoirs (châteaux d'eau) puis jusqu'aux robinets.

I.3.3. Adduction

I.3.3.1. Définition

L'adduction d'eau désigne l'ensemble des techniques permettant de transporter l'eau de sa source à son lieu de stockage. L'eau peut être acheminée grâce à des conduites ou des aqueducs.

I.3.3.2. Constitution de l'adduction d'eau

L'adduction est constituée de :

- la source (rivière, plan d'eau, nappe), à partir de laquelle on pompe l'eau ;
- réseau de transport (canal, canalisations) ;
- stockage (bassin, château d'eau).

I.3.3.3. Différents systèmes d'adduction

On utilise différents systèmes d'adduction. On retrouve:

- L'adduction par refoulement qui emploie un système de pompes pour créer une pression dans le réseau ;
- L'adduction gravitaire qui utilise les différences d'altitude de l'eau, comme c'est le cas pour les châteaux d'eau.

Divers problèmes apparaissent dans l'exploitation des systèmes d'adduction d'eau. En effet, dans le cas où les pompes cessent brusquement de fonctionner, l'eau va refluer et soumettre les canalisations à de fortes pressions. D'autre part, en cas d'inondations, le niveau des eaux usées peut atteindre le circuit d'eau potable et s'y mélanger. On parle ainsi de refoulement (FUTURA MAISON).

I.3.3.3.1. Problèmes diverses

Le coup de bélier : est un ensemble de phénomènes hydrauliques complexes provenant de la modification brutale du champ de vitesses et de pression dans une conduite. La fermeture instantanée des vannes ou électrovannes, ou une coupure brutale d'électricité, va entraîner un retour de l'eau par dépression, d'où un risque pour les canalisations. On remédie à ces problèmes par des études du régime d'écoulement, du type de matériau à utiliser et leur épaisseur. Ce

phénomène est souvent rencontré à l'adduction par refoulement, mais actuellement (*en Algérie*) avec les nouveaux produits de conduites comme le PEHD la surpression ne pose pas de problème mais le problème de dépression est toujours posé.

La pollution : est due à l'explosion du réseau au risque de refoulement. Elle est causée par une rupture de l'alimentation. Elle peut se produire lorsqu'un transfert de charge crée une dépression dans une partie du circuit. Si une des extrémités du conduit est positionnée (noyée), en position ouverte, dans un récipient contenant des produits polluants (bacs de dégraissage ou de produits chimiques, fosses, baignoires, ...etc.) ceux-ci peuvent être aspirés et contaminer le reste du réseau de distribution (TARFAYA, 2012).

I.3.4. Stockage

I.3.4.1 Définition

Il représente tous les ouvrages hydrauliques qui servent à réserver ou bien stocker l'eau afin de les transporter à travers des conduites vers les abonnés. Ces ouvrages sont les réservoirs et les baches d'eau.

I.3.4.2. Type de stockage

I.3.4.2.1. Réservoirs

Ils sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau peut varier au cours du temps. Cette variation est décrite par la courbe de volume, qui pour un point de stockage (Réservoir, château d'eau) définit la relation entre le niveau de l'eau et le volume qu'il contient. Cette relation tient compte de la forme géométrique du point de stockage.

Les caractéristiques d'un réservoir sont :

- L'altitude du radier qui correspond à un niveau zéro de l'eau ;
- Le diamètre du réservoir ou sa courbe de volume ;
- Les niveaux : initial, minimal et maximal de l'eau.

Selon différents types de réservoir, on peut les classer selon :

- La technique de construction (métal, maçonnerie, béton armé) ;
- L'intégration de site (surélevé, enterré ou semi-enterré) ;
- Les caractéristiques topographiques de la région ainsi que les caractéristiques hydrauliques de distribution.

Dans les Figure I.3 et Figure I.4, une représentation du réservoir surélevé et du réservoir au sol.

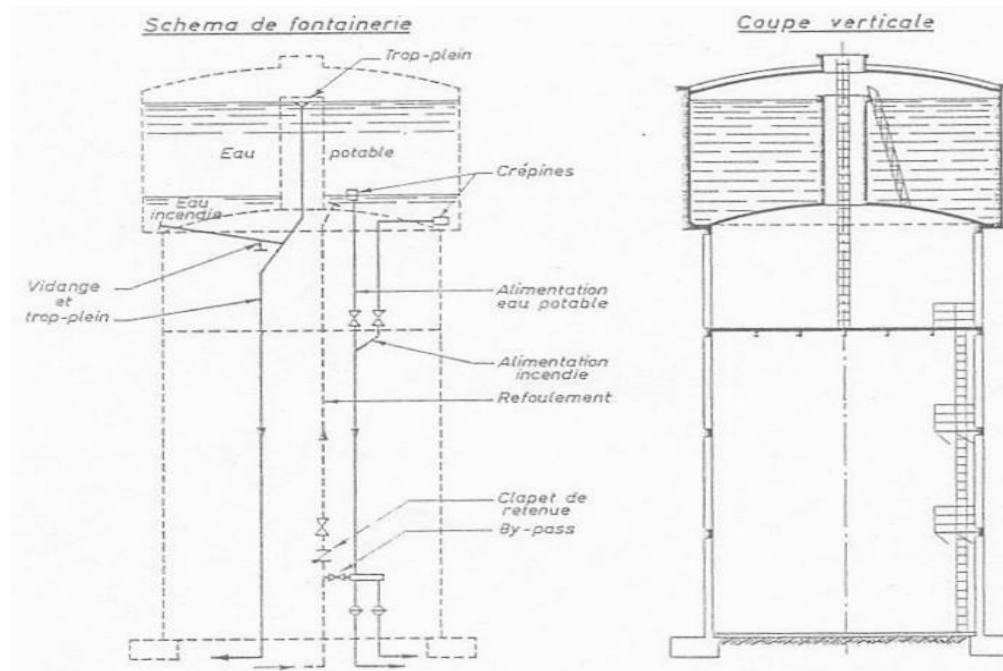


Figure 1.3 : Schéma d'un réservoir surélevé (Bureau d'études industrielles BEIERE, 2012)

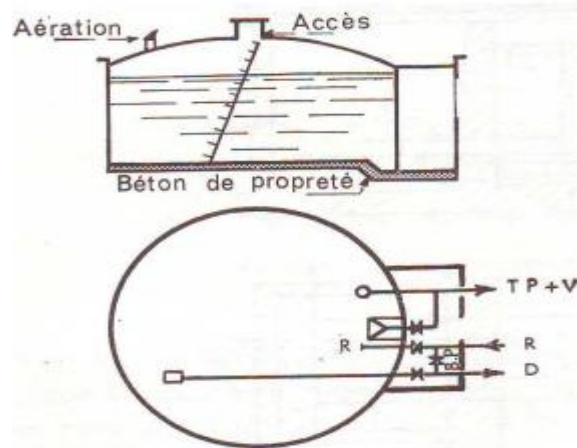


Figure 1.4 : Schéma d'un réservoir au sol (TARFAYA, 2012)

I.3.4.2.2. Bâches

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

I.3.5. Distribution

La distribution de l'eau s'effectue à l'aide des réseaux enterrés constitués de conduites et de canalisation sous pression qui comprennent des (TARFAYA, 2012):

- Conduites et pièces spéciales ;
- Appareils de mesure : compteurs, débitmètre ;
- Appareils de robinetterie : vannes, clapets ;
- Appareils de fontainerie : bouches d'incendie.

I.3.5.1. Différents types de réseaux de distribution

On distingue plusieurs types de réseaux, à savoir : les réseaux ramifiés, maillés, étagés et les réseaux à alimentation distincte (ABDELBAKI, 2014).

Les réseaux ramifiés : ils sont constitués de branches qui se séparent pour aller vers les points d'eau (Figure I.5). Ils sont plus économique (CAMARA & al, 2004).

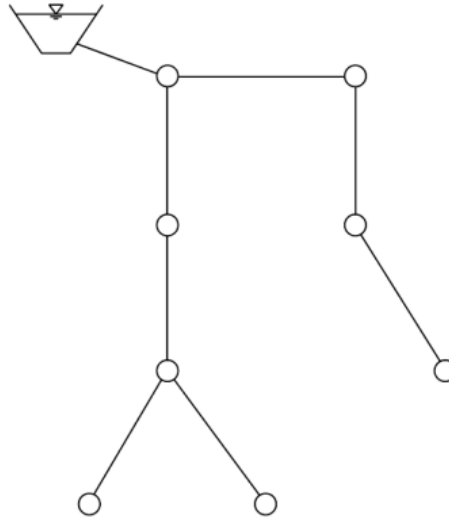


Figure I.5 : Réseau ramifié

Les réseaux maillés : ils sont constitués des branches qui peuvent se rejoindre et former des boucles (Figure I.6), ce qui assure un meilleur équilibre de la pression (CAMARA & al, 2004).

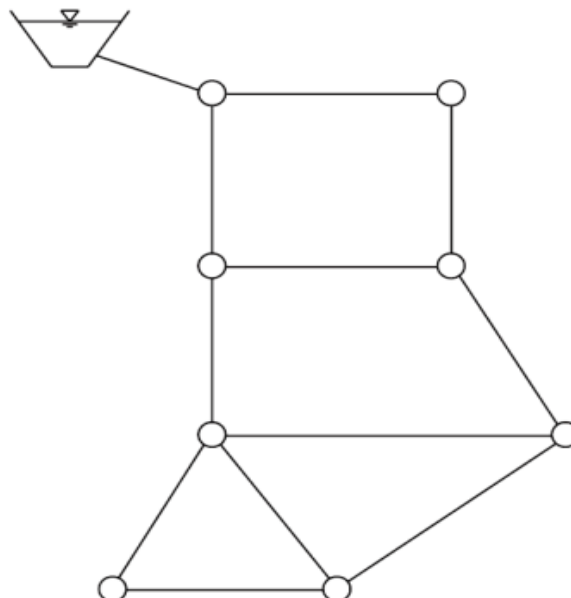


Figure I.6 : Réseau maillé

Les réseaux étagés : ils sont constitués des réseaux indépendants avec une pression limitée aux environs de 40 mètres d'eau (TARFAYA, 2012).

Les réseaux distincts : ils sont constitués de réseaux à alimentation distincte distribuant l'un une eau potable destinée aux besoins domestiques et l'autre une eau non potable réservée aux usages industriels, lavage, arrosage des rues et plantations. Ces réseaux ne se justifient que dans les installations extrêmement importantes. En Algérie ce type de réseau n'existe pas (TARFAYA, 2012).

I.4. Étude de dysfonctionnement de réseau d'eau potable

Le rôle d'un gestionnaire du réseau d'eau potable est de fournir aux usagers une eau en quantité suffisante et de meilleure qualité possible; pour cela, il dispose d'installations visibles en surface; comme les stations de traitement, les réservoirs ainsi que des réseaux de canalisations qui sont enfouis dans le sol. Ces installations, une fois construites, font l'objet de dégradations dues au temps ou à la corrosion et doivent être surveillées, contrôlées, et entretenues (TARFAYA, 2012).

Le réseau de canalisation ne fait pas exception. Le temps et l'action de différents phénomènes (le sol corrosif, contraintes mécaniques, surpression,...etc.) contribuent à la dégradation des canalisations d'un réseau et de ses accessoires. Une combinaison de ses phénomènes va accélérer la détérioration des conduites. On dit que le réseau vieillit.

L'augmentation du nombre des interventions, des casses observées sur le réseau, ainsi qu'une dégradation de la qualité de l'eau transportée représente de bons indicateurs de l'état du réseau (BLINDU, 2004).

I.4.1. Vieillessement d'un réseau d'eau

I.4.1.1. Définition du vieillissement d'une conduite d'eau

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps. Il se manifeste par l'observation de certains dommages (Figure I.7), ou par un mauvais fonctionnement hydraulique du réseau (BLINDU, 2004).



Figure I.7 : Vieillessement des canalisations (TARFAYA, 2012)

Ces phénomènes peuvent être regroupés en deux catégories : mauvais fonctionnement hydraulique et des dommages divers.

I.4.1.1.1. Mauvais fonctionnement hydraulique du réseau

Chute de pression : une conduite en service aura un diamètre diminué à cause de l'entartrage ou des protubérances dues à la corrosion.

Fuites diffuses : les fuites diffuses dues aux détériorations des joints ou à la corrosion des tuyaux. Une forte augmentation de leur nombre peut avoir une incidence directe sur le réseau et diminuer le rendement.

Ruptures : les ruptures dues à l'action combinée de la corrosion sur la conduite et du mouvement de sol (vibration, séisme, travaux divers). Une rupture peut entraîner une intervention sur le réseau de plusieurs heures, pendant laquelle les abonnés sont éventuellement privés d'eau ou bien subissent une chute de pression.

Chacune de ces détériorations engendre en outre certains dommages qui sont :

- Des pertes d'eau, d'où une augmentation de la production ;
- Des pertes en énergie (augmentation du temps de pompage) ;
- Des interventions sur le réseau (TARFAYA, 2012).

I.4.1.1.2. Dommages divers

Détérioration de la qualité de l'eau : on peut distinguer deux types de dommages liés à la qualité de l'eau. Le premier est celui qui engendre la non-potabilité de l'eau. Il faut alors élaborer un nouveau traitement rendant cette eau potable. Le deuxième concerne l'augmentation de nombre de plaintes des abonnés dues à une apparence négative de l'eau (odeur, couleur, goût, ...etc). Ceci entraîne alors une baisse d'image de marque du service exploitant.

Fuites diffuses : elles peuvent indirectement déstabiliser la conduite en érodant le lit de pose, d'où une rupture au niveau des points fragiles du tuyau.

Rupture : elles peuvent avoir des incidences indirectes (BLINDU, 2004). Exemples :

- Inondation, d'où coupure du trafic sur la chaussée concernée, ou dommage chez un particulier ;
- Coupure d'eau, donc dommages causés notamment aux industries ou aux centres de santé ;
- Déstabilisation de lit de pose ;
- Plaintes des abonnés.

I.4.1.2. Évaluation du vieillissement d'une conduite

Qualité de l'eau : le phénomène du vieillissement ne peut être quantifié directement, mais à partir des phénomènes par lesquels il se manifeste. La mesure de la dégradation de la qualité de l'eau peut permettre de caractériser l'état de la ou des conduites proches du point de mesure ou de l'endroit où a eu lieu plainte d'un abonné. Elle peut renseigner sur l'état de corrosion de la conduite pour ce qui concerne les conduites métalliques. C'est le cas lorsque des produits de corrosion sont transportés à travers le réseau. On a par exemple le phénomène d'eau rouge, qui

correspond à l'oxydation d'ions ferreux en ions ferriques principalement dans les eaux douces, acides ou désaérées. Certaines autres substances comme le manganèse peuvent également entraîner la coloration de l'eau (la noire).

On peut également être renseigné sur la corrosion bactérienne, en examinant les teneurs en bactéries du fer 1 ou sulfatoréductrices 2. Un mauvais état des joints ou des conduites en matière plastique peut également altérer la qualité d'eau, du fait de l'introduction de substances provenant de l'extérieur, comme des hydrocarbures. À fin de bien connaître le vieillissement, il est important d'étudier la corrélation entre l'âge de la conduite et l'apparition d'une mauvaise qualité de l'eau. Cependant il est très difficile d'identifier la conduite «malade», car on ne peut dire avec précision quelle est celle qui a détérioré la qualité de l'eau (TARFAYA, 2012).

Diminution de la capacité de transport : cette valeur correspond à la diminution du diamètre interne de la conduite ou à l'augmentation de la rugosité. Ceci est engendré par l'entartrage du calcaire sur les conduites non revêtues d'un revêtement interne mais aussi par l'apparition de protubérances dues à des produits de corrosion. La diminution de la capacité de transport se manifeste soit :

- par la mise en évidence de l'augmentation des pertes de charges sur le réseau ou sur une partie. Cette augmentation est non induite par l'augmentation de la consommation.
- par une comparaison entre des observations (pas assez de pression ou débit au niveau des habitations) et les débits théoriques entendus en certains points du réseau.
- à partir d'échantillons de canalisations prélevés directement sur le réseau, et l'analyse de ces échantillons. Cependant ces relevés demeurent ponctuels et leurs interprétations sont difficilement généralisables.

Le nouveau diamètre où le nouveau coefficient de rugosité estimé ou mesuré sur une conduite donne alors un état de son entartrage. Si cela est possible, on peut là aussi définir la corrélation pouvant exister entre la dégradation de la conduite et certains facteurs comme son âge, sa nature, la qualité de l'eau à l'entrée dans le réseau (TARFAYA, 2012)

I.4.2. Défaillances des conduites d'AEP

I.4.2.1. Définition de défaillance des conduites d'AEP

Les défaillances sont toutes détériorations pouvant provoquer ou accentuer le risque de dysfonctionnement du réseau (ou de l'un de ses éléments), ou la diminution de son rendement (GUEDDOUY & OUARET, 2002).

On distingue différents types de défaillance :

Les fuites : elles sont des pertes physiques de quelques quantités d'eau (GUEDDOUY & OUARET, 2002). Elles concernent les fuites sur tuyaux, les fuites sur joints et les fuites sur les ouvrages.

Les pertes : on distingue deux types de pertes. Les pertes techniques et les pertes administratives. Ce sont des eaux consommées mais non comptabilisées.

Les ruptures : elles représentent les défaillances structurelles du tuyau ou de l'emboîtement (TARFAYA, 2012). Les ruptures au niveau du tuyau peuvent être de différentes natures (Figure I.8)

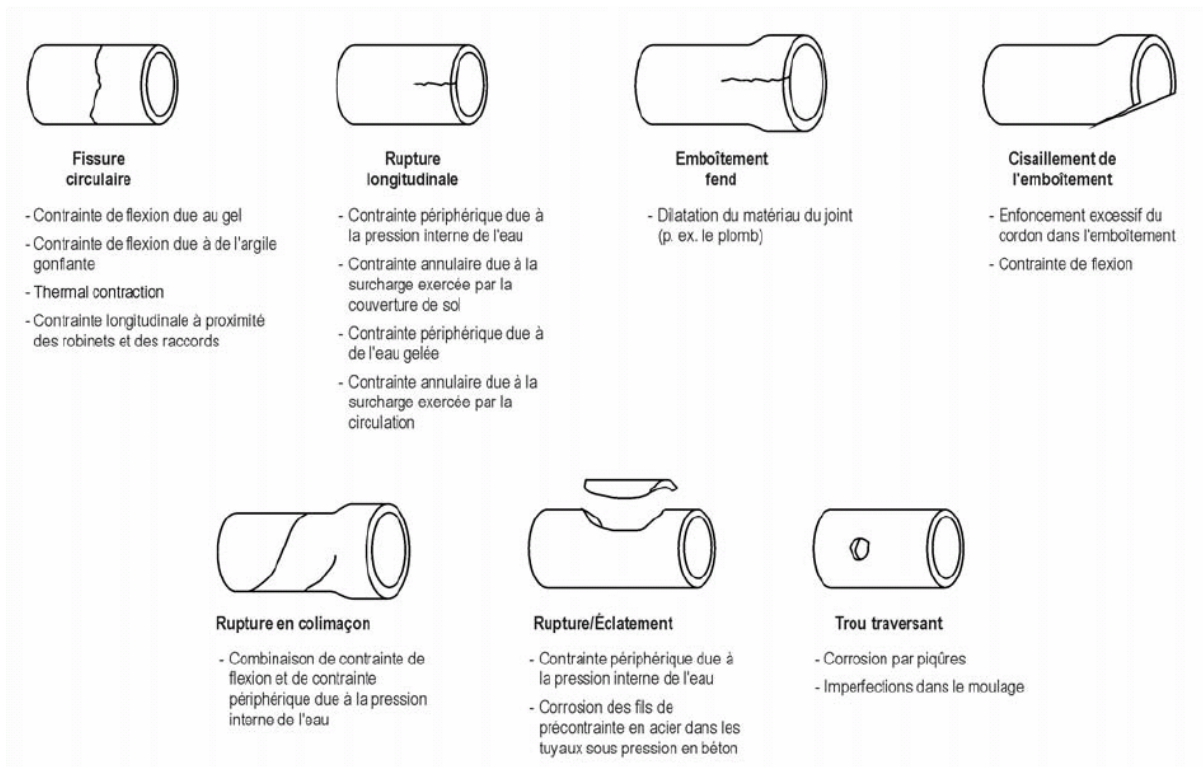


Figure I.8 : Différents types de rupture d'une conduite d'eau potable (BLINDU, 2004)

Dégradation de la qualité de l'eau : elle peut être un facteur très important de corrosion interne de la canalisation (BLINDU, 2004). De nombreux facteurs physico-chimiques, biologiques, facteurs liés à la conception et à la gestion du réseau (GUEDDOUY & OUARET, 2002).

I.4.2.2. Causes des défaillances

Avec le temps et sous l'influence de différents phénomènes la résistance de la canalisation va diminuer, augmentant ainsi le risque d'apparition des défaillances (BLINDU, 2004). La figure I.9 montre les différentes causes qui peuvent entraîner l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable.

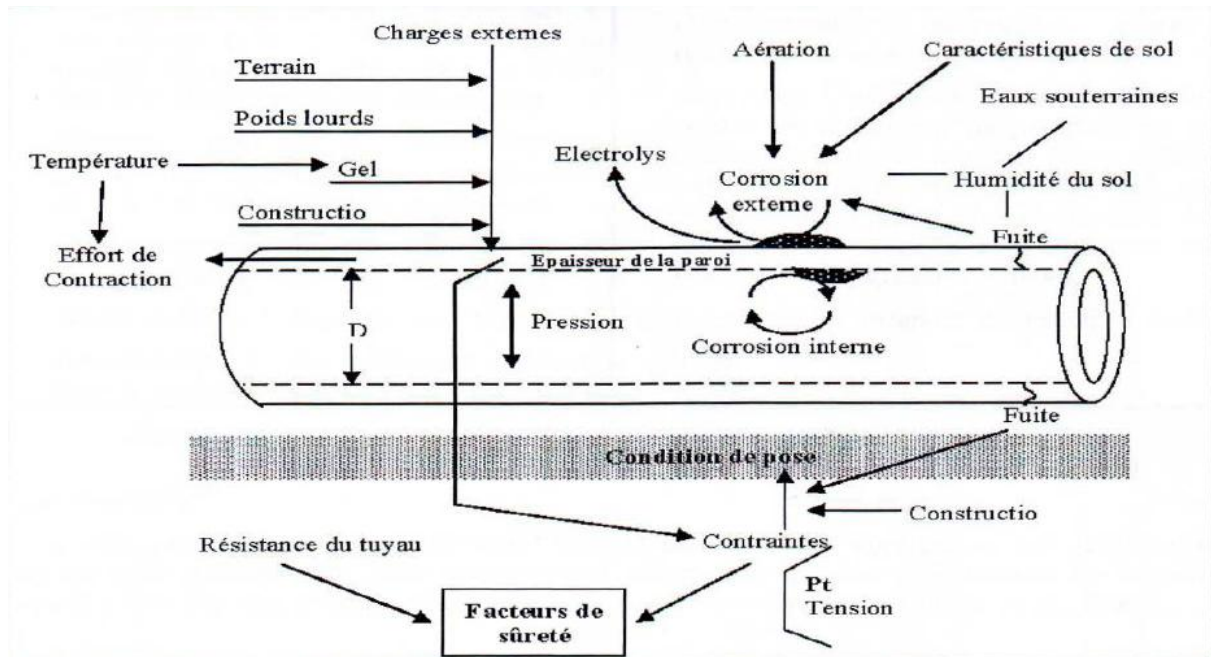


Figure 1.9 : Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable (TARFAYA, 2012).

Les causes des différents types de défaillance sont récapitulées dans le tableau (I.1)

Tableau I.1: Causes des défaillances
(GUEDOY & OUARET ,2002 ; BLINDU,2004 ; TARFAYA ,2012)

Type de défaillance		Causes
Les fuites		<ul style="list-style-type: none"> - Détérioration ou mal exécution des joints. - Mauvaise étanchéité des conduites. - Glissements des terrains. - Mouvement des sols. - Conditions de pose de la conduite. - Age de la conduite. - Corrosion de la conduite et des pièces spéciales. - Coup de bélier. - Pression de service. - Trafic routier. - Température.
Les pertes	Les pertes techniques	<ul style="list-style-type: none"> - Débordement des réservoirs causé par un mauvais fonctionnement du flotteur ou de la vanne de vidange. - Fuites sur conduites et branchements particuliers engendrés par les casses et leurs différentes causes. - Fuites sur robinets, vannes et colliers due à un mauvais serrage des joints, des presses étoupes des vannes et des colliers de prise.
	Les pertes administratives	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation des organismes publics. - Défectuosité ou l'insensibilité des compteurs. - Absence de compteurs chez les abonnés. - Pertes par branchements illicites.
Dégradation de la qualité de l'eau	Facteurs biologiques	L'eau produite dans les stations de traitements passe par le réseau et arrive aux usagers sans jamais être stérile. Plusieurs micro-organismes sont susceptibles d'être présents dans le réseau de distribution : bactéries, virus, champignons et organismes pluricellulaires

		La plus grande partie des germes présents dans l'eau et notamment tous ceux qui sont pathogènes doivent être éliminés.
Facteurs physico-chimiques	PH	Le PH peut varier le long de la distribution du fait de l'évolution de la concentration de CO ₂ dissous. Ainsi, une aération dans un réservoir peut rendre une eau dure et incrustante par une perte de CO ₂ . Ce qui risque d'obturer les conduites par dépôt de tartre. Inversement, une eau chargée de CO ₂ agressif (avec un PH bas) a tendance à attaquer les matériaux avec des conséquences importantes.
	Chlorure	La présence des chlorures dans les eaux est due le plus souvent à la nature des terrains traversés, aux rejets industriels ou aux rejets des eaux usées.
	Nitrate	La présence des nitrates dans les eaux de consommation est indésirable et considérée comme un élément polluant.
	Plomb	Contrairement à d'autres métaux tels le fer, le cuivre et le zinc qui sont indispensables pour le corps humain, le plomb n'intervient dans aucun processus physiologique de notre organisme. Sa présence dans le corps est inutile et à certaines doses indésirables il peut provoquer des troubles de santé. A cet égard, le plomb est classé parmi les substances toxiques dans la norme de l'eau destinée à la consommation humaine.
	Température	Une température élevée peut favoriser des goûts désagréables. De plus, elle accélère la corrosion, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel et modifie la valeur du PH.
	Oxygène dissous	Toute baisse de la teneur en oxygène dissous peut-être interprétée comme un signe de croissance biologique.
	Turbidité	Une turbidité élevée induit un ralentissement des bactéricides et une corrosion importante.
Facteurs liés à la conception et à la Gestion du réseau	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.
	Le choix des matériaux	Tous matériaux de canalisations d'eau potable doivent se conformer à certaines spécifications techniques, assurant une durabilité suffisante de la canalisation. Cependant chaque matériau à ses propres caractéristiques ; qui peuvent faciliter certains types de défaillances.
Les interruptions		Les interruptions sont dues à la 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.

I.5. Gestion des réseaux d'AEP

La gestion des réseaux d'alimentation en eau potable est une phase essentielle afin d'assurer la meilleure performance des réseaux. Cette gestion est entrée dans l'économie de l'eau potable et assure la bonne qualité. A cet effet, la gestion du réseau répond à plusieurs actions qui peuvent être appliquées par les usagers et les entreprises du service d'eau potable.

I.5.1. Action des usagers

L'utilisateur doit :

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

I.5.2. Action des entreprises du service d'eau potable

L'entreprise doit :

- assurer une maintenance et un suivi du réseau ;
- gérer le niveau et la variation des pressions ;
- établir une analyse technique des interactions entre matériaux, qualités de l'eau, courants vagabonds, ...etc. ;
- renouveler les ouvrages les plus critiques (présentant une probabilité de défaillance élevée) ;
- appliquer les systèmes de la télégestion ;
- mettre à jour le plan de recellement du réseau.

I.6. Réhabilitation des réseaux d'AEP

Année après année, les réseaux d'eau potable se dégradent sous l'effet de multiples facteurs. En alternative aux méthodes d'intervention traditionnelles, leur réhabilitation constitue une solution techniquement et économiquement adapté (LANNELONGUE).

I.6.1. Définition de la réhabilitation

La réhabilitation consiste en une remise en état d'une conduite dégradée en vue de restituer les propriétés initiales ou bien d'en améliorer certaines (AJUSTE & al, 2004).

La réhabilitation d'un système peut être réalisée par une action ou une combinaison des actions telles que remplacement, rénovation, réparation de composants et extensions (HAIDAR, 2006)

I.6.2. Technique de réhabilitation

Les techniques de réhabilitation existante sont nombreuses. Pour la plupart, elles sont spécifiques à un problème donné et à l'objectif visé : restructuration, consolidation, rétablissement de bonnes conditions hydrauliques d'écoulement, étanchement, ...etc.

Les procédés de réhabilitation abordés concernent principalement les conduites non visitables:

- Tubage ;
 - Tubage sans contact.
 - Tubage à contact uniforme.
- Chemisage ou revêtement par membrane ;
- Projection au mortier de ciment ;
- Revêtement en résine époxy.

Pour chaque procédé de réhabilitation, une fiche technique précise le domaine d'application et les critères de choix en fonction de l'état du réseau et des contraintes environnementales. Le procédé de réhabilitation peut être classé selon ses propriétés mécaniques (AJUSTE & al, 2004), comme:

- Étanche ;
- Consolidant ;
- Auto-structurant.

I.7. Conclusion

La gestion technique des réseaux d'alimentation en eau potable a pour principal objectif de livrer aux consommateurs une eau répondant aux normes de qualité, à un prix le plus bas possible et avec une continuité du service. Une bonne gestion du réseau passe toujours par une bonne connaissance de ces infrastructures, de son fonctionnement hydraulique et un entretien régulier de ce réseau. Mais avec le temps ce réseau vieillit et par conséquent engendre des perturbations. On observe alors plusieurs phénomènes tels que la dégradation de la qualité de l'eau. Différents facteurs sont à l'origine de ces dégradations, ils sont d'origines internes et/ou externes et liés à l'exploitation du réseau. De ce fait, la prise en charge de la maintenance du réseau est primordiale. On parle alors de réhabilitations de réseau d'alimentation en eau potable.

II.1. Introduction

L'aide à la décision multicritère représente un ensemble de méthodes ou de calculs permettant de faire le choix de la meilleure solution ou de la solution optimale parmi un ensemble de solutions. En effet, l'aide à la décision multicritère est généralement sollicitée par des organisations dans le cas où elles sont confrontées à des problèmes complexes de décisions.

Ces différentes méthodes multicritère d'aide à la décision peuvent être appliquées dans plusieurs domaines tels que : l'environnement, l'aménagement du territoire, la gestion des ressources naturelles, la gestion des déchets, la gestion financière et bancaire, la priorisation de la réhabilitation des réseaux d'eau potable et d'assainissement,...etc.

Dans ce chapitre, une synthèse sur le concept des méthodes d'aide multicritère à la décision sera faite. Cette synthèse va permettre d'analyser les différentes méthodes afin de faire le choix de la méthode adéquate. Cette dernière sera mise en application dans la priorisation de la réhabilitation d'une partie du réseau de distribution d'eau potable de la ville de Bejaia.

II.2. Définitions

II.2.1. Critère

L'élément auquel on se réfère pour juger, apprécier, définir quelque chose, ou bien choisir.

II.2.2. Alternative (action)

Une alternative ou action qui désigne un objet sur lequel opérera le processus de décision (AISSANOU, 2014).

II.2.3. Poids

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

II.2.4. Préférence du décideur

Attitude favorable ou défavorable envers telles ou telles choses, comporte en général un jugement et rarement explicite sans doute.

II.2.5. Aide à la décision

Aide à la décision est un ensemble de moyens pour aider le décideur à trouver une solution ou bien plusieurs solutions de problèmes de décision confrontés.

II.2.6. Aide à la décision multicritère

L'aide à la décision multicritère est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes multicritères complexes qui incluent des aspects qualitatifs et/ou quantitatifs dans un processus décisionnel (GUILLERMO & PHIL, 1999).

II.2.7. Fonction objectif

Une fonction objective est une fonction qui modélise le but à atteindre dans le problème d'optimisation sur l'ensemble des critères. Il s'agit de la fonction qui doit être optimisée.

Elle est notée $F(x)$ de manière générale. $F(x)$ est un vecteur : $F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]$.

Elle est aussi appelée : critère d'optimisation, fonction coût, fonction d'adaptation, ou encore performance.

II.2.8. Echelle d'intervalle

Echelle ordinale à laquelle on donne un sens à la caractéristique de distance (MAMMERI, 2013).

II.2.9. Décideur

Le décideur est généralement une personne ou un groupe de personnes qui sont supposés connaître le problème de décision multicritère (AISSANOU, 2014).

II.2.10. Problématiques

La problématique et la façon dont le problème de décision est posé (ROY, 1985). Les différentes problématiques de référence sont décrites comme suit :

II.2.10.1. Problématique de choix

Elle consiste à sélectionner un petit nombre de « bonnes » alternatives afin d'en choisir une seule au final. La sélection du sous-ensemble des « bonnes » alternatives consiste à trouver des alternatives satisfaisantes qui sont non comparables. Le choix n'est pas forcément orienté vers la détermination de l'alternative ou des alternatives optimales. La procédure de sélection peut être basée sur la comparaison des actions afin de garder les plus satisfaisantes, la figure II.1 représente la problématique de choix (BOUZAROUR-AMOKRANE, 2013).

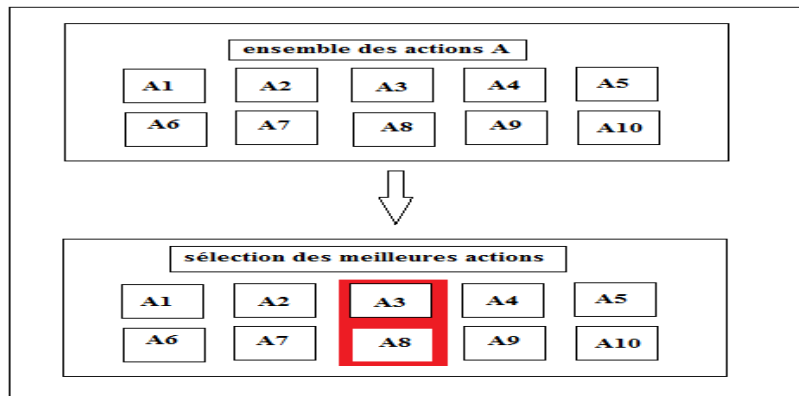


Figure II.1 : Problématique de choix (sélection des meilleures actions)

II.2.10.2. Problématique de tri

Elle consiste à affecter chaque action à un ensemble de catégories prédéfinies. Cette formulation est adéquate lorsque le problème de décision consiste à examiner chaque action indépendamment des autres (en tenant compte que des caractéristiques intrinsèques de chaque action) dans le but de proposer une recommandation parmi un ensemble des recommandations spécifiées en avance. Chaque recommandation peut être associée avec une catégorie. Le problème de décision est alors vu comme trier les actions potentielles aux différentes catégories définies en termes de normes prédéfinies. La procédure de tri doit être définie de telle sorte que chaque action est affectée à une et seule catégorie, la figure II.2 représente la problématique de tri (AYADI, 2010).

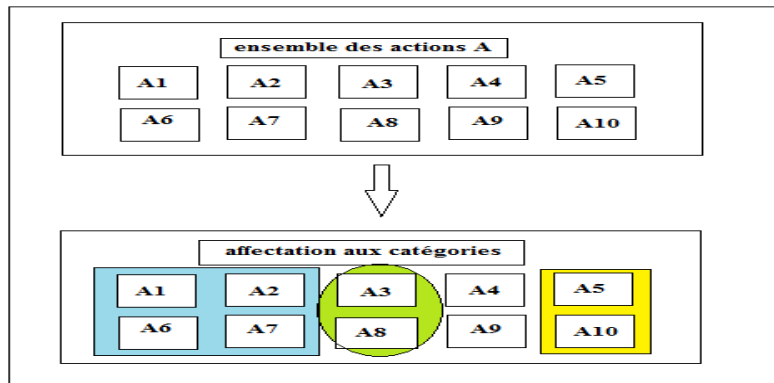


Figure II.2 : Problématique de tri (affectation aux catégories)

II.2.10.3. Problématique de rangement

Elle consiste à ranger les différentes actions en allant de la meilleure action à la moins bonne. Cette problématique est intéressante lorsque les actions sont à différencier selon leur intérêt relatif. L'idéal est d'obtenir un ordre complet. Cependant, à cause de la nature conflictuelle des critères, à l'imprécision, à l'existence de systèmes de valeurs différents, il est souvent plus réaliste de présenter au décideur un ordre partiel. Il est à noter qu'en pratique, le rangement peut être nécessaire seulement pour les actions les plus intéressantes, la figure II.3 représente la problématique de rangement (AYADI, 2010).

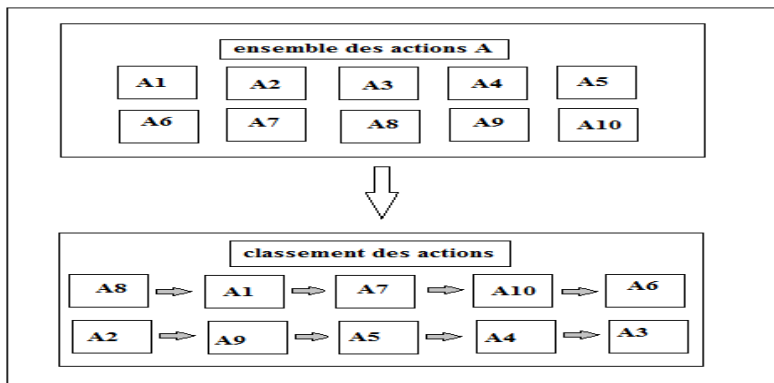


Figure II.3 : Problématique de rangement (classement des actions)

II.2.10.4. Problématique de description

Elle consiste à décrire dans un langage approprié toutes les actions et leurs conséquences.

Les différentes problématiques sont récapitulées dans le tableau II.1 suivant :

Tableau II.1 : Problématique de référence (Maystre, 1994)

Problématique	Objectif	Résultat	Procédure
α	Choix d'un sous ensemble contenant les actions « les meilleures » ou à défaut « satisfaisante »	Choix	Sélection
β	Tri par affectation des actions à des catégories prédéfinies	Tri	Affectation
γ	Rangement des classes d'équivalences, composées d'actions, ces classes étant ordonnées de façon complète ou partielle	Rangement	Classement
δ	Description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences	Description	Cognition

II.3. Méthodes d'analyse multicritères

Elles sont développées par Thomas L.Saaty, Bernard Roy et LAMSADE (Laboratoire d'analyses et modélisation du système pour l'aide à la décision).

Ces méthodes consistent à considérer tous les critères à prendre dans le choix d'une action, à leur donner un poids en fonction de leur importance relative, à noter chaque action par rapport à tous les critères, et enfin à réunir à un résultat. Selon (ISHIZAKA & Nemery, 2013) ces différentes méthodes sont classées en quatre approches. Dans notre synthèse, on va s'intéresser à trois principales approches.

- Approche de surclassement ;
- Approche d'agrégation complète ;
- Approche du niveau de la référence.

II.3.1. Approche de surclassement

Le principe de ces méthodes consiste à comparer les alternatives par paires au moyen d'une relation de surclassement S . Ensuite, d'exploiter cette relation afin de fournir un résultat répondant à l'une des trois premières problématiques (choix, tri, rangement).

Ces méthodes comprennent donc deux phases : celle de la construction de la relation de surclassement S et celle de l'exploitation de cette dernière. La définition de S ainsi que les différentes possibilités de la construire et de l'exploiter ont donné lieu à plusieurs méthodes de surclassement. On peut citer deux grandes familles : ELECTRE et PROMETHEE (MAMMERI, 2013).

II.3.1.1. Méthode PROMETHEE

II.3.1.1.1. Définition

La méthode PROMETHEE (**P**reference **R**anking **O**rganisation **M**ETHOD for **E**nrichement **E**valuation), fait partie de la famille des méthodes de surclassement, elle a été proposée pour la première fois en 1982 par Jean Pierre Brans. Le but de cette méthode est de construire via un système de préférences un classement des alternatives des meilleures aux moins bonnes.

Selon (HYDE & al, 2003) , la méthode PROMETHEE suit généralement une chronologie de la façon suivante :

- Identification des parties prenantes dans le processus d'aide à la décision ;
- Identification des différents critères ;
- Formulation des alternatives ;
- Pondération des critères ;
- Évaluation des différentes alternatives en fonction des critères ;
- Sélection des critères appropriés en prenant en compte les préférences du décideur pour chaque critère ;

- Application de la méthode PROMETHEE.

II.3.1.1.2. Concept de la méthode

Le concept de la méthode s’applique selon un processus qui comprend trois étapes : (NZONGANG, 2011).

- Comparaison par paires des alternatives à partir des variables afin de déterminer un indice de préférence agrégé.
- Calcul des flux de surclassement en vue de la création d’un ordre sur les mesures.
- Rangement des alternatives à partir des flux de surclassement.

La méthode PROMETHEE a donné lieu à plusieurs généralisations et selon le problème de décision rencontré, on peut recourir à PROMETHEE I, II, III, IV, V ou PROMETHEE TRI. En effet, on distingue six variantes de PROMETHEE (Tableau II.2).

Tableau II.2 : *Différentes variantes de PROMETHEE* (EMMANUELLE, 2016).

Méthodes	Caractéristiques
PROMETHEE I	Rangement partiel des actions de manière naturelle, où certaines actions sont incomparables (pré ordre partiel)
PROMETHEE II	Rangement complet de toutes les actions, et établira de façon décroissante ou on ne tient pas compte de l’incomparabilité (pré ordre complet)
PROMETHEE III	Extension de PROMETHEE II en ce sens que la notion d’indifférence est amplifiée (ordre intervalle)
PROMETHEE IV	Classement les actions entre pré ordre partiel et pré ordre complet (l’ensemble des solutions admissibles est continuum)
PROMETHEE V	Choix multicritères avec contraintes de segmentation
PROMETHEE TRI	Représentation cérébrale humaine, et on a deux extensions de PROMETHEE TRI pour les problèmes de tri et PROMETHEE CLAUSTER pour la classification nominale

II.3.1.2. Méthode ELECTRE

II.3.1.2.1. Définition

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) est issue des travaux de B.ROY et son équipe de recherche en 1971. Cette méthode fait partie des approches de surclassement. ELECTRE fournira des comparaisons par paires des actions, pour aboutir à une relation de surclassement (AYADI, 2010).

II.3.1.2.2. Concept de la méthode

Son concept se base sur deux indices afin de classer les actions. Le premier indice, appelé indice de concordance $C(X, X')$, permet de surclasser une action X à une autre action X' . Mais à condition que la majorité des critères dans l’action X' soient moins bons que leurs correspondants dans X .

Le second indice est appelé indice de non-discordance $D(X, X')$. Pour qu’une action X surclasse une action X' , il faut que X' ne présente pas d’aspects non négligeables et pour lesquels son avantage sur X est substantiel.

On va citer plusieurs paramètres essentiels dans la méthode ELECTRE. Ils sont présentés dans le tableau II.3 ci-dessous.

Tableau II.3 : Différents paramètres d'ELECTRE

Nom de paramètre	Symbole	Caractéristiques
Poids	w_j avec $j \in [l, k]$	Fournit directement par le décideur
Fonctions objectives	f_i	$f_i(X) ; f_i(X')$
Amplitude	t_i	Amplitude de l'échelle associée à la fonction objective
Actions	X et X'	Deux actions à comparer
Ecart type	δ_i	$\delta_i(X, X') = \begin{cases} w_i, & \text{si } f_i(X) \geq f_i(X') \\ 0, & \text{sin on} \end{cases}$
Indice de concordance	C	$C(X, X') = \sum_{i=1}^k \delta_i(X, X')$
Indice de non discordance	D	$D(X, X') = \begin{cases} \frac{1}{t_i} \max f_i(X) - f_i(X') & \text{si } C(X, X') \neq 1 \\ 0 & \text{sin on} \end{cases}$

Selon les différents problèmes de décision rencontrés, les chercheurs ont rajoutés des variantes d'ELECTRE afin de faciliter les problèmes de décision et trouver des solutions. On va présenter les variantes d'ELECTRE dans le tableau II.4 suivant.

Tableau II.4 : Différentes variantes d'ELECTRE

Méthodes	Caractéristiques
ELECTRE I	Relative à la problématique de choix, établir le surclassement des actions et repose sur les deux indices de concordance et non discordance
ELECTRE II	Relative à la problématique de rangement, sert à ranger les actions de la meilleure à la moins bonnes
ELECTRE III	Introduit la notion de pseudo-critère, repose sur le seuil d'indifférence, préférence faible et préférence stricte
ELECTRE IV	Identique à celle d'ELECTRE III à la différence près que cette méthode ne tient pas compte des poids des critères
ELECTRE Is	Similaire à ELECTRE I et conduit à la détermination du noyau, et employer l'indice de concordance
ELECTRE TRI	consiste a éliciter plusieurs paramètres : le poids ω_i , les seuils de véto v_i , les seuils de préférence p_i , les seuils d'indifférence q_i , le seuil de crédibilité s et les profils limitant les catégories b_i

II.3.2. Approche de niveau de la référence

L'approche de niveau de la référence s'est révélée être un outil approprié pour étudier des objectifs contradictoires dans des situations de décision pratique (GRAUER & al, 1982).

Cette approche s'adresse en général à des problèmes à objectifs multiples où les actions envisagées sont en très grand nombre et définies par des contraintes explicites. On ne cherche plus à expliciter des règles pour résoudre le problème de l'agrégation. On opte plutôt pour une

procédure itérative et interactive permettant à chaque itération de se rapprocher d'une solution acceptable en représentant progressivement les préférences du décideur (MARTEL & ROUSSEAU, 1993). On citera trois méthodes qui appartiennent à cette approche : la méthode TOPSIS, GP et DEA.

II.3.2.1. Méthode TOPSIS

II.3.2.1.1. Définition

TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) est une méthode de prise de décision multicritère et développée par HWANG et YOON en 1981 (AYADI, 2010). Cette méthode consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale et de s'éloigner le plus possible de la pire solution (HAMMAMI, 2003).

II.3.2.1.2. Concept de TOPSIS

Le concept de base de cette méthode est conçu sur la relation de dominance qui est représentée par les distances entre les poids et la solution idéale. Son principe consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale et de s'éloigner le plus possible de la pire solution pour tous les critères. En effet, la solution choisie par TOPSIS doit avoir la distance la plus courte de la solution idéale et la distance la plus longue de la pire solution (ZOUGGARI, 2011).

TOPSIS s'applique selon six étapes. Elle commence par la normalisation des performances ensuite le calcul du produit des performances normalisées par les coefficients d'importance relative. Puis la détermination des profils idéals et anti-idéal et le calcul de la distance euclidienne par rapport aux profils. A la fin, le calcul du coefficient de mesure du rapprochement du profil idéal et on termine par le rangement des actions en fonction des valeurs décroissantes (HAMMAMI, 2003). On donne plus de détail dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Différentes étapes de TOPSIS

Caractéristiques des étapes		Expression analytique
Étape 1	Normaliser les performances	$E' = \left[e'_{ij} - \frac{g_j(a_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [g_j(a_i)]^2}} \right]$ $i = 1, 2, \dots, m \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n$
Étape 2	Calculer le produit des performances normalisé par le coefficient d'importance relative	$e''_{ij} = \pi_j \cdot e'_{ij}$ $i = 1, 2, \dots, m$ $j = 1, 2, \dots, n$
Étape 3	Déterminer les profils idéal a^* et anti-idéal a_*	$a^* = \{Max_i e''_{ij}, i = 1, m; j = 1, n\} \quad e_j^* = Max_i \{e''_{ij}\}$ $a^* = \{e_j^*, j = 1, 2, \dots, n\} = \{e_1^*, e_2^*, \dots, e_n^*\}$ $a^* = \{Min_i e''_{ij}, i = 1, \dots, m; et j = 1, n\} \quad e_{ij}^* = Min\{e''_{ij}\}$ $a_* = \{e_{j*}, j = 1, 2, \dots, n\} = \{e_{1*}, e_{2*}, \dots, e_{n*}\}$

Tableau II.5 : Différentes étapes de TOPSIS (Suite et fin)

Caractéristiques des étapes		Expression analytique
Étape 4	Calculer la distance euclidienne par rapport aux profils a^* et a_*	$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij}'' - e_j^*)^2}$ $i = 1, 2, \dots, m$ $D_{i^*} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij}'' - e_{j^*})^2}$
Étape 5	Calculer le coefficient de mesure du rapprochement du profil idéal	$C_i^* = \frac{D_{i^*}}{D_i^* + D_{i^*}}$ $i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Avec } 0 \leq C_i^* \leq 1$
Étape 6	Ranger des actions en fonction des valeurs décroissante	C_i^*

II.3.2.2. Méthode GP

II.3.2.2.1. Définition

GP (Goal Programming) est une extension de la méthode de la programmation linéaire au cas multi objectif. Elle se caractérise par la fixation d'un but à atteindre pour chaque critère du problème (AISSANOU, 2014). Cette méthode est développée par CHARNES (CHARNES. *et al* 1961). Elle permet de tenir compte simultanément de plusieurs objectifs dans une problématique de choix de l'action la plus satisfaisante, parmi un ensemble d'actions potentielles (AYADI, 2010).

II.3.2.2.2. Concept de la méthode

La méthode consiste à minimiser les déviations de chaque critère par rapport à son but fixé par le décideur pour chaque objectif. Ces déviations peuvent être positives, dans le cas du dépassement du but, ou négatives dans le cas contraire. De plus, le décideur peut attribuer une importance relative aux différents types de déviations (écarts). La procédure d'agrégation des degrés d'atteinte de ces divers objectifs conflictuels, auxquels sont rattachées des unités de mesure de nature généralement différente, soulève quelques difficultés (AYADI, 2010).

La formule mathématique de cette méthode sera insérée dans le tableau II.6 suivant.

Tableau II.6 : Paramètres de GP

Méthode	Paramètres	Formule mathématique
GP (Goal Programming)	δ_i^+ : l'écart positif de x par rapport au but.	$Min_{x \in A} \sum_{i=1}^p (\delta_i^+ + \delta_i^-)$
	δ_i^- : l'écart négatif de x par rapport au but.	$\delta_i^+, \delta_i^- \geq 0$
	$g_i(x)$: l'évaluation de solution x par rapport au critère i .	$g_i(x) - \delta_i^+ + \delta_i^- = b_i; i = 1, 2, n$ $\delta_i^+, \delta_i^- \geq 0$
	$C_l(x)$: système de contrainte relative au problème.	$C_l(x) \leq 0, l = 1, 2, \dots, L$

Le produit des écarts positifs et négatifs ($\delta_i^+ * \delta_i^-$) est toujours nul, car les vecteurs δ_i^+ et δ_i^- ne peuvent être actifs (c'est-à-dire une solution de base) simultanément. En d'autres termes, pour un objectif 'i' quelconque, on ne peut pas être en même temps en dessous (δ^-) et en dessus (δ^+) du but fixé g_i .

Goal Programming a connu plusieurs variantes. À titre d'indications, on citera : le GP pondéré, le GP lexicographique, le GP minimax, le GP non linéaire, le GP incluant des fonctions de satisfaction, le GP avec intervalles, le GP flou, le GP interactif. Ces variantes sont présentés dans le tableau II.7 ci-dessous.

Tableau II.7 : Différentes variantes de GP

Méthodes	Caractéristiques
GP pondéré	Consiste à l'introduction dans le Goal Programming standard de coefficients d'importance.
GP lexicographique	Classé les objectifs par ordre de priorité, selon l'importance relative que leur accorde le décideur.
GP minimax	Consiste à la minimisation du maximum de la somme des déviations relatives aux différents objectifs.
GP non linéaire	Un modèle inspiré du concept de critère généralisé de la méthode PROMETHEE en développant le concept de fonction de satisfaction.
GP incluant des fonctions de satisfaction	Permet de modéliser explicitement différents types de préférence du décideur. Ces fonctions sont établies conjointement avec le décideur qui peut les spécifier différemment en fonction de chaque but.
GP avec intervalles	Utiliser les fonctions de pénalité. Les fonctions de pénalité sont des fonctions linéaires ayant des pentes différentes et qui sont définies sur plusieurs intervalles.
GP floue	Consiste à modéliser l'imprécision relative à certaines situations décisionnelles, situations où le décideur ne peut attribuer que des valeurs vagues et approximatives aux buts.
GP interactif	Correspond à l'utilisation du Goal Programming de façon interactive. Cette variante, où le décideur s'inscrit dans ce qui peut être qualifié comme un processus de continuité, permet de modéliser les préférences du décideur de manière progressive et itérative.

II.3.2.3. Méthode DEA

II.3.2.3.1. Définition

DEA (**D**ata **E**nvelopment **A**nalysis) a été développé par Charnes (Charnes *et al*, 1978 et 1981), afin d'évaluer un programme du Gouvernement Fédéral Américain dans le domaine du système appelé « *Program Follow Through* ». L'utilisation de DEA se propage ensuite à d'autres organismes publics (hôpitaux, établissements de soins aux personnes âgées, unités de services sociaux, bureaux, forces de police, unités de l'armée, prisons, services de gestions des déchets, centrales électriques, sociétés de transport public, sociétés forestières, bibliothèques, musées, théâtres, etc.) et au secteur privé (banques, compagnies d'assurance, magasins,...etc.) (ISHIZAKA & Nemery, 2013).

II.3.2.3.2. Concept de la méthode

La méthode DEA est utilisée pour mesurer la performance des entreprises ou des entités (appelées Decision-Making Units –DMUs–) qui transforment plusieurs entrées (inputs) en plusieurs sorties (outputs) (ISHIZAKA & Nemery, 2013). Alors DEA nécessite des analyses complémentaires pour obtenir des scores spécifiques par inputs et outputs (NZONGANG, 2011).

Selon un score d'efficacité de chaque organisation est calculé par rapport à une frontière k d'efficacité. Les organisations qui se situent sur la frontière ont un score de 1 (ou 100%). Les organisations qui sont localisées sous la frontière ont un score inférieur à 1 (< 100%) et disposent par conséquent d'une marge d'amélioration de leur performance.

La méthode DEA utilise deux modèles de base qui évoluent dans une échelle constante ou dans une échelle variable, dans le but d'identifier d'une frontière d'efficacité. Ces deux modèles peuvent être orientés vers les inputs ou vers les outputs. On va définir l'ensemble de ce concept à travers le tableau II.8 ci-dessous.

Tableau II.8 : Différentes notions de base de DEA

Différentes notions de bases	Caractéristiques
Modèle 1 CRS (Constant Returns to Scale)	<ul style="list-style-type: none"> – Ce modèle suppose des rendements d'échelle constants (CRS) lorsque toutes les organisations ont atteint leur taille optimale. – Relevons que l'hypothèse de ce modèle est (très) ambitieuse. Pour opérer à leur taille optimale, les organisations doivent évoluer dans un environnement de concurrence parfait. – Le modèle CRS calcule un score d'efficacité appelé Constant Returns to Scale Technical Efficiency (CRSTE).
Modèle 2 VRS (Variable Returns to Scale)	<ul style="list-style-type: none"> – Modèle suppose des rendements d'échelle variables(VRS). Il est approprié lorsque les organisations n'opèrent pas à leur taille optimale. – Cette hypothèse est privilégiée dans les cas de concurrence imparfaite ou de marchés régulés. – Le modèle VRS calcule un score d'efficacité appelé Variable Returns to Scale Technical Efficiency (VRSTE).
Orientation input (Entrée)	– Le modèle DEA minimise les inputs pour un niveau donné d'outputs. Autrement dit, il indique de combien une organisation peut réduire ses inputs tout en produisant le même niveau d'outputs.
Orientation output (Sortie)	– Le modèle DEA maximise les outputs pour un niveau donné d'inputs. Autrement dit, il indique de combien une organisation peut augmenter ses outputs avec le même niveau d'inputs.
Technical efficiency	– Les outputs et les inputs sont mesurés en termes physiques.
Cost efficiency	– Les outputs sont mesurés en termes physiques et les inputs sont mesurés en termes physiques et monétaires.
Revenue efficiency	– Les inputs sont mesurés en termes physiques et les outputs sont mesurés en termes physiques et monétaires
Profit efficiency	– Les outputs et les inputs sont mesurés en termes physiques et monétaires

On conclut que la méthode DEA est adaptée pour l'étude de l'efficacité de différentes unités, particulièrement pour les petits échantillons. Elle analyse chaque unité séparément et mesure son efficacité par rapport à l'ensemble des unités de l'échantillon.

II.3.3. Approche de l'agrégation complète

L'approche de l'école Américaine est définie par Roy (1985) comme l'approche du critère unique de synthèse alors que Schârlig (1985) parle de méthodes d'agrégation complète transitive. Cette approche est très enracinée dans nos mœurs. Comme l'indique le nom attribué par Roy, cette approche permet de passer du multicritère au monocritère. L'exemple le plus simple et de pratique courante en évaluation environnementale est la somme pondérée où l'on transforme plusieurs notes, ou évaluations, en une seule sur laquelle s'appuiera ensuite la décision (MARTEL & ROUSSEAU, 1993).

II.3.3.1. Méthode MAUT

II.3.3.1.1. Définition

MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) a été développée par KEENEY et RAIFA en 1976. Elle est utilisée pour résoudre les problèmes de choix ou de rangement multicritère sur un ensemble d'actions (ISHIZAKA & Nemery, 2013).

II.3.3.1.2. Concept de la méthode

L'idée générale de ce concept est basée sur l'hypothèse principale que chaque décideur essaye d'optimiser, consciemment ou implicitement, une fonction qui agrège tous leurs points de vue.

MAUT est convenable pour incorporer des préférences des risques d'incertitudes dans les problèmes de décisions multicritères à partir d'une manière conséquente.

Cela signifie que les préférences du décideur peuvent être représentées par une fonction, appelée la fonction d'utilité U qui sert à mesurer l'opportunité ou la préférence d'objets, appelés alternatifs.

Chaque variante de l'ensemble A est évaluée sur la base de la fonction U et reçoit un « score d'utilité » $U(a)$. Ce score d'utilité permet le classement de toutes alternatives du meilleur au moins bon. Les relations de préférence et d'indifférence entre les alternatives de A sont ainsi définies comme suit :

$$\begin{aligned} \forall a, b \in A: aPb &\leftrightarrow U(a) > U(b) && \text{Avec } a \text{ est préféré à } b \\ \forall a, b \in A: aIb &\leftrightarrow U(a) = U(b) && \text{Avec } a \text{ et } b \text{ sont indifférents} \end{aligned}$$

Cette hypothèse va nous permettre l'étude de la fonction d'utilité U à partir d'un préordre défini par l'utilisateur sur un sous-ensemble d'actions de référence (ISHIZAKA & Nemery, 2013).

Alors on va définir la fonction d'utilité U selon les différents paramètres. Ces derniers sont présentés dans le tableau II.9 ci-dessous.

Tableau II.9 : Différents paramètres de la fonction d'utilité

Signification des paramètres	Expression analytique
$U(a_i)$: Fonction d'utilité W_j : Poids du critère f_j : associé aux critères U_j : fonction linéaire	$\forall a, b \in A : U(a_i) = U(f_1(a_i), \dots, f_q(a_i)) = \sum_{j=1}^q U_j(f_j(a_i) * w_j)$ $U_j(f_j) \geq 0$
Contrainte de normalisation	$\sum_{j=1}^q w_j = 1$
Le score d'utilité	$\forall a_i \in A : U(a_i) = \sum_{j=1}^q f_j(a_i) * w_j$

La procédure, basée sur un principe de régression ordinale, consiste à résoudre un programme linéaire. L'utilisateur peut modifier d'une façon interactive les fonctions d'utilité dans les limites fournies par une analyse de sensibilité du problème de régression ordinale. Pour effectuer ces modifications, l'utilisateur est aidé par une interface graphique très conviviale. La fonction d'utilité acceptée par l'utilisateur sert alors à définir un pré ordre sur l'ensemble des actions.

II.3.3.2. Méthode AHP

II.3.3.2.1. Définition

AHP (Analytic Hierarchy Process) est développé par Thomas SAATY en 1981, à la Wharton School of Business de l'Université de Pennsylvanie (KESSILI, 2016). Elle est une des méthodes de décision multicritères dans lesquelles les poids des éléments d'évaluation sont déterminés par des comparaisons par paires (BOUKHARI, 2017).

II.3.3.2.2. Concept de la méthode

AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème. Par la suite, on va effectuer des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie. On termine par la détermination des priorités des actions (HAMMAMI, 2003).

La figure II.4 montre un exemple de l'arbre hiérarchique qui expose tous les critères et les sous-critères et aussi les alternatives possibles au problème donné.

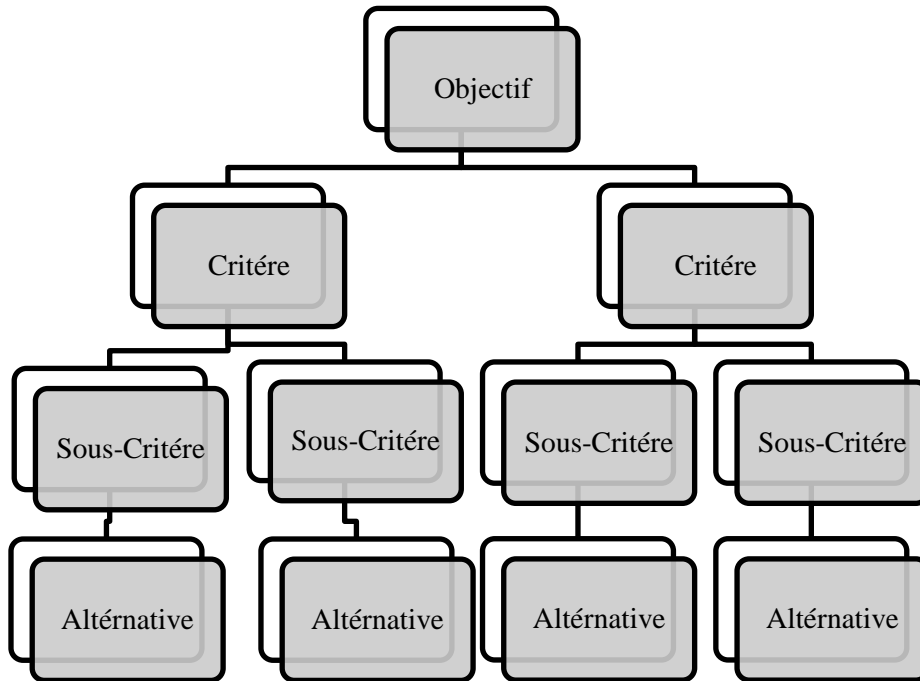


Figure II.4: Exemple de décomposition hiérarchique de quatre niveaux

II.3.3.3. Méthode ANP

II.3.3.3.1. Définition

ANP (Analytic Network Process) a été développé par SAATY Thomas en 1996. C'est une méthode très similaire au processus d'analytique hiérarchique.

La méthode ANP comme l'une des solutions de prise de décision. Elle fait partie de la famille des méthodes d'analyse multicritères. Elle est considérée comme une extension et une solution de la méthode AHP.

II.3.3.3.2. Concept de la méthode

Le concept de la méthode ANP se base sur un couplage de deux parties. La première consiste en une hiérarchie de contrôle ou un réseau de critères et sous-critères qui contrôlent les interactions. Le second est un réseau d'influence parmi les éléments et les groupes.

Les réseaux varient d'un critère à l'autre, une super matrice différente d'influence limitante est calculée pour chaque critère de contrôle. Enfin chacune de ces super matrices est pondérée par la priorité de son critère de contrôle et les résultats sont synthétisés par addition pour tous les critères de contrôle (SAATY, 1999).

La super matrice de la méthode ANP est présentée comme suit :

$$w = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & K & \bullet & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & 0 & K & \bullet & 0 & 0 \\ 0 & w_{32} & 0 & K & \bullet & 0 & 0 \\ M & M & M & M & M & M & M \\ \bullet & \bullet & \bullet & K & w_{n-1,n-2} & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & K & \bullet & w_{n,n-1} & I \end{bmatrix}$$

Avec la méthode ANP un problème est souvent étudié par un système de hiérarchie de commande ou de contrôle des prestations, un deuxième pour les coûts, un troisième pour les opportunités, et un quatrième pour les risques représentés au sein du système de contrôle. Les résultats synthétisés des quatre systèmes de contrôle sont combinés en prenant le quotient des avantages fois les possibilités aux temps des coûts des risques pour chaque alternative, puis normalisant les résultats sur toutes les alternatives afin de déterminer le meilleur résultat (SAATY, 1999).

Cette méthode permet des interrelations complexes entre les niveaux de décision et les attributs. Elle comprend quatre étapes qui sont représentées dans le tableau II.10 (GÖRENER, 2012).

Tableau II.10 : Différentes étapes de la méthode ANP

Étapes	Caractéristiques
Étape 1	Construire un modèle et structurer le problème. Il doit être énoncé clairement et décomposé en un système rationnel comme un réseau.
Étape 2	Comparaisons par paires et vecteurs de priorité dans ANP (comme AHP). En outre, les interdépendances entre les critères d'un groupe doivent également être examinées par paire. L'influence de chaque élément sur d'autres éléments peut être représentée par un vecteur propre. Les valeurs d'importance relative sont déterminées avec l'échelle de Saaty.
Étape 3	Le concept de la super matrice est similaire au processus de la chaîne de Markov. Pour obtenir des priorités globales dans un système avec des influences interdépendantes, les vecteurs de priorité locaux sont saisis dans les colonnes appropriées d'une matrice. En conséquence, une super matrice est en fait une matrice partitionnée, où chaque segment de matrice représente une relation entre deux groupes dans un système.
Étape 4	Synthèse des priorités des critères et des alternatives et sélection des meilleures alternatives. Les poids prioritaires des critères et des alternatives peuvent être trouvés dans la super matrice normalisée.

II.4. critiques sur les méthodes d'aide à la décision multicritère

Les méthodes d'aide à la décision multicritère constituent chacune des avantages et des inconvénients dans leurs applications et diffèrent selon le besoin d'utilisation. Cependant, elles permettent toutes d'aider le décideur à faire un choix judicieux et une meilleure sélection (AYADI, 2010).

Les avantages et les inconvénients des méthodes d'aide à la décision multicritère synthétisées précédemment sont récapitulés dans le tableau II.11 suivant.

Tableau II.11 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'aide à la décision (AYADI, 2010 ; JEANDIN, 2015 ; KELLOU, 2017)

Méthodes		Avantages	Inconvénients	
<i>Approche de surclassement</i>	PROMETHEE	PROMETHEE I	Construit une relation de surclassement traduisant une intensité de préférence.	L'indifférence est en pratique très rare vu les nombreux calculs pour obtenir les flux.
		PROMETHEE II	Construit un pré ordre total excluant l'incomparabilité et réduisant fortement l'indifférence.	Apparaît clairement comme une méthode d'utilité, les comparaisons 2 à 2 ne servant qu'à masquer le calcul du score final $\Phi(a)$ de chaque action.
		PROMETHEE III	Introduit des seuils d'indifférence sur les flux, ce qui minimise les nombreux calculs pour l'obtention de ces flux.	Les seuils d'indifférences n'ayant pas d'interprétation concrète pour le décideur. Ils font l'objet de calculs statistiques qui rendent la méthode moins "accessible".
		PROMETHEE IV	L'intérêt est plutôt théorique et concerne des ensembles infinis d'actions.	La méthode nécessite le calcul d'intégrales au lieu de sommes.
	ELECTRE	ELECTRE I	Utilisée pour des problématiques de sélection. Elle introduit la notion de noyau qui permet de restreindre le domaine de l'étude pour s'intéresser uniquement aux meilleures actions.	Elle exige de traduire les performances des actions en notes, ce qui suscite une gêne chez certains utilisateurs qui y voient une perte de maîtrise de leurs données.
		ELECTRE II	Relève des problématiques de classement. Elle vise à classer les actions depuis les meilleurs jusqu'aux moins bonnes.	Il est difficile de déterminer le pré ordre partiel P car les rangs des actions bougent beaucoup entre le classement direct et le classement inverse. Elle exige des évaluations cardinales et une articulation a priori des préférences.
		ELECTRE III	Relève des problématiques de classement. Le but est de classer les actions des meilleures aux moins bonnes. L'originalité de cette méthode est d'admettre une part de flou dans les choix du décideur, et l'introduction d'un seuil véto.	Elle exige un grand nombre de paramètres techniques. Elle est jugée trop complexe et parfois difficile à interpréter.
		ELECTRE IV	Relève des problématiques de classement. Elle associe à chaque critère des seuils de préférence, mais l'originalité réside dans le fait de supprimer la pondération attachée à chaque critère.	Elle exige un grand nombre de paramètres techniques.
		ELECTRE Is	Utilisée pour des problématiques de sélection. Elle introduit la notion de noyau qui permet de restreindre le domaine de l'étude pour s'intéresser uniquement aux meilleures actions.	Elle exige de traduire les performances des actions, ce qui suscite une gêne chez certains utilisateurs qui y voient une perte de maîtrise de leurs données.
		ELECTRE TRI	Relève des problématiques d'affectation. Le but est de classer les actions qui seront proposées au décideur dans une des catégories prédéfinies.	Elle exige un grand nombre de paramètres techniques.

Tableau II.12 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'aide à la décision (AYADI, 2010 ; JEANDIN, 2015 ; KELLOU, 2017) (suite et fin)

Méthodes		Avantages	Inconvénients
<i>Approche d'agrégation complète</i>	MAUT	Permet les évaluations des actions par rapport aux attributs qui sont imprégnées d'incertitude (aléatoire).	C'est une procédure très exigeante de point de vue informationnel. Par ailleurs, la construction des fonctions de valeur n'est pas toujours une tâche évidente. La construction de la fonction analytique V est une tâche ardue. L'exploitation de la forme additive N'est possible que sous des hypothèses très restrictives du point de vue théorique.
	AHP	Permet la modélisation du problème de décision par une structure hiérarchique. Elle utilise une échelle sémantique pour exprimer les préférences dues à la décision.	Un grand nombre d'éléments dans le problème de décision fait exploser le nombre de comparaisons par paires. Le problème du renversement de rang (deux actions peuvent voir leur ordre de priorité s'inverser suite à une modification (ajout ou suppression d'une ou de plusieurs actions) de l'ensemble des actions. L'association d'une échelle numérique à l'échelle sémantique est restrictive et introduit des biais.
	ANP	L'une des solutions des problèmes de décision permet à représenter les problèmes sous la forme d'un réseau avec différents groupes qui peuvent être liés	Elle n'est pas parfaite sur tous les points. La mise en place de cette méthode est longue en plus le nombre de paramètre pris en compte et important alors le nombre de comparaisons sera important.
<i>Approche du niveau de la référence</i>	TOPSIS	Introduction des notions Idéal et Anti-idéal. Elle est facile à appliquer.	Les attributs doivent être de nature cardinale, les préférences sont fixées a priori. Si toutes les actions sont mauvaises, la méthode propose la meilleure action parmi les mauvaises.
	GP	Aborde les problèmes sous l'angle de satisfaction d'objectifs. GP est utile pour modéliser des problèmes qui n'ont pas de solution optimale. GP permet de choisir l'action qui se rapproche le plus de ces souhaits.	Goal Programming dans sa forme standard peut générer des solutions non « performantes » dans le cas où les objectifs sur les critères sont fixés de façon pessimiste.
	DEA	L'une des possibilités de tenir compte des caractères multidimensionnels de l'éducation en utilisant plusieurs inputs et outputs	Montre que la performance altérée en présence d'erreur de mesure. Les scores d'efficience obtenue sont sensibles à la sélection préalables des outputs et inputs.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre une synthèse a été réalisée sur les principales méthodes d'aide à la décision multicritère. Ces méthodes sont classées en trois principales approches. La première est appelée *approche de surclassement*. Elle est composée principalement de méthodes PROMETHEE et ELECTRE. La deuxième est appelée *approche d'agrégation complète*. Elle est composée des méthodes dites : MAUT, AHP et ANP. La troisième est appelée *approche du niveau de la référence*. Elle est composée des méthodes dites : TOPSIS, GOAL PROGRAMMING et DEA.

Le choix d'une méthode dépend principalement de la problématique posée pour chaque cas. Exemples : la sélection des meilleures actions, l'affectation aux catégories ou bien le classement des actions et aussi de la nature et du nombre des critères sélectionnés.

Un récapitulatifs des avantages et des inconvénients a été présenté à la fin du chapitre. Le but est d'évaluer les intérêts ainsi que les inconvénients de chaque méthode avant de faire le choix de la méthode adéquate.

PARTIE II :
Méthodologie

III.1. Introduction

En Algérie, plus particulièrement dans le domaine de l'alimentation en eau potable, les pouvoirs publics s'intéressent à l'amélioration de la qualité de gestion des services d'eau potable. Cette amélioration passe inéluctablement par l'amélioration de la performance des réseaux. Cette performance peut être obtenue par une réhabilitation des conduites. Cette réhabilitation nécessite bien sûr beaucoup de temps et de moyens. Fort de cette constatation, il est alors important de développer une méthodologie qui sera la base d'un processus décisionnel délicat. Car les gestionnaires des services d'eau potable sont confrontés à une difficulté liée principalement à la problématique de rangement, de tri et de choix. De ce fait, il est important de proposer une méthode de classement global afin d'épauler les gestionnaires dans la prise de décision.

La littérature apporte beaucoup d'éléments très intéressants qui nous ont aidés dans la mise en œuvre de la méthodologie, d'une part. D'autre part, dans le choix des critères et de la méthode de classement global. En effet, notre but est d'adapter la méthodologie proposée aux spécificités locales ceci en prenant en considération les données disponibles et les spécificités locales. Afin de réussir notre travail, il est nécessaire de formuler une stratégie de développement de la méthodologie et de convaincre les parties prenantes à intégrer le projet. Cette collaboration est importante pour nous et pour les gestionnaires des services d'eau potable Algériens.

Dans ce chapitre, on va présenter et proposer une méthodologie qui a pour but la priorisation et le classement global afin de réhabiliter dans le temps toutes les conduites d'un réseau de distribution d'eau potable. A cet effet, le chapitre a été développé selon deux points importants. Le premier point sera consacré à la problématique de décision. Dans le deuxième point on va expliquer la méthodologie proposée. Elle comporte deux phases. La phase de sélection et la phase de décision. Cette méthodologie nécessite la collecte des caractéristiques du réseau et l'identification des critères, par la suite on va choisir la méthode qui permet de calculer le poids des critères et la méthode la plus adéquate à la problématique de préférence et de classement globale des tronçons.

III.2. Problème de décision

Le problème de décision considéré consiste à prioriser la réhabilitation des conduites d'une partie du réseau d'eau potable de la ville de Bejaia. Cette priorisation a pour objectif le classement de la réhabilitation des tronçons du plus urgent au moins urgent. Pour ce faire une sélection de 13 critères a été effectuée. Ces critères sont choisis selon le problème de décision considéré, les spécificités locales et les données pratiques disponibles.

III.3. Méthodologie adoptée pour la priorisation

La méthodologie adoptée pour la priorisation de la réhabilitation des conduites d'une partie de la ville de Bejaia est composée de la phase de sélection et de la phase de décision (Figure III.1).

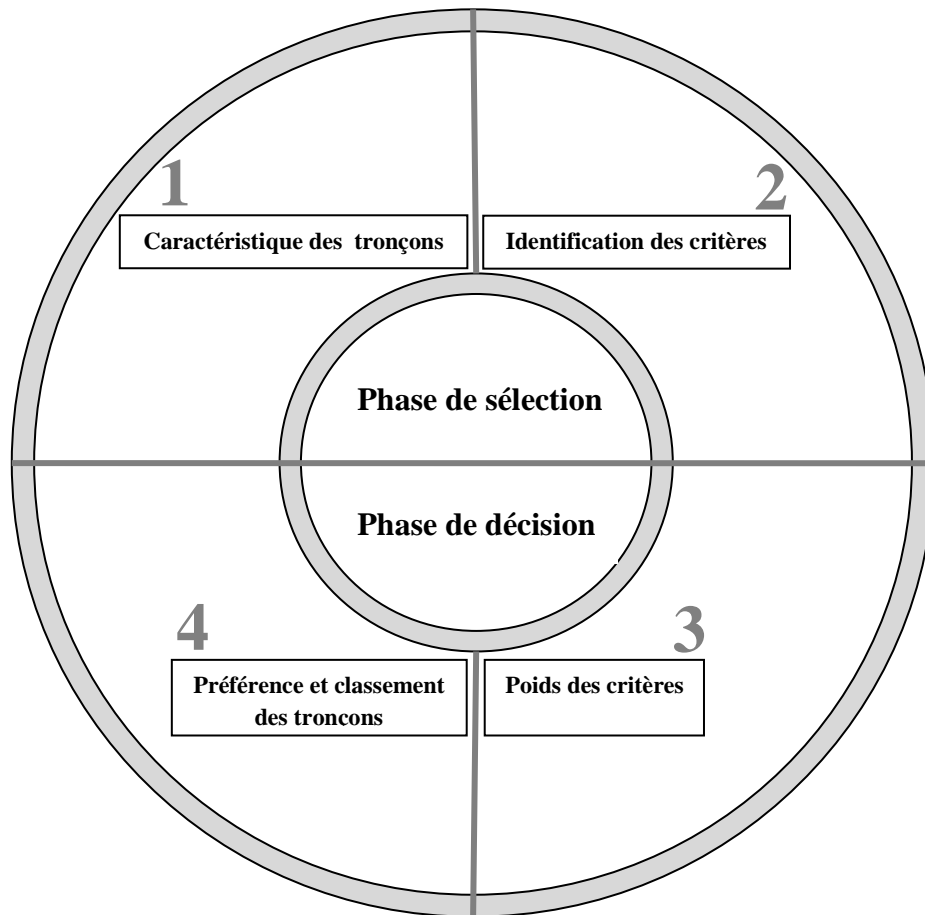


Figure III.1 : Méthodologie adoptée pour la priorisation de la réhabilitation des conduites d'eau potable.

La méthodologie proposée est composée de deux phases. La première est dite la phase de sélection. Elle est la phase la plus importante. Elle commence d'abord par une large consultation avec les parties prenantes et les acteurs en lien avec les ressources en eaux (Services communaux, Algérienne Des Eaux, Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Bejaia, Bureaux d'études, ...etc.). Le but est de collecter le maximum de données en relation avec les caractéristiques du réseau de la ville de Bejaia. Par la suite, on passe à l'identification des critères liés principalement à la problématique de la réhabilitation, aux caractéristiques du réseau collectées et aux données disponibles.

La deuxième phase est dite la phase de décision. Dans cette phase, on calcule d'abord le poids des différents critères sélectionnés. Par la suite, on va établir les différentes préférences entre les tronçons à réhabiliter par rapport aux différents critères sélectionnés. Enfin, on passe au classement de la réhabilitation des tronçons du plus urgent au moins urgent.

III.3.1 Caractéristiques des tronçons

L'identification des caractéristiques des tronçons a nécessité la collaboration des gestionnaires des services d'eau potable de la ville de Bejaia. Cette étape a nécessité beaucoup de temps. Elle est particulièrement très difficile et longue. Elle est d'un intérêt crucial afin d'identifier des critères admis et acceptés par tous (MILMAN & SHORT, 2008).

III.3.2. Identification des critères

Critère 1 : C1. Type de matériau : le choix du type du matériau doit tenir compte de plusieurs caractéristiques, comme la qualité et la nature de l'eau, l'environnement de la conduite, le régime hydraulique, la configuration du réseau, ... etc.

Les conduites en PEHD sont les plus utilisées, cela pour les différents avantages techniques et économiques qu'elles présentent.

Le critère C1 est basé sur les conduites nécessitant le changement du type du matériau. C'est-à-dire changer tous les types de matériaux autres que PEHD et FD :

- PEHD = 1
- FD=2
- Autre matériaux = 3

NB : La plus grande valeur de l'évaluation est donnée à la conduite prioritaire. C'est-à-dire la plus sensible à réhabiliter est la conduite ayant un matériau autre que PEHD et FD.

Critère 2 : C2. Rupture : elle est due à l'action combinée de la corrosion sur la conduite et du mouvement de sol (vibration, séisme, travaux divers). Une rupture peut entraîner une intervention sur le réseau de plusieurs heures, pendant laquelle les abonnés sont éventuellement privés d'eau ou bien subissent une chute de pression.

Ces ruptures sont différentes selon le diamètre. En fonction du diamètre et du type de défaillances, les ruptures transversales ont lieu surtout sur les petits diamètres alors que les gros diamètres subissent plutôt des ruptures longitudinales ou des piquages (Figure III.2).

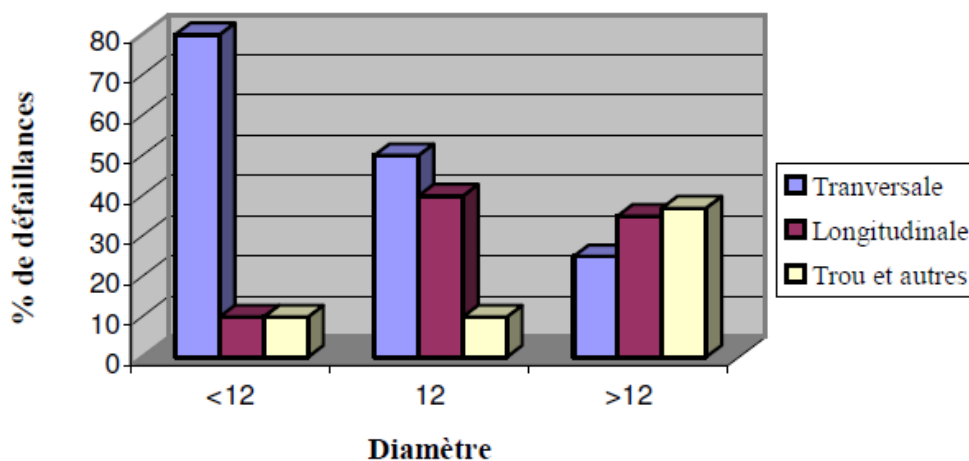


Figure III.2 : Fréquence du type de ruptures en fonction du diamètre (TARFAYA, 2012).

Le critère C2 est basé sur le traitement de la rupture. C'est-à-dire traiter la rupture s'il ya lieu :

- Pas de rupture =1
- Rupture=2

NB : La plus grande valeur de l'évaluation est donnée à la conduite prioritaire. En effet, la conduite la plus sensible à réhabiliter sera celle ayant une rupture.

Critère 3 : C3. Joint : il existe trois types de joints à savoir les joints au plomb, les joints en caoutchouc et les joints en matière plastique. Ils se distinguent par les caractéristiques suivantes :

- Les joints au plomb ne sont pas élastiques et transmettent donc les tensions d'un tuyau à l'autre.
- Les joints en caoutchouc sont élastiques. Cependant leur vieillissement est encore mal connu.
- Les joints en matière plastique, certains types de joint, les joints élastomères et les joints collés, entraînent des fuites diffuses importantes. Les services techniques ayant posé ce type de joint ont observé bien souvent une diminution du rendement de réseau.

Le critère C3 est basé sur le changement des joints défectueux :

- Joints défectueux=2
- Joints non défectueux=1

NB : La plus grande valeur de l'évaluation est donnée à la conduite prioritaire. Donc, la conduite la plus sensible à réhabiliter est la conduite ayant un joint défectueux.

Critère 4 : C4. La plainte des clients et les gênes causées : en cas de défaillance des canalisations d'eau potable, les usagers subissent différents types de gênes, à savoir des problèmes de santé publique, la désorganisation de la circulation et le désordre dans la vie courante, ...etc. Ce qui engendre des réclamations.

Le critère C4 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant des réclamations :

- Pas de réclamations=1
- Réclamation=2

NB : La plus grande valeur de l'évaluation est donnée à la conduite prioritaire. En effet, la conduite la plus sensible à réhabiliter est la conduite ayant occasionnée des réclamations.

Critère 5 : C5. Chevauchement des conduites : ce critère est défini par la pose de plusieurs conduites du réseau d'eau ou bien le croisement des différents réseaux (gaz, l'assainissement, l'électricité et le téléphone,...etc.) avec la canalisation d'eau potable. Cela pose un risque sur le réseau d'eau potable.

Le critère C5 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant des chevauchements :

- Pas de chevauchement=1
- chevauchement=2

NB : La plus grande valeur de l'évaluation est donnée à la conduite prioritaire. La conduite la plus sensible à réhabiliter est la conduite ayant des chevauchements avec d'autre réseau.

Critère 6 : C6. Technique de réhabilitation : les techniques de réhabilitation existantes sont nombreuses. Pour la plupart, elles sont spécifiques à un problème donné et à l'objectif visé.

Le critère C6 est basé sur l'utilisation de la technique de réhabilitation qui nécessite peu de moyens dans la réhabilitation des tronçons.

- Remplacement=1
- Extension =2
- Maintenance=3

NB : La plus grande valeur de l'évaluation est donnée à la conduite prioritaire. La conduite la plus sensible à réhabiliter est la conduite qui nécessite une technique de réhabilitation avec peu de moyen.

Critère 7 : C7. Age de la conduite : les conduites les plus âgées sont les plus sensibles à la détérioration. Le critère C7 est basé sur la réhabilitation des tronçons les plus âgés.

Critère 8 : C8. Indice linéaire des fuites : il est défini comme étant égale au nombre de fuites observées sur un tronçon d'une longueur connue et pendant une certaine durée de référence (f/km/an).

Généralement les fuites se trouvent au niveau des conduites ayant un petit diamètre, et au niveau des joints pour les conduites ayant un grand diamètre (Figure III.3).

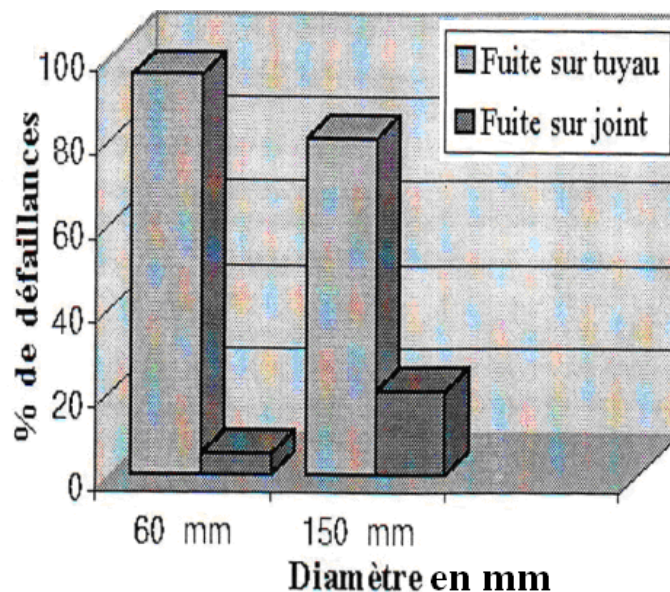


Figure III.3 : Répartition des fuites sur les tuyaux et sur les joints en fonction du diamètre (TARFAYA, 2012)

Le critère C8 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant plus de fuites.

Critère 9 : C9. Indice linéaire des pertes : l'indice linéaire des pertes en réseau évalue, en les rapportant à la longueur des canalisations (hors branchements), les pertes par fuite sur le réseau

de distribution ($m^3/j/km$). Le critère C9 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant plus de pertes.

Critère 10 : C10.Diamètre de la conduite : les conduites ayant un plus grand diamètre sont les plus susceptibles d'avoir des taux élevés de détérioration. Parce qu'elles ont plus de surface exposée aux eaux.

Le critère C10 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant un plus grand diamètre.

Critère 11 : C11.Rendement : il s'agit du rapport entre le volume d'eau consommé par les usagers et le service public et le volume d'eau potable introduit dans le réseau de distribution.

Le critère C11 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant un faible rendement.

Critère 12 : C12.Longueur : le critère C12 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant une plus grande longueur.

Critère 13 : C13.Coût de réhabilitation : il existe différentes méthodes pour évaluer le coût global de maintenance, qui introduisent à coté des coûts de remplacement et de réparation, des coûts liés aux pertes d'eau, des, ...etc.

Le critère C13 est basé sur la réhabilitation des tronçons ayant un coût minimum.

III.3.3. Poids des critères

Les poids des critères sont des données essentielles qui reflètent les exigences ou priorités du décideur. Ils traduisent l'importance relative des critères et sont définis indépendamment des échelles de mesure. Le meilleur critère est celui qui a le poids le plus élevé et la normalisation des poids se fait de telle sorte que leur somme soit égale à 1 (100%) (EMMANUELLE K. G., 2016).

Il existe dans la littérature plusieurs méthodes de calcul du poids. Exemples : la méthode d'analyse de jugement, la méthode des valeurs attendues, l'arbre de pondération,...etc (SEMASSOU, 2011). Le tableau III.1 résume les avantages et les inconvénients de toutes ces méthodes. Dans notre cas on va utiliser la méthode AHP pour le calcul du poids des différents critères et l'échelle de mesure de SAATY sera exploitée. Ce choix est motivé par les résultats positifs et effectifs approuvés de la méthode lors de son application dans plusieurs domaines en particulier celui de l'eau (BENZERRA & al ; 2012 ; HAMCHAOUI & al ; 2012 ; KESSILI & al ; 2015 ; BOUKHARI & al ; 2017) .Et aussi parmi toutes les méthodes de détermination des poids, AHP est la seule qui permet de vérifier les jugements émis par les décideurs (SEMASSOU, 2011).

Tableau III.1 : Méthode de pondération utilisable lors de l'analyse multicritère
(SEMASSOU, 2011).

Méthode	
AVANTAGES	Inconvénients
Méthode d'attribution de scores (fixed point scoring)	
Répartition d'une somme de points sur l'ensemble des critères (répartition de 100% par exemple).	
L'attribution d'un poids plus important à un critère réduit l'importance relative d'un autre élément.	Difficulté d'appréhender la complexité globale de réalité.
Comparaison par paire (paired comparaison)	
Comparaison deux à deux des critères, les plus connus étant la méthode AHP inventé par Saaty (1977) et la méthode MACBETH.	
<ul style="list-style-type: none"> - La méthode est simple d'utilisation ; - La consistance (cohérence) de l'ensemble des comparaisons est vérifiée ; - des logiciels utilisant cette méthode existent : Expert choice ou MultCSync par exemple ; - Elle permet d'appréhender la complexité du monde réel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le choix de l'échelle allant de 1 (même importance) jusqu'à 9 (absolument plus important) n'est pas justifié mathématiquement ; - Le temps de comparaison augmente plus rapidement que le nombre de critères.
Analyse de jugement (judgement analysis)	
Évaluation de l'importance d'alternatives distinctes réelles ou fictives sur des échelles de 1 à 10, 1 à 20 ou 1 à 100. Une procédure inverse permet de calculer les poids des critères en fonction des évaluations des alternatives.	
<ul style="list-style-type: none"> - Les pondérations sont fonction des comportements révélés des acteurs et non pas de leurs préférences officielles ; - La méthode permet la prise en compte indirecte de paramètres. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cette méthode est également plus consommatrice en temps ; pour obtenir une signification statistique, un nombre suffisant d'alternatives doit être étudié. - la méthode conduit à surestimer parfois la capacité cognitive des décideurs lorsque le nombre d'alternatives est important.
Méthodes des valeurs attendues (expeced value method)	
L'attribution des poids est uniquement fonction du classement des critères et de leur nombre. Janssen (1992) pose des valeurs de pondération	
-La méthode est simple et requiert uniquement de classer les critères.	-La pondération obtenue ne reflétera pas systématiquement les différences importance entre critères.
Technique du jeu des cartes	
Distribution d'un « jeu de cartes » sur lesquelles sont inscrits les noms de critères ainsi que des cartes blanches. Le décideur classe les cartes ; il a la possibilité de mettre des cartes ex aequo et de glisser des cartes blanches entre les critères.	
-Simple et facilement utilisable.	-Mêmes inconvénients que la méthode des valeurs attendus et la méthode d'attribution des scores.
Arbre des pondérations	
Lorsqu'il est possible de décomposer les critères sous forme d'une arborescence, alors à partir de la pondération de chaque embranchement, la valeur de pondération de chaque critère correspond au produit des coefficients des sous branches et des branches dont il est issu.	
Le nombre d'élément à comparer est limité	La difficulté réside dans la réalisation de l'arbre

III.3.3.1. Calcul du poids par la méthode AHP

Le calcul du poids des critères d'effectue en suivant les étapes développées ci-dessous :

Etablissement des matrices de comparaison : on procède à des comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques. Prenant comme exemple l'échelle de SAATY (échelle de comparaisons binaires), qui est présentée dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Echelle de comparaison par paire des préférences de SAATY.

Ordre de préférence	Jugement de préférence
9	Préférence extreme
7(8)	Très fortement (Très fortement à extrême) préféré
5(6)	Fortement (fortement à Très fortement) préféré
3(4)	Modérément (Modérément à fortement) préféré
1(2)	Egalement (Egalement à Modérément) préféré

Les comparaisons par paires sont présentées dans une matrice carrée, réciproque, de dimension (n*n) (Tableau III.3).

Tableau III.3 : Modèle de matrice pour comparaisons binaires (SAATY, 1999).

A	A ₁	A ₂	A ₃	.	.	.	A _n
A ₁	1	A ₁₂					A _{1n}
A ₂	1/A ₁₂	1					
A ₃			1				
.				1			
.					1		
.						1	
A _n	1/A _{1n}						1

Détermination des poids des critères : on calcul les poids des critères à partir de la matrice de comparaison A'.

1^{ère} étape : additionner les valeurs de chaque colonne de la matrice de comparaison A'.

2^{ème} étape : Diviser chaque cellule par le total de la colonne.

3^{ème} étape : le poids de chaque critère est obtenu en calculant la valeur moyenne de chaque ligne.

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

Où :

λ_{\max} : valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires.

n : nombre d'éléments à comparer.

Ensuite, on calcule le ratio de cohérence (RC) défini par la formule : $RC = \frac{CI}{RI}$

RC est le rapport entre CI et un indice de cohérence aléatoire (RI). L'indice (RI) est présenté dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : Echelle de cohérence aléatoire de SAATY

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cohérence aléatoire (RI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

Une valeur de RC inférieure à 0.1 est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences (KESSILI, 2016).

III.3.4. Préférence et classement des tronçons

Dans le chapitre II plusieurs méthodes de surclassement ont été citées. Il s'agit principalement de deux familles de méthodes : ELECTRE et PROMETHEE. Notre attention s'est portée sur la nouvelle famille de surclassement à savoir la famille PROMETHEE.

Par la suite, le choix s'est porté sur l'approche multicritère PROMETHEE II. C'est la méthode la plus adéquate pour faire un classement complet de tous les tronçons. En effet, elle permet d'effectuer un rangement complet de toutes les actions, et d'établir de façon décroissante un ordre complet. Ceci justifie clairement notre choix.

III.3.4.1 Description de la méthode PROMETHEE

Le concept de base de la méthode PROMETHEE revient à établir des comparaisons par paire de chaque action par rapport à toutes les autres actions en fonction de chaque critère donné. Dans le but de ressortir des relations binaires partielles aboutissant au calcul du degré de préférence associé à la meilleure action possible. Le résultat obtenu permettra de procéder au classement ordonné de ces actions. Selon BRANS & VINCKE, (1985) l'application des méthodes PROMETHEE se caractérisent par trois étapes.

L'enrichissement de la structure de préférence : cette étape se réfère à la notion de critère généralisé qui est introduite dans le souci de prendre en considération les amplitudes des écarts entre les évaluations faites sur les critères choisis par le décideur. Ce critère généralisé repose sur le développement d'une fonction de préférence $P(A ; B)$ qui permet de déterminer le degré de préférence qui est compris entre 0 et 1.

L'enrichissement de la relation de dominance : au niveau de cette étape, une relation de la valeur de surclassement est construite en prenant en compte tous les critères. A ce stade pour

chaque paire d'actions, un degré de préférence globale d'une action sur l'autre est défini (Tableau III.5).

Tableau III.5 : Relations de dominance de PROMETHEE I et II

PROMETHEE	Relation de dominance	Fixer les actions
PROMETHEE I	$A P^+ B$ ssi $\Phi_A^+ > \Phi_B^+$ $A P^- B$ ssi $\Phi_A^- < \Phi_B^-$ $A I^+ B$ ssi $\Phi_A^+ = \Phi_B^+$ $A I^- B$ ssi $\Phi_A^- = \Phi_B^-$	<ul style="list-style-type: none"> • A domine plus d'actions que B • A est domine par moins d'actions que B • A et B dominant autant d'actions • A et B sont dominés par autant d'actions
PROMETHEE II	A surclasse B ssi $\Phi(A) \geq \Phi(B)$ A est indifférente à B ssi : $\Phi(A) = \Phi(B)$	<ul style="list-style-type: none"> • A surclasse B • A est indifférente à B

L'exploitation de l'aide à la décision : cette étape consiste à évaluer le comportement de chaque action en fonction de (n -1) actions. Cela revient à ranger les actions de façon partielle ou totale en utilisant les méthodes PROMETHEE I et II. L'application de ces deux méthodes est basée sur le calcul des flux de surclassement.

III.3.4.1.1. Les fonctions de préférences

La fonction de préférence permet de donner une préférence au décideur pour une action « A » à l'égard de l'action « B ». Cette fonction est définie séparément pour chaque critère ; sa valeur sera comprise entre 0 et 1. Le choix du type de fonction devrait être fait entre le décideur et l'homme d'étude, afin de modéliser au mieux les degrés de préférence du décideur.

Pour simplifier la tâche au décideur, six fonctions de préférences ont été proposées par BRANS & VINCKE, (1985) (Tableau III.6). Dans chaque fonction, pas plus de deux paramètres sont à fixer et chacun de ces paramètres possède une signification économique bien précise.

Les six fonctions de préférences sont récapitulées dans le tableau III.6 suivant.

Tableau III.6 : Les six fonctions de préférences de la méthode PROMETHEE

Types de critère	Expression analytique	Représentation graphique
Critère usuel (type I)	$P(x) = \begin{cases} 0 & \forall x \leq 0; \\ 1 & \forall x > 0. \end{cases}$	
Quasi- critère (type II)	$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l; \\ 1, & x > l. \end{cases}$	
Critère linéaire (type III)	$P(x) = \begin{cases} \frac{x}{m}, & x \leq m; \\ 1, & x \geq m. \end{cases}$	
Critère à palier (type IV)	$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q, \\ \frac{1}{2}, & q < x \leq q + p, \\ 1, & x > q + p. \end{cases}$	
Critère linéaire avec indifférence (type V)	$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s, \\ \frac{x-s}{r}, & s \leq x \leq s+r, \\ 1, & x \geq s+r. \end{cases}$	
Critère gaussien (type VI)	$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0. \end{cases}$	

Avec :

X : différence entre deux actions pour un critère j ;

P(x) : fonction de préférence ;

H(x) : fonction graphique de préférence.

III.3.4.1.2. Indice de préférence π

Pour chaque couple d'actions (A, B) \in K, on doit définir l'indice de préférence π de « A » par rapport à « B », et cela par rapport à tous les critères.

Cet indice est donné par la formule suivante :

$$\pi(A, B) = \sum_{J \in K} W_j * P_j(A, B)$$

Avec :

K: L'ensemble des critères ;

P_j: La valeur de la préférence déduite à partir de la différence entre A et B pour le critère j ;

W_j : Le poids donné au critère j.

NB : une valeur proche de 0 indiquera B est meilleure que A, une valeur proche de 1 indiquera A est meilleure que B.

III.3.4.1.3. Flux sortant (positif)

Ce flux exprime le caractère surclassant de l'action «A» face aux (n -1) autres actions, c'est-à-dire sa puissance. $\Phi^+(A)$ d'autant plus grand que « A » surclassé fortement les autres actions (Figure III.4).

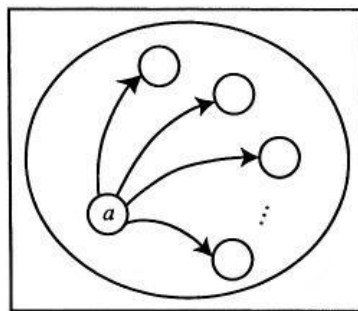


Figure III.4 : Flux de surclassement sortant

III.3.4.1.2 Flux entrant (négatif)

Ce flux exprime le caractère surclassé de l'action «A» face aux (n -1) autres actions, c'est-à-dire sa faiblesse. $\Phi^-(A)$ est d'autant moins grand que «A» est peu surclassée (Figure III.5).

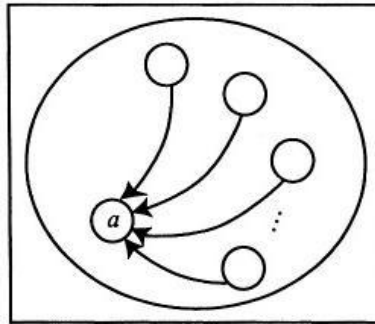


Figure III.5 : Flux de surclassement entrant

III.3.4.1.3. Flux net

Ce flux exprime le bilan des flux entrant et sortant de l'action « A ». Plus $\Phi(A)$ est grand, l'action est meilleure.

Les différentes formules de flux de surclassement sont récapitulées dans le tableau III.7.

Tableau III.7 : Formules de flux de surclassement

Flux de surclassement	Expression
Flux sortant	$\Phi^+(A) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=j}^n \pi(A, B_i)$
Flux entrant	$\Phi^-(A) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=j}^n \pi(B_i, A)$
Flux net	$\Phi(A) = \Phi^+(A) - \Phi^-(A)$

III.3.4.1.2. Classement

Le classement décroissant des valeurs du flux net permet d'avoir un classement global, des meilleures aux mauvaises actions. En d'autres termes le classement décroissant des actions suit l'arrangement décroissant des valeurs du flux net.

Dans notre étude on s'intéresse au classement de la réhabilitation dans le temps des conduites du réseau d'eau potable, des plus urgentes au moins urgentes.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a proposé une méthodologie traitant la problématique de priorisation de la réhabilitation des conduites du réseau d'eau potables en utilisant les outils d'aide à la décision. La méthodologie est composée principalement de deux phases. La première étant la phase de sélection. Cette phase a nécessité la collaboration des gestionnaires des services d'eau potable de la ville de Bejaia. Les spécificités locales et les données pratiques disponibles ont permis de faire une sélection de 13 critères exemples le type de matériau, l'âge, le diamètre, ...etc.

La deuxième phase dite la phase de décision comporte le choix de la méthode de calcul du poids des critères ainsi que le choix de la méthode de préférence et de classement global des tronçons. Pour le calcul du poids on a choisi la méthode AHP parmi toutes les méthodes de pondérations. Ce choix est motivé par ses résultats approuvés dans plusieurs domaines en particulier le

domaine de l'eau. Aussi AHP est la seule méthode qui permet de vérifier les jugements émis par les décideurs. Pour le calcul du classement on a choisi la nouvelle famille PROMETHEE et plus précisément l'approche multicritère PROMETHEE II, car c'est la seule méthode qui permet d'effectuer un rangement complet de toutes les actions, et d'établir de façon décroissante un ordre complet. Dans notre cas, la méthode PROMETHEE II va permettre de classer la réhabilitation des conduites du réseau d'eau potable des plus urgentes au moins urgentes.

PARTIE III :
Résultats et
discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter les étapes nécessaires afin d'appliquer la méthodologie proposée. L'application de cette dernière sera réalisée sur une partie du réseau d'eau potable de la ville de Bejaia. Notre objectif, à travers l'exploitation de l'outil, sera de prioriser la réhabilitation des conduites qui composent le réseau d'eau potable de la ville Fouka. La priorisation est une condition nécessaire pour améliorer la gestion du service d'eau potable. Pour cela, la collecte de données de base est nécessaire au calcul de la priorisation.

Dans le cadre du recueil des données nécessaires, on a initié des contacts avec les gestionnaires de l'Algérienne Des Eaux de la ville de Bejaia. Les données recueillies ont été utilisées et exploitées dans le déroulement de la méthodologie proposée ceci dans le cadre de la priorisation de la réhabilitation des conduites.

Dans ce chapitre, on a développé quatre points importants. Le premier point sera consacré à la présentation de la ville de Bejaia du point de vue géographique, climatique, socioéconomique et historique. Dans le deuxième point on va faire la description physique du système qui assure l'alimentation en eau potable la ville de Bejaia. On va énumérer les différentes sources d'eau et les différents réseaux qui respectivement alimentent et acheminent l'eau des points de production jusqu'aux consommateurs. Le troisième point sera consacré à la présentation du secteur ou la zone d'étude car notre application sera faite uniquement sur le secteur Fouka. Cette dernière est l'ancienne ville de Bejaia. Le quatrième point est consacré à l'application de la méthode développée et à la discussion des résultats obtenus.

IV.2.Présentation de la ville de Bejaia

IV.2.1.Situation géographique et topographique

Bejaia est une ville côtière située sur le bassin méditerranéen. Elle est située à 250 km à l'est d'Alger sur la côte méditerranéenne. Elle est délimitée à l'ouest et au nord-ouest par les Babors (le cap carbon accroché au flanc du mont Gouraya protection totale contre les vents du nord) auxquels viennent se souder les Bibans au sud ; à l'est les crêtes du Djurdjura.

La wilaya de Bejaia s'étend sur une superficie de 322348 hectares. Elle est bordée par :

Nord : la mer méditerranéenne.

Est : la wilaya de Jijel.

Ouest : la wilaya de Bouira et de Tizi Ouzou.

Sud : la wilaya de Sétif et de Bordj Bou Arreridj.

Bejaia est marquée par la prépondérance des reliefs montagneux et coupée par la vallée de la Soummam et les plaines situées près du littoral. Les différents reliefs s'établissent dans les proportions suivantes (ABBOUYENE & HENAOUI, 2013) : Montagne 60% ; Plaine 30% ; Collines et piémont 10%.

La wilaya de Bejaia est issue du découpage administratif de 1974. Elle est subdivisée en 52 communes regroupées elles-mêmes en 19 Daïras. Sa topographie a conditionné dans une large

mesure la répartition de sa population, la constitution des agglomérations et la concentration de l'activité humaine.

Bejaia se singularise par l'occupation d'un site qui est la synthèse des principaux reliefs (mer, montagne, plaine, vallée, rivière et piémont).

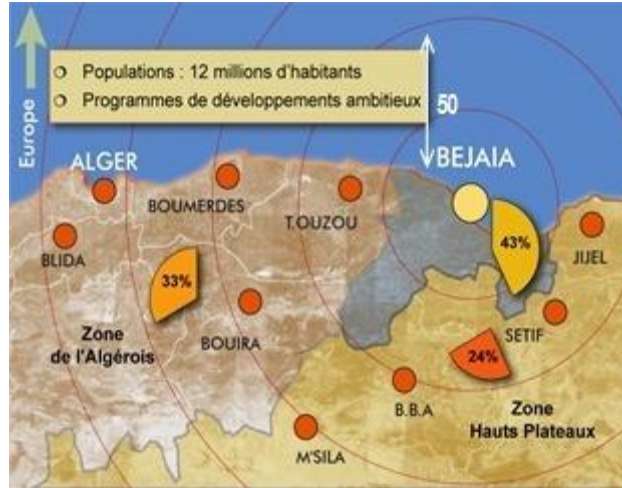


Figure IV.1 : Situation géographique de la wilaya de Bejaia (Entreprise portuaire de Bejaia, 2015)

IV.2.2. Situation climatique de la ville de Bejaia

La situation climatique de la ville de Bejaia est définie par différents paramètres climatiques enregistrés. Exemples des précipitations et des températures. Dans les tableaux suivants, une représentation des paramètres température (Tableau IV.1) et pluie (Tableau IV.2) sera illustré. Les observations s'étalent sur une période de seize années ceci depuis 2001 jusqu'à 2017.

Tableau IV.1 : Température moyenne mensuelle de la station de Bejaia

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Moyenne	12.3	12.2	14.4	16.3	18.8	22.4	25.5	26.2	23.8	21.5	16.6	13.5
Maximale	16.8	17.1	19.1	21	23.3	27	29.9	30.8	28.4	26.3	21.2	17.9
Minimale	7.7	7.5	9.7	11.6	14.3	17.8	21	21.7	19.2	16.6	12.1	9.1

La température est très douce en hiver (12.3°C en moyenne au mois de janvier) et la chaleur est tempérée par la brise de mer en été (26.2°C en moyenne au mois d'août). Les températures sont donc relativement douces, la moyenne interannuelle est de 18.62°C.

Tableau IV.2 : Pluie moyenne mensuelle de la station de Bejaia

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Moyenne	126.6	100.5	75.7	60.2	41.5	17.3	10.8	19.6	53.4	59.1	108.4	119.1
Maximale	169	166	158	112	75	65	71	87	135	79	149	172
Minimale	11.1	10.4	8.7	9	7.7	6.1	5.5	7.3	13.4	8.8	12.2	12

Les pluies moyennes mensuelles varient entre 119.1 mm pour le mois de Décembre et 10.8 mm pour le mois de Juillet. La saison des pluies s'étale sur presque 08 mois de Septembre jusqu'à Avril. La pluie moyenne annuelle est de l'ordre de 792.2 mm.

Ces paramètres montrent que le climat de la région étudiée est du type méditerranéen, des hivers humides et doux et des étés chauds. La figure IV.2 suivante représente le diagramme ombro-thermique.

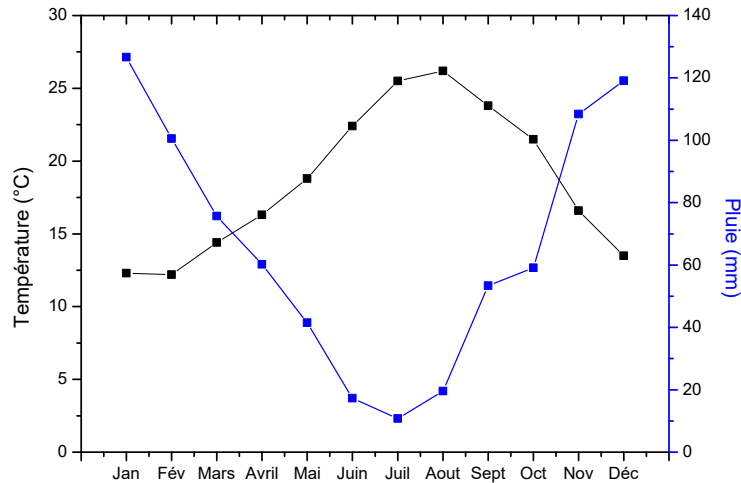


Figure IV.2 : Diagramme ombro-thermique représentant le climat de la ville de Bejaia

On remarque que la saison sèche débute vers la mi-Mars et se termine vers la mi-October

IV.2.3. Données socio-économiques de la ville de Bejaia

IV.2.3.1. Population

La wilaya de Bejaia a atteint les 912577 habitants lors du RGPH 2008, avec un taux d'accroissement de 0.6 % entre 1998 et 2008. En ce qui concerne la commune de Bejaia, la population est de 177988 habitants dont 90435 hommes et 87533 femmes avec un taux d'accroissement de 1,7 %. On aperçoit dans la figure IV.3 les différentes tranches d'âge qui compose la population de Bejaia.

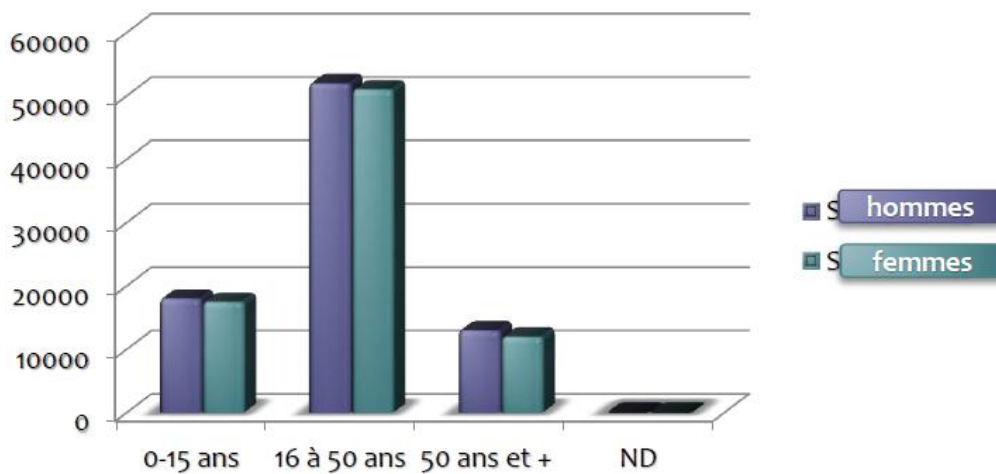


Figure IV.3 : Répartition de la population par genre et par âge (ABBOUYENE & HENAOU, 2013)

On peut déduire que la tranche 16-50 ans est la plus représentée dans la commune de Bejaia. L'effectif du genre masculin est supérieur à celui du genre féminin. Ces statistiques placent la commune de Bejaia en tête des communes les plus peuplées de la wilaya et dépassant de loin les communes limitrophes (ABBOUYENE & HENAOUÏ, 2013).

IV.2.3.2. Habitat

L'habitat est un élément de la structure urbaine et une forme matérielle de la croissance spatiale, dû à des facteurs politiques et économiques précis. Le tissu urbain de notre zone d'étude présente une typologie de l'habitat très diversifiée. Bejaia recèle 34526 logements dont 580 réceptionnés en 2008. Avec ces chiffres on obtient un taux d'occupation de logement (TOL) de 5,15 personnes par logement. Une grande partie du parc immobilier est représentée par l'habitat individuel. Ces maisons individuelles sont souvent constituées par plusieurs logements dans une même construction. Ceci dit, le nombre officiel d'autant plus qu'une partie de ces logements n'est pas occupée (ABBOUYENE & HENAOUÏ, 2013).

IV.2.4. Historique de la ville Bejaia

Bejaia est le toponyme officiel de la ville et de la wilaya. Les habitants comme le reste de la Kabylie utilisent le nom de Bgayeth ou bien Vgayeth qui est le nom en Berbère.

La ville de Bejaia connaît de nombreux vestiges historiques. Son tissu urbain est caractérisé par une continuité ininterrompue d'occupation (APC de Bejaia, 2017).

- **Période phénicienne** : installation de l'un des plus importants de l'Afrique.
- **Période romaine et hammadite saldae** : les réalisations les plus prestigieuses de cette période sont les «citernes romaines» et les «aqueducs» pouvant apporter et recueillir les eaux et les distribuer ensuite sur divers points de la ville qui portait le nom romain de Saldae.
- **Période espagnole Bujia** : l'occupation espagnole en 1510 a apporté des modifications sur les monuments déjà existants tels que fort marin Abdelkader, fort Gouraya, fort Moussa ainsi que la Casbah.
- **Période française** : en 1833, Bejaia se trouvait réduite à un triangle compris entre le fort marin Abdelkader, le fort Moussa et la Casbah. Les troupes françaises démolissaient les habitations inhabitées du fait qu'elles servaient de lieux pour embuscades. La ville fut de nouveau peuplée, après qu'elle fut érigée comme commune par les colons français. Ses édifices subsistent à nos jours tels que le Théâtre Régional de Bejaia, la poste, le lycée Ibn Sina, la maison d'hôtes (ex-sous préfecture), l'ex palais de justice, ...etc.

IV.2.4.1. Réalisation dans les différentes périodes

Citernes Romaines : une réalisation prestigieuse de l'époque romaine. Indispensable pour contenir le grand débit d'eau ramenée de Toudja vers Bejaia dont une citerne installée au niveau de Sidi Touati (Figure IV.4), une autre à l'intérieur de l'actuel hôpital Frantz Fanon, de même qu'une autre servant aujourd'hui de bibliothèque communale attenante au siège de l'APC de Bejaia.

Deux autres découvertes ont été faites à la rue Bousbissi de même que celle opérée au niveau de la demeure de Terki Zina. Sans doute que d'autres réalisations sont ensevelies un peu partout sous la vieille ville de Bejaia. Pour rappel, l'eau est acheminée de Toudja vers Saldae via l'aqueduc. Les dimensions de 29,60 m × 15 et de 85 × 15,50 m, sont enregistrées ce qui implique une capacité de stockage d'environ 7271,98 m³. Certains historiens estiment sans en donner la preuve formelle qu'elles furent probablement restaurées et réutilisées durant la période Hammadite et même bien après.



Figure IV.4 : Citernes romaine à Toudja (APC de Bejaia, 2017)

Cippe Romaine : la fontaine a été construite en 1896. Les ingénieurs Imbert et Roux utilisèrent la même source et le même itinéraire que celui de l'Aqueduc de Toudja pour pouvoir alimenter la ville de Bejaia en eau potable (Figure IV.5). L'inscription latine de l'époque Romaine, quant à elle, a été découverte à Lambèse (Batna) au mois d'Octobre de l'année 1866 et publiée pour la première fois par M Charbonneau.

Les textes de cette inscription relatent les faits qui se sont déroulés lors de la réalisation de ce magnifique ouvrage. Le Cippe a été transféré à Bejaia pour orner la fontaine symbolisant la grandeur de l'Aqueduc de Toudja. Actuellement la fontaine ne fonctionne plus. Le Cippe est en mauvais état de conservation, vu l'absence de moyens de protection.



Figure IV.5 : Cippe romaine (APC de Bejaia, 2017)

Bir Esselam : situé à l'entrée de la ville de Bejaia aux abords de la route nationale 26. Le puits est un vestige important (Figure IV.6). Il est à la fois un symbole et une vitrine. Il ouvre la voie sur la cité millénaire qu'est Bejaia. On raconte que les visiteurs et pèlerins venus des quatre coins du Maghreb y puisaient de l'eau pour étancher leur soif, mais aussi faire leurs ablutions avant de poser le pied dans la cité qu'Ibn Arabi désignait comme «*la petite Mecque*» tant la ville foisonnait de saints patrons et de soufis. Il est inscrit comme un bien culturel recensé.



Figure IV.6 : Bir Esselam (APC de Bejaia, 2017)

Aqueduc romain : l'aqueduc romain date de l'an 145 ap.J.C et fut construit pour fournir Bejaia avec de l'eau provenant d'une source se trouvant à l'ouest de la ville. La légende raconte que l'architecte de cette merveille du deuxième siècle est arrivée à Saldae (CHABOT, 2014).

IV.3. Descriptions physique du système actuel d'AEP de la ville de Bejaia

Le système d'alimentation en eau potable actuel de la ville de Bejaia est caractérisé par une morphologie très accidentée. L'eau est captée puis acheminée gravitairement depuis une source située à environ 50 km de la ville. Elle est complétée par l'exploitation des champs de captage en eau souterraines et par un renforcement depuis le barrage Tichy Haf.

IV.3.1. Ressource en eau

Afin que le système d'alimentation en eau potable assure un approvisionnement en eau correcte de l'agglomération différentes sources ont été mobilisées.

IV.3.1.1. Forages et puits

On a recensé 15 ouvrages qui se répartissent entre des forages et des puits. Les ouvrages sont réalisés au niveau de trois champs de captage. Ils sont situés aux limites des oueds appelés (Unité locale de l'ADE):

- Oued Agrioun (5 forages) ;
- Oued Zitouna (4 forages) ;
- Oued Djemaa (3 forages et 3 puits).

IV.3.1.2. Source bleue

La source est appelée source bleue car la couleur d'eau dans l'abri de la source est bleue (Figure IV.7). Cette source qui alimente la ville de Bejaia en eau potable se situe au débouché des gorges de Kherrata, en amont de Bordj Mira (Figure IV.8). La station de pompage se situe à la rive gauche de l'oued.

Cette même source alimente deux villes : Bejaia et Kherrata. De fait, deux conduites sortent de la station. Une conduite en acier de diamètre 300 mm pour alimenter la ville de Kherrata et une conduite en acier de diamètre 700 mm pour alimenter la ville de Bejaia.



Figure IV.7 : *Abri de la source bleue (Unité locale de l'ADE)*



Figure IV.8 : *Vue générale de l'emplacement de la source bleue*

IV.3.1.3. Barrage Tichy Haf

Les besoins eau de la ville de Bejaia sont très élevés et ne cessent de s'accroître. Afin de pallier à cette situation un renforcement a été mis en œuvre. Ceci à travers la réalisation d'un barrage appelé le barrage Tichy Haf. Ce barrage est situé près du village Mahfoudha dans la Daïra de Seddouk sur l'oued Bouselam à 10 km au sud est de la ville d'Akbou. Le barrage Tichy Haf a été mis en service en 2006. En effet, la réalisation du barrage Tichy Haf a pour mission :

- le renforcement du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Bejaia ;
- l'alimentation en eau potable et industrielle des agglomérations situées sur le couloir Akbou-Bejaia (47 hm³/an) ;
- l'écrêtement des crues de l'oued Boussellam. ;
- l'irrigation des périmètres du Sahel (6 400 ha) et la Haute Soummam (43 hm³/an).



Figure IV.9 : *Vue du barrage Tichy Haf* (Quotedien national d'information, 2018)

IV.3.2. Sites de production

IV.3.2.1. Station de traitement

La station de traitement a été implantée à 6 km d'Akbou vers le sud est en rive gauche de l'oued Boussellam. Ayant son point de départ à la prise d'eau du barrage, l'adducteur DN 1800 est chargé de transporter l'eau brute à la station de traitement pour l'alimentation en eau potable du couloir Akbou-Bejaia (HAMCHAOU, 2017).

IV.3.2.2. Traitement

La filière de traitement de la station de production d'eau potable à partir du barrage Tichi Haf, et l'eau de ce barrage est transférée à travers des conduites d'alimentation de la station de traitement en eau brute de diamètre nominale DN 1400 avec un raccordement vers l'adducteur principal, et un ouvrage placée à l'entrée composé d'une brise-charge jumelé à un débitmètre afin de contrôler le débit et la pression. Cet ouvrage est caractérisé par (HAMCHAOU, 2017):

- Une cascade d'aération a été conçue avec 3 marches successives sur une hauteur de 1.5 m et une longueur de 17.70 m ;
- Une bêche de coagulation avec dosage de réactifs ;
- Deux décanteurs lamellaires Pulsatube ;
- Sept filtres bicouches rapides ;
- Une citerne d'eau traitée de 20000 m³.

IV.3.2.3. Capacité nominale de la station

La capacité nominale de la station de traitement de Tichy Haf est de 120000 m³/j d'eau traitée. Le volume de stockage de l'eau traitée est de 20000 m³ correspondants à 4 heures de la production nominale de la station.

Les installations technologiques sont suivies d'un réservoir d'eau traitée, d'une capacité de 20000 m³. C'est à partir de ce réservoir que l'eau part vers le couloir Akbou-Bejaia. La production moyenne journalière est de 100000 m³/j dont 40000 m³ d'eau destinée pour la ville de Bejaia.

IV.3.3. Réseaux d'adduction

Le système d'alimentation en eau potable de la ville de Bejaia possède deux adductions principales. La plus ancienne provient du coté Est assurant l'acheminement de l'eau à partir de la source Bleue et des trois champs de captage. La plus récente provient du coté Ouest assurant l'acheminement des eaux du barrage de Tichy Haf. L'eau de ses ressources est amenée à travers des conduites d'adduction vers la station centrale. Cette Station fonctionne comme un pivot du système d'AEP, fournissant les trois chaînes de refoulement existantes: (Unité locale de l'ADE)

- Fouka ;
- Sidi Ahmed ;
- Ihaddaden.

Par contre, chacune de ces chaînes de refoulement est relativement complexe, alimentant plusieurs zones et étages de distribution.

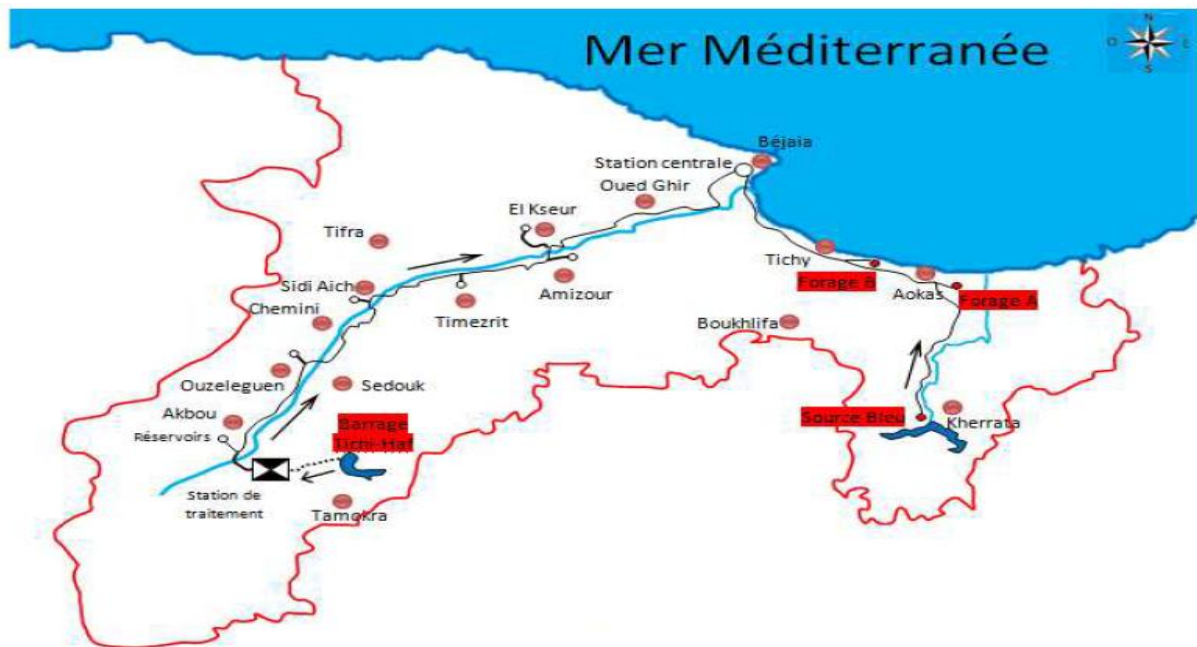


Figure IV.10 : Réseaux d'adduction qui alimentent la ville de Bejaia (HAMCHAOU, 2017).

IV.3.3.1. Différentes conduites d'adduction

Conduite d'adduction Est : les eaux puisées et captées au niveau de la Source Bleue et des trois champs de captages sont acheminées à partir de deux conduites. Les principales caractéristiques des conduites d'adduction sont récapitulées dans le tableau IV.3 suivant :

Tableau IV.3 : Caractéristiques des conduites d'adduction de la partie Est

Les conduites d'adduction	Conduite d'adduction Est			
	Conduite 1		Conduite 2	
Nature de la conduite	Acier	Acier	Acier	Acier
Diamètre nominale (mm)	DN700	DN700	DN500	DN600
Désignation	Source bleue - Oued agrioun	Oued agrioun-station centrale	Oued zitouna-Oued djamaa	Oued djamaa-station centrale
Longueur(m)	16000	35000	2600	17400
Écoulement	Gravitaire	gravitaire	refoulement	gravitaire

Conduite d'adduction Ouest : le réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Bejaia est renforcé par le barrage du Tichy Haf. Le transfert de l'eau a nécessité la réalisation de plusieurs ouvrages selon (COBA, 2009) :

- Conduite de transfert d'eau brute (Barrage – Station de traitement) DN 1800. Sa longueur est de 13600 mL ;
- Conduite de transfert d'eau traitée DN 1400 à 1000 sur une longueur de 70000 mL ;
- 7 réservoirs de distribution ;
- Une station de traitement des eaux ;
- Une station de chloration à Timezrit pour un réajustement du chlore ;
- Un système de télétransmission.

Les principales caractéristiques de la conduite d'adduction Ouest sont présentées dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4: Caractéristiques des conduites d'adduction de la partie Ouest (COBA, 2009)

Les conduites d'adduction	Conduite d'adduction Ouest	
	Conduite d'eau brute	Conduite d'eau traitée
Nature de la conduite	Acier	Acier
Diamètre nominal (mm)	DN1800	DN1400à1000
Désignation	Barrage-station de traitement	Station de traitement -station de chloration
Longueur(m)	13600	70000
Écoulement	Gravitaire	gravitaire

Chaines de refoulement : les systèmes de production et d'adduction d'eau alimentent la Station Centrale de la ville de Bejaia (chaîne d'alimentation de la Station Centrale), située à l'intérieur de la ville. A partir de la station centrale, trois chaînes de refoulement alimentent les divers réservoirs de distribution de la ville. Ces trois chaînes de refoulement sont les suivantes :

Chaîne de refoulement Fouka : elle permet l'alimentation de l'ancienne ville, la plaine (El Khemis) ainsi que les quartiers de Fort Clauzel et une partie du port. C'est la plus importante des trois chaînes de refoulement du système d'alimentation en eau potable de la ville de Bejaia,

les principales caractéristiques des conduites de la chaîne Fouka sont présentées dans le tableau (IV.5) suivant:

Tableau IV.5 : *Caractéristiques des conduites de chaîne de Fouka* (COBA, 2009)

Chaîne de refoulement	Fouka					
	Station centrale-Fouka	Fouka-Boussiron	Boussiron-Romaine	Boussiron-Sidi Touati	Boussiron-Gouraya	Gouraya-Fort Clausel
Nature	Acier	Acier	acier	acier	acier	acier
Diamètre (mm)	600	500	250	300	350	350
Longueur (m)	2100	350	140	350	540	1900
Écoulement	Refoulement	refoulement	gravitaire	refoulement	refoulement	gravitaire

Chaîne de refoulement Sidi Ahmed : elle permet l'alimentation de Sidi Ahmed plus une partie de la plaine jusqu'à l'office du parc omnisports de la wilaya. La chaîne de refoulement de Sidi Ahmed est composée par des stations de pompage, réservoirs de distribution et conduites d'adduction. Les données sont récapitulées dans le tableau IV.6.

Tableau IV.6 : *Caractéristiques des conduites de chaîne de Sidi Ahmed* (COBA, 2009)

Chaîne de refoulement	Désignation	Nature	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Écoulement
Sidi Ahmed	Station centrale-Sidi Ahmed I	Fonte-acier	500	2100	Refoulement
	Sidi Ahmed I-Sidi Ahmed II	Acier	400	540	Refoulement
	Sidi Ahmed II-Sidi Ahmed IV	Fonte-acier	300	1000	Refoulement
	Sidi Ahmed IV-Sidi Ahmed IV	Acier	300	600	Refoulement
	Sidi Ahmed IV- Fort Clausel	Acier	200	250	Gravitaire
	Sidi Ahmed-Eghil El Bordj	Acier	168	2310	Gravitaire
	Sidi Ahmed I-Smina	Acier	250	930	Refoulement
	Smina-Université	Acier	200	1490	Gravitaire
	Smina-Tala Markha	Acier	200	2000	Refoulement
	Tala Markha-Ibouhathmane	Acier	150	1170	Gravitaire

Chaîne de refoulement Iheddaden: elle permet l'alimentation de Boukhiana, Iheddaden, Dar Djebel, Tizi, Ighil Ouazoug et Sid Ali Lebhar. Les principales caractéristiques des conduites d'adduction de la chaîne Iheddaden sont récapitulées dans le tableau IV.7.

Tableau IV.7 : *Caractéristiques des conduites de la chaîne Iheddaden* (COBA, 2009)

Chaîne de refoulement	Désignation	Nature	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Écoulement	
Iheddaden	Station centrale-Der Egzeb	Acier	500	3096	Refoulement	
	Der Egzeb- Iheddaden I	Acier	500	340	Refoulement	
	Der Egzeb- Egzeb(1)	Acier	300	187	Refoulement	
	Iheddaden I -Boukhiana I		PEHD	110	36	Gravitaire
			FD	100	184	
			ANE	100	1541=1761	
	Boukhiana I- Boukhiana II	Acier	200	1483	Refoulement	
	Boukhiana II- Boukhiana	Acier	150	657	Refoulement	
	Iheddaden I- Iheddaden II	FD	300	462	Refoulement	
	Iheddaden II-Tzi Ighil Ouazoug	Acier	200	934	Refoulement	
Iheddaden II-Dar El Djebel	Acier	150	322	Refoulement		

IV.3.4. Réseau de distribution

IV.3.4.1. Réservoir

Le réseau de distribution de la ville de Bejaia est desservi par 23 réservoirs de distribution, qui sont eux-mêmes alimentés par les trois chaînes de refoulement du système d'AEP. Ces trois chaînes sont alimentées à leur tour par la Station Centrale.

Par contre, chaque système de refoulement est relativement complexe, alimentant plusieurs réservoirs. Le nombre total de réservoirs est de 23. Ces réservoirs alimentent les populations de la ville de Bejaia.

Une partie de ces réservoirs possèdent une double fonction. De ces 23 réservoirs, 12 sont exclusivement destinés à la distribution. Les 11 autres étant intercalés dans le système d'adduction de la ville de Bejaia et possédant donc une double fonction (adduction et distribution) (COBA, 2009).

Dans le tableau IV.8, on donne les caractéristiques détaillées sur les réservoirs du réseau de distribution. Les chaînes de refoulement existantes assurent l'alimentation des réservoirs.

Tableau IV.8 : Caractéristiques des réservoirs de réseau de Bejaia

Désignation	Nature	Forme	Nombre Cellules* volume (un*m ³)	Cote trop-plein (mNGA)	Cote radier (mNGA)	Chaîne de refoulement	Fonction
Fouka	Semi-enterré	Circulaire	2*1500	63	70	Fouka	Adduction/ distribution
Romaine	Semi-enterré	Rectangulaire	3700	115	124	Fouka	Distribution
Sidi-touati	Semi-enterré	Circulaire/ rectangulaire	750+1670	148	152	Fouka	Distribution
Petit Boussiron	Semi-enterré	Circulaire	100	-	-	Fouka	Distribution
Gouraya	Au- sol	Circulaire/ rectangulaire	100+2*750	216	220	Fouka	Adduction/ distribution
Fort clauzel	Au-sol	Circulaire	1000+2*750	190	194	Fouka/sidi ahmed	distribution
Sidi ahmed I	Semi enterré	Circulaire	2*1000	65	69	Sidi ahmed	Adduction/ distribution
Sidi ahmed II	Semi enterré	Circulaire	2*1000	105	109	Sidi ahmed	Adduction/ distribution
Sidi ahmed IV	Semi enterré	Circulaire	2*1000	145	149	Sidi ahmed	Adduction/ distribution
Sidi ahmed IV	Semi enterré	Circulaire	2*1000	230	234	Sidi ahmed	Adduction/ distribution
Eghil El Bordj	Semi enterré	Circulaire	300	217	219	Sidi ahmed	distribution
Smina	Semi enterré	Circulaire	1000	105	109	Sidi ahmed	Adduction/ distribution
Université	Semi enterré	Circulaire	2*500	60	63	Sidi ahmed	Distribution
Tala Markhal	Semi enterré	Circulaire	500	198	201	Sidi ahmed	Adduction/ Distribution
Targa Ouzemmour	Semi enterré	Circulaire	200	-	-	Sidi ahmed	Distribution
Adrar Oufarnou	Semi enterré	Circulaire	100	362	-	Sidi ahmed	Distribution
EGZIB	Semi enterré	Circulaire	2*2500	61.1	69	Iheddaden	Distribution

Tableau IV.8 : Caractéristiques des réservoirs de réseau de Bejaia (Suite et fin)

Désignation	Nature	Forme	Nombre Cellules* volume (un*m ³)	Cote trop-plein (mNGA)	Cote radier (mNGA)	Chaîne de refoulement	Fonction
IheddadenI	Semi enterré	Circulaire	2*2000	63	69	Iheddaden	Adduction/ Distribution
Iheddaden II	Semi enterré	Circulaire	2*1000	120	124	Iheddaden	Adduction/ Distribution
Tizi ighil Ouazoug	Semi enterré	Circulaire	2*500	211	214.5	Iheddaden	Distribution
Dar el Djbel	Semi enterré	Circulaire	150	191	194	Iheddaden	Distribution
U8Boukhiam II	Semi enterré	Circulaire	200	159	162	Iheddaden	Adduction/ Distribution
Boukhiam	Semi enterré	Circulaire	200	219	222	Iheddaden	Distribution

IV.3.4.2. Conduites du réseau de distribution

Le réseau de distribution de la ville de Bejaia possède plus de 260 Km de conduites. Les diamètres varient entre 20 mm et 400 mm et les types des matériaux de ces conduites sont l'acier (AC), l'acier galvanisé (AG), l'acier noir enrobé (ANE), fonte ductile (FD), fonte grise (FG), le Polyéthylène haut densité (PEHD) et polychlorure vinyle (PVC).

Tableau IV.9 : Caractéristiques des conduites de distribution

Nature	Longueur (m)	Pourcentage (%)
AG	71 767	27.5
AC	74 510	28.5
ANE	8253	3.2
PEHD	53664	20.5
FD	34817	13.3
FG	17607	6.7
PVC	658	0.3
Total	261 276	100

Le matériau le plus fréquent est l'acier avec un pourcentage de 60 % du linéaire total.

IV.3.4.3. Secteurs de distribution et choix du secteur à retenir pour l'application

Dans le réseau de distribution de la ville de Bejaia on peut identifier plusieurs secteurs de distribution. Ils sont séparés entre eux par des vannes de secteur. On dénombre dans le réseau de distribution 21 secteurs de distribution. Chacun de ces 21 secteurs est donc desservi par le réservoir du même nom, à l'exception du secteur Ihaddaden I qui est desservi non seulement par le réservoir Ihaddaden I mais aussi par le réservoir de la Station Centrale.

Vue la grandeur du réseau de la ville de Bejaia, notre choix s'est portée sur le secteur de distribution de Fouka (veille ville). Ce choix est motivée par :

Fouka est l'ancienne ville de Bejaia. Son réseau de distribution d'eau possède une grande proportion de conduite en acier. Ces dernières étant, en général, en mauvais état de conservation (corrosion). Par conséquent, elles présentent des fuites importantes. Les conduites en fonte grise et en acier noir enrobé sont également vétustes et nécessitent d'être remplacées. Les vannes de

sectionnement sont pour la grande majorité d'entre elles, en mauvais état de conservation. Leur manœuvre est également bien souvent difficile.

IV.4. Présentation de la zone d'étude

IV.4.1. Situation géographique

Fouka, l'ancienne ville de Bejaia, est située au niveau du centre de la ville de Bejaia. Ce secteur a une plus grande surface de la ville Bejaia.

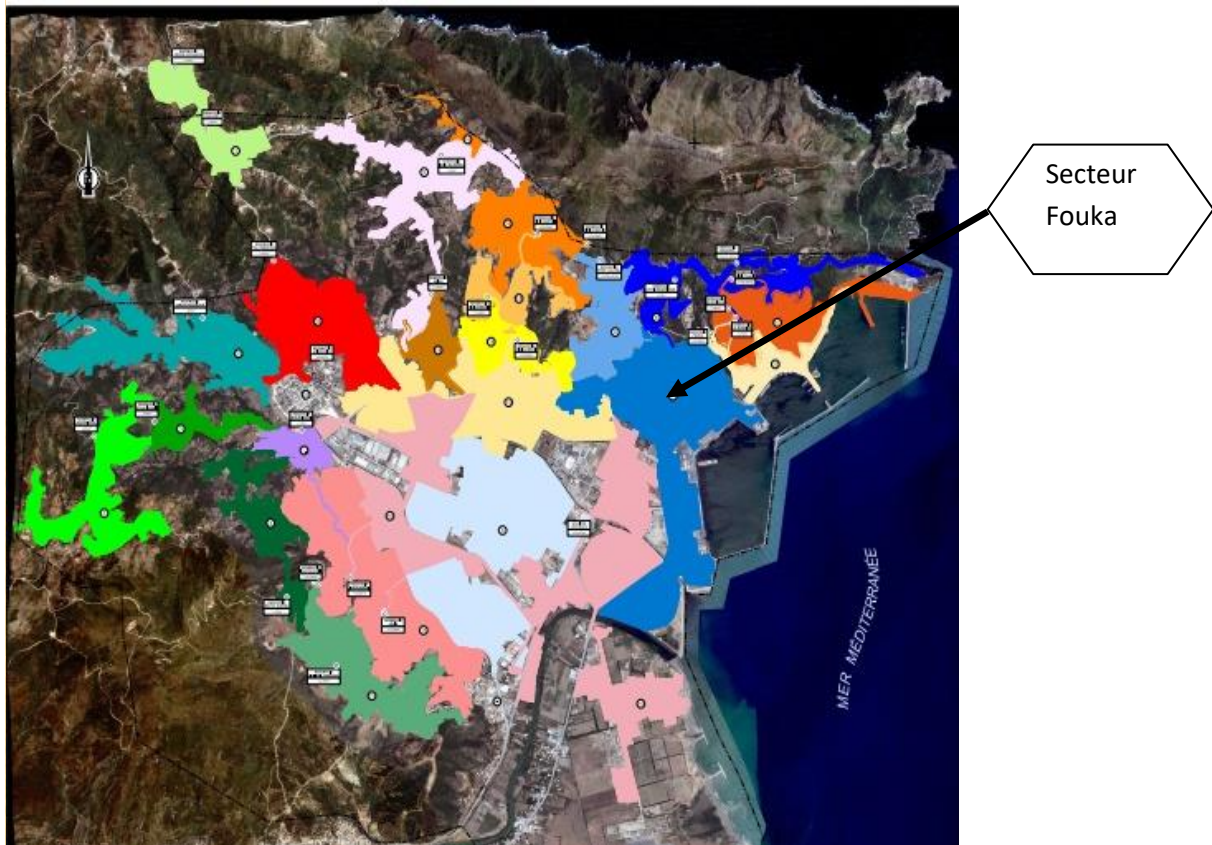


Figure IV.11 : Situation géographique de secteur Fouka (COBA, 2009)

IV.4.2. Population

Le secteur Fouka possède une population concentrée selon la variation des quartiers. Le nombre d'habitants existant dans ce secteur est de 11879 hab.

IV.4.3. Caractéristiques du réseau de distribution du secteur Fouka

Le secteur Fouka est alimenté par le réservoir portant le même nom. Ce réservoir est à son tour alimenté par la chaîne de refoulement de Fouka. Ce secteur possède 20.4 Km de conduite de distribution, ce qui correspond à environ de 8 % de la longueur totale du réseau de distribution de la ville de Bejaia. Ce réseau alimente plusieurs quartiers selon la demande en eau. Ces quartiers sont :

- La Plaine ;
- Cité Tobal ;
- Port de pêche ;
- Port pétrolier.

IV.4.4. Réservoir

Le réservoir qui alimente le secteur Fouka est considéré comme un réservoir à double fonction (adduction et distribution). Il est semi-enterré de forme circulaire à deux cellules. Sa capacité est égale à $2 \times 1500 \text{m}^3$. Cet ouvrage est caractérisé par la cote de trop plein est 70 mNGA et cote de radier 63 mNGA, avec une chaîne de refoulement.

IV.4.5. Conduites du secteur Fouka

Le secteur de distribution de Fouka possède 18.2 Km de conduite de distribution soit 7 % des conduites de la ville de Bejaia. Dans le tableau suivant on présente la répartition des conduites de distribution du secteur par la nature de matériau. Dans le tableau IV.10 suivant une synthèse de la répartition des conduites.

Tableau IV.10 : *Caractéristique des conduites du secteur Fouka*

Matériau	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Total (m)	Pourcentage (%)
Acier galvanisé	40	191.27	1554.15	8.54
	42	198.77		
	50	106.99		
	60	486.47		
	76	89.91		
	90	441.45		
	100	39.29		
Acier	50	270.37	3278.6	18.01
	60	163.58		
	80	121.77		
	100	1728.1		
	110	40.63		
	125	50.75		
	150	903.4		
Acier noir enrobé (ANE)	150	275.86	275.86	1.52
PEHD	50	216.23	3638.49	19.99
	63	416.64		
	90	591.2		
	110	2336.74		
	160	77.68		
Fonte ductile (FD)	100	476.16	625.45	3.44
	125	32.94		
	350	116.35		
Fonte grise (FG)	60	284.3	8827.77	48.50
	76	70.29		
	80	1705.68		
	86	103.73		
	100	5023.8		
	125	500.19		
	150	133.81		
	200	540.49		
	250	258.21		
	300	207.27		
Total			18200.32	100

La nature des conduites de distribution est 18.01 % en acier, 8.54 % en acier galvanisé, 1.52 % en acier noir enrobé, 19.99 % en PEHD, 3.44 % en fonte ductile et 48.50 % en fonte grise. Les réseaux en fonte sont ceux construits lors de l'époque coloniale française ; dont la canalisation qui achemine l'eau de Toudja vers le cippe romain.

IV.5. Application de la méthode et résultats

Pour mieux expliquer notre démarche, on va prendre deux exemples d'application. Le premier, le plus simple, sera réalisé sur un quartier de Fouka. Ce quartier comporte 06 tronçons. Le deuxième exemple sera une application sur la totalité du secteur de Fouka qui est composé de 204 tronçons.

Le but de cette application est d'avoir comme résultats final un ordre complet de la réhabilitation des tronçons. Ce qui va permettre au gestionnaire du service d'eau potable de mieux gérer les travaux de réhabilitation des tronçons ceci du plus urgent au moins urgent.

IV.5.1. Calcul du poids des critères

IV.5.1.1. Synthèse du questionnaire

Afin de calculer le poids des critères, il faut construire la matrice de comparaison par paire des éléments. Il convient de se poser une question. La manière de poser la question est importante car elle permet de répondre puis de remplir la matrice des comparaisons binaires.

Pour représenter l'importance relative d'un élément par rapport à un autre, on va utiliser la méthode AHP et l'échelle de SAATY. Un questionnaire a été développé (Annexe1) et soumis à des experts. Une synthèse des réponses fournies est représentée dans le tableau IV.11 suivant :

Tableau IV.11: Comparaison par paire des critères

Comparaison par paire des critères		Critère considéré important	Préférence
Type de matériau / Rupture	C1/C2	C2	3
Type de matériau / Nature du Joint	C1/C3	C3	3
Type de matériau / plainte des clients et les gênes causées	C1/C4	C4	5
Type de matériau / chevauchement des conduites	C1/C5	C5	2
Type de matériau / Technique de réhabilitation	C1/C6	C1	3
Type de matériau / Age de la conduite	C1/C7	C7	4
Type de matériau / indice linéaire des fuites	C1/C8	C8	5
Type de matériau / indice linéaire des pertes	C1/C9	C9	5
Type de matériau / Diamètre de la conduite	C1/C10	C10	3
Type de matériau / Rendement	C1/C11	C11	4
Type de matériau / longueur	C1/C12	C1	4
Type de matériau / Cout de réhabilitation	C1/C13	C1	2
Rupture / Nature du Joint	C2/C3	C2	2
Rupture / plainte des clients et les gênes causées	C2/C4	C4	3
Rupture / chevauchement des conduites	C2/C5	C2	3
Rupture / Technique de réhabilitation	C2/C6	C2	5
Rupture / Age de la conduite	C2/C7	C7	3
Rupture / indice linéaire des fuites	C2/C8	C8	3
Rupture / indice linéaire des pertes	C2/C9	C9	3
Rupture / Diamètre de la conduite	C2/C10	C2	2
Rupture / Rendement	C2/C11	C11	3
Rupture / longueur	C2/C12	C2	3
Rupture / Cout de réhabilitation	C2/C13	C2	3
Nature du Joint / plainte des clients et les gênes causées	C3/C4	C4	3
Nature du Joint / chevauchement des conduites	C3/C5	C3	2
Nature du Joint / Technique de réhabilitation	C3/C6	C3	4
Nature du Joint / Age de la conduite	C3/C7	C7	3
Nature du Joint / indice linéaire des fuites	C3/C8	C8	3
Nature du Joint / indice linéaire des pertes	C3/C9	C9	4

Tableau IV.11: Comparaison par paire des critères (suite et fin)

Comparaison par pair des critères		Critère considéré important	Préférence
Nature du Joint / Diamètre de la conduite	C3/C10	C3	2
Nature du Joint / Rendement	C3/C11	C11	3
Nature du Joint / longueur	C3/C12	C3	3
Nature du Joint / Cout de réhabilitation	C3/C13	C3	2
Plainte des clients et les gênes causées / chevauchement des conduites	C4/C5	C4	4
plainte des clients et les gênes causées / Technique de réhabilitation	C4/C6	C4	5
plainte des clients et les gênes causées / Age de la conduite	C4/C7	C4	2
plainte des clients et les gênes causées / indice linéaire des fuites	C4/C8	C4	2
plainte des clients et les gênes causées / indice linéaire des pertes	C4/C9	C9	2
plainte des clients et les gênes causées / Diamètre de la conduite	C4/C10	C4	3
plainte des clients et les gênes causées / Rendement	C4/C11	C4	2
plainte des clients et les gênes causées / longueur	C4/C12	C4	5
plainte des clients et les gênes causées / Cout de réhabilitation	C4/C13	C4	3
chevauchement des conduites / Technique de réhabilitation	C5/C6	C5	3
chevauchement des conduites / Age de la conduite	C5/C7	C7	4
chevauchement des conduites / indice linéaire des fuites	C5/C8	C8	4
chevauchement des conduites / indice linéaire des pertes	C5/C9	C9	4
chevauchement des conduites / Diamètre de la conduite	C5/C10	C10	2
chevauchement des conduites / Rendement	C5/C11	C11	3
chevauchement des conduites / longueur	C5/C12	C5	4
chevauchement des conduites / Cout de réhabilitation	C5/C13	C5	2
Technique de réhabilitation / Age de la conduite	C6/C7	C7	4
Technique de réhabilitation / indice linéaire des fuites	C6/C8	C8	6
Technique de réhabilitation / indice linéaire des pertes	C6/C9	C9	5
Technique de réhabilitation / Diamètre de la conduite	C6/C10	C10	3
Technique de réhabilitation / Rendement	C6/C11	C11	6
Technique de réhabilitation / longueur	C6/C12	C6	2
Technique de réhabilitation / Cout de réhabilitation	C6/C13	C13	2
Age de la conduite / indice linéaire des fuites	C7/C8	C8	2
Age de la conduite / indice linéaire des pertes	C7/C9	C9	3
Age de la conduite / Diamètre de la conduite	C7/C10	C7	3
Age de la conduite / Rendement	C7/C11	C11	2
Age de la conduite / longueur	C7/C12	C7	4
Age de la conduite / Cout de réhabilitation	C7/C13	C7	3
indice linéaire des fuites / indice linéaire des pertes	C8/C9	C9	2
indice linéaire des fuites / Diamètre de la conduite	C8/C10	C8	3
indice linéaire des fuites / Rendement	C8/C11	C8	2
indice linéaire des fuites / longueur	C8/C12	C8	5
indice linéaire des fuites / Cout de réhabilitation	C8/C13	C8	5
indice linéaire des pertes / Diamètre de la conduite	C9/C10	C9	4
indice linéaire des pertes / Rendement	C9/C11	C9	2
indice linéaire des pertes / longueur	C9/C12	C9	5
indice linéaire des pertes / Cout de réhabilitation	C9/C13	C9	5
Diamètre de la conduite / Rendement	C10/C11	C11	3
Diamètre de la conduite / longueur	C10/C12	C10	3
Diamètre de la conduite / Cout de réhabilitation	C10/C13	C10	4
Rendement / longueur	C11/C12	C11	5
Rendement / Cout de réhabilitation	C11/C13	C11	6
Longueur / Cout de réhabilitation	C12/C13	C13	3

IV.5.1.2. Construction de la matrice de comparaison des critères

L'importance relative des critères les uns par rapport aux autres est récapitulée dans le tableau IV.12 suivant :

Tableau IV.12 : Matrice de jugement des critères.

Comparaison des critères	TYP_M	RUPT	NAT_J	PLAINTTE	CHEV	TECH_R	AGE	ILF	ILP	DIAM	REND	LONG	COUT_R
TYP_M	1	1/3	1/3	1/5	1/2	3	1/4	1/5	1/5	1/3	1/4	4	2
RUPT	3	1	2	1/3	3	5	1/3	1/3	1/3	2	1/3	3	3
NAT_J	3	1/2	1	1/3	2	4	1/3	1/3	1/4	2	1/3	3	2
PLAINTTE	5	3	3	1	4	5	2	2	1/2	3	2	5	3
CHEV	2	3	1/2	1/4	1	3	1/4	1/4	1/4	1/2	1/3	4	2
TECH_R	1/3	1/5	1/4	1/5	1/3	1	1/4	1/6	1/5	1/3	1/6	2	1/2
AGE	4	3	3	1/2	4	4	1	1/2	1/3	3	1/2	4	3
ILF	5	3	3	1/2	4	6	2	1	1/2	3	2	5	5
ILP	5	3	4	2	4	5	3	2	1	4	2	5	5
DIAM	3	1/2	1/2	1/3	2	3	1/3	1/3	1/4	1	1/3	3	4
REND	4	3	3	1/2	3	6	2	1/2	1/2	3	1	5	6
LONG	1/4	1/3	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1/3
COUT_R	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	2	1/3	1/5	1/5	1/4	1/6	3	1

IV.5.1.3. Détermination des poids des critères

Pour déterminer le vecteur de priorité ou le poids de chaque critère, on va utiliser le concept du vecteur propre. Ce dernier nécessite la normalisation de la matrice de comparaison comme suit :

1. Additionner les valeurs de chaque colonne de la matrice de comparaison A (Tableau IV.13) :

Tableau IV.13 : Somme de chaque colonne.

1,00	0,33	0,33	0,20	0,50	3,00	0,25	0,20	0,20	0,33	0,25	4,00	2,00
3,00	1,00	2,00	0,33	3,00	5,00	0,33	0,33	0,33	2,00	0,33	3,00	3,00
3,00	0,50	1,00	0,33	2,00	4,00	0,33	0,33	0,25	2,00	0,33	3,00	2,00
5,00	3,00	3,00	1,00	4,00	5,00	2,00	2,00	0,50	3,00	2,00	5,00	3,00
2,00	3,00	0,50	0,25	1,00	3,00	0,25	0,25	0,25	0,50	0,33	4,00	2,00
0,33	0,20	0,25	0,20	0,33	1,00	0,25	0,17	0,20	0,33	0,17	2,00	0,50
4,00	3,00	3,00	0,50	4,00	4,00	1,00	0,50	0,33	3,00	0,50	4,00	3,00
5,00	3,00	3,00	0,50	4,00	6,00	2,00	1,00	0,50	3,00	2,00	5,00	5,00
5,00	3,00	4,00	2,00	4,00	5,00	3,00	2,00	1,00	4,00	2,00	5,00	5,00
3,00	0,50	0,50	0,33	2,00	3,00	0,33	0,33	0,25	1,00	0,33	3,00	4,00
4,00	3,00	3,00	0,50	3,00	6,00	2,00	0,50	0,50	3,00	1,00	5,00	6,00
0,25	0,33	0,33	0,20	0,25	0,50	0,25	0,20	0,20	0,33	0,20	1,00	0,33
0,50	0,33	0,50	0,33	0,50	2,00	0,33	0,20	0,20	0,25	0,17	3,00	1,00
36,08	21,20	21,42	6,68	28,58	47,50	12,33	8,02	4,72	22,75	9,62	47,00	36,83

2. Diviser chaque cellule par le total de la colonne (Tableau IV.14) :

Tableau IV.14 : Division par le total de chaque colonne.

0,028	0,016	0,016	0,030	0,017	0,063	0,020	0,025	0,042	0,015	0,026	0,085	0,054
0,083	0,047	0,093	0,050	0,105	0,105	0,027	0,042	0,071	0,088	0,035	0,064	0,081
0,083	0,024	0,047	0,050	0,070	0,084	0,027	0,042	0,053	0,088	0,035	0,064	0,054
0,139	0,142	0,140	0,150	0,140	0,105	0,162	0,249	0,106	0,132	0,208	0,106	0,081
0,055	0,142	0,023	0,037	0,035	0,063	0,020	0,031	0,053	0,022	0,035	0,085	0,054
0,009	0,009	0,012	0,030	0,012	0,021	0,020	0,021	0,042	0,015	0,017	0,043	0,014
0,111	0,142	0,140	0,075	0,140	0,084	0,081	0,062	0,071	0,132	0,052	0,085	0,081
0,139	0,142	0,140	0,075	0,140	0,126	0,162	0,125	0,106	0,132	0,208	0,106	0,136
0,139	0,142	0,187	0,299	0,140	0,105	0,243	0,249	0,212	0,176	0,208	0,106	0,136
0,083	0,024	0,023	0,050	0,070	0,063	0,027	0,042	0,053	0,044	0,035	0,064	0,109
0,111	0,142	0,140	0,075	0,105	0,126	0,162	0,062	0,106	0,132	0,104	0,106	0,163
0,007	0,016	0,016	0,030	0,009	0,011	0,020	0,025	0,042	0,015	0,021	0,021	0,009
0,014	0,016	0,023	0,050	0,017	0,042	0,027	0,025	0,042	0,011	0,017	0,064	0,027

3. Calculer la valeur moyenne de chaque ligne (Tableau IV.15).

Tableau IV.15 : Moyenne de chaque ligne.

												Poids	
0,028	0,016	0,016	0,030	0,017	0,063	0,020	0,025	0,042	0,015	0,026	0,085	0,054	0,034
0,083	0,047	0,093	0,050	0,105	0,105	0,027	0,042	0,071	0,088	0,035	0,064	0,081	0,069
0,083	0,024	0,047	0,050	0,070	0,084	0,027	0,042	0,053	0,088	0,035	0,064	0,054	0,055
0,139	0,142	0,140	0,150	0,140	0,105	0,162	0,249	0,106	0,132	0,208	0,106	0,081	0,143
0,055	0,142	0,023	0,037	0,035	0,063	0,020	0,031	0,053	0,022	0,035	0,085	0,054	0,050
0,009	0,009	0,012	0,030	0,012	0,021	0,020	0,021	0,042	0,015	0,017	0,043	0,014	0,020
0,111	0,142	0,140	0,075	0,140	0,084	0,081	0,062	0,071	0,132	0,052	0,085	0,081	0,097
0,139	0,142	0,140	0,075	0,140	0,126	0,162	0,125	0,106	0,132	0,208	0,106	0,136	0,134
0,139	0,142	0,187	0,299	0,140	0,105	0,243	0,249	0,212	0,176	0,208	0,106	0,136	0,180
0,083	0,024	0,023	0,050	0,070	0,063	0,027	0,042	0,053	0,044	0,035	0,064	0,109	0,053
0,111	0,142	0,140	0,075	0,105	0,126	0,162	0,062	0,106	0,132	0,104	0,106	0,163	0,118
0,007	0,016	0,016	0,030	0,009	0,011	0,020	0,025	0,042	0,015	0,021	0,021	0,009	0,019
0,014	0,016	0,023	0,050	0,017	0,042	0,027	0,025	0,042	0,011	0,017	0,064	0,027	0,029

IV.5.1.4. Calcul de la valeur propre λ_{\max}

Le calcul de la valeur propre λ_{\max} nécessite le passage par les étapes suivantes:

1. On débute par la matrice qui montre la comparaison de jugement et le vecteur de priorité (Tableau IV.16).

Tableau IV.16 : Résultats de la priorisation

													Poids
1	1/3	1/3	1/5	1/2	3	1/4	1/5	1/5	1/3	1/4	4	2	0,034
3	1	2	1/3	3	5	1/3	1/3	1/3	2	1/3	3	3	0,069
3	1/2	1	1/3	2	4	1/3	1/3	1/4	2	1/3	3	2	0,055
5	3	3	1	4	5	2	2	1/2	3	2	5	3	0,143
2	3	1/2	1/4	1	3	1/4	1/4	1/4	1/2	1/3	4	2	0,050
1/3	1/5	1/4	1/5	1/3	1	1/4	1/6	1/5	1/3	1/6	2	1/2	0,020
4	3	3	1/2	4	4	1	1/2	1/3	3	1/2	4	3	0,097
5	3	3	1/2	4	6	2	1	1/2	3	2	5	5	0,134
5	3	4	2	4	5	3	2	1	4	2	5	5	0,180
3	1/2	1/2	1/3	2	3	1/3	1/3	1/4	1	1/3	3	4	0,053
4	3	3	1/2	3	6	2	1/2	1/2	3	1	5	6	0,118
1/4	1/3	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1/3	0,019
1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	2	1/3	1/5	1/5	1/4	1/6	3	1	0,029

2. On utilise le vecteur prioritaire comme facteurs (poids) pour chaque colonne (Tableau IV.17).

Tableau IV.17 : Vecteur priorité comme facteurs

0,034	0,069	0,055	0,143	0,050	0,020	0,097	0,134	0,180	0,053	0,118	0,019	0,029
1	1/3	1/3	1/5	1/2	3	1/4	1/5	1/5	1/3	1/4	4	2
3	1	2	1/3	3	5	1/3	1/3	1/3	2	1/3	3	3
3	1/2	1	1/3	2	4	1/3	1/3	1/4	2	1/3	3	2
5	3	3	1	4	5	2	2	1/2	3	2	5	3
2	3	1/2	1/4	1	3	1/4	1/4	1/4	1/2	1/3	4	2
1/3	1/5	1/4	1/5	1/3	1	1/4	1/6	1/5	1/3	1/6	2	1/2
4	3	3	1/2	4	4	1	1/2	1/3	3	1/2	4	3
5	3	3	1/2	4	6	2	1	1/2	3	2	5	5
5	3	4	2	4	5	3	2	1	4	2	5	5
3	1/2	1/2	1/3	2	3	1/3	1/3	1/4	1	1/3	3	4
4	3	3	1/2	3	6	2	1/2	1/2	3	1	5	6
1/4	1/3	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1/3
1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	2	1/3	1/5	1/5	1/4	1/6	3	1

3. On multiplie chaque valeur dans la première colonne de la matrice de comparaison par le vecteur de priorité (Tableau IV.18).

Tableau IV.18 : *Calcul des colonnes pondérées*

0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,07	0,06
0,10	0,07	0,11	0,05	0,15	0,10	0,03	0,04	0,06	0,11	0,04	0,06	0,09
0,10	0,03	0,06	0,05	0,10	0,08	0,03	0,04	0,05	0,11	0,04	0,06	0,06
0,17	0,21	0,17	0,14	0,20	0,10	0,19	0,27	0,09	0,16	0,24	0,09	0,09
0,07	0,21	0,03	0,04	0,05	0,06	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,07	0,06
0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01
0,13	0,21	0,17	0,07	0,20	0,08	0,10	0,07	0,06	0,16	0,06	0,07	0,09
0,17	0,21	0,17	0,07	0,20	0,12	0,19	0,13	0,09	0,16	0,24	0,09	0,14
0,17	0,21	0,22	0,29	0,20	0,10	0,29	0,27	0,18	0,21	0,24	0,09	0,14
0,10	0,03	0,03	0,05	0,10	0,06	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,12
0,13	0,21	0,17	0,07	0,15	0,12	0,19	0,07	0,09	0,16	0,12	0,09	0,17
0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01
0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01	0,02	0,06	0,03

4. Additionner les valeurs de chaque ligne pour obtenir un ensemble de valeurs appelées somme pondérées comme indiqué dans le Tableau IV.19.

Tableau IV.19 : *Calcul de la somme pondérée*

0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,07	0,06	0,46
0,10	0,07	0,11	0,05	0,15	0,10	0,03	0,04	0,06	0,11	0,04	0,06	0,09	1,01
0,10	0,03	0,06	0,05	0,10	0,08	0,03	0,04	0,05	0,11	0,04	0,06	0,06	0,80
0,17	0,21	0,17	0,14	0,20	0,10	0,19	0,27	0,09	0,16	0,24	0,09	0,09	2,11
0,07	0,21	0,03	0,04	0,05	0,06	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,07	0,06	0,75
0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01	0,28
0,13	0,21	0,17	0,07	0,20	0,08	0,10	0,07	0,06	0,16	0,06	0,07	0,09	1,46
0,17	0,21	0,17	0,07	0,20	0,12	0,19	0,13	0,09	0,16	0,24	0,09	0,14	1,98
0,17	0,21	0,22	0,29	0,20	0,10	0,29	0,27	0,18	0,21	0,24	0,09	0,14	2,61
0,10	0,03	0,03	0,05	0,10	0,06	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,12	0,76
0,13	0,21	0,17	0,07	0,15	0,12	0,19	0,07	0,09	0,16	0,12	0,09	0,17	1,74
0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,26
0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,39

5. Diviser les éléments du vecteur de la somme pondérée par le vecteur de priorité comme indiqué dans le Tableau IV.20.

Tableau IV.20 : Calcul de la valeur propre λ_{max}

Somme pondérée		Vecteur de priorité		Résultat
0,46	/	0,034	=	13,551
1,01		0,069		14,665
0,80		0,055		14,460
2,11		0,143		14,750
0,75		0,050		14,818
0,28		0,020		13,551
1,46		0,097		15,140
1,98		0,134		14,855
2,61		0,180		14,468
0,76		0,053		14,365
1,74		0,118		14,777
0,26		0,019		13,894
0,39		0,029		13,595

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

$$\lambda_{max} = (13,551 + 14,665 + 14,460 + 14,750 + 14,818 + 13,551 + 15,140 + 14,855 + 14,468 + 14,365 + 14,777 + 13,894 + 13,595) / 13 = 14,376$$

IV.5.1.5. Etude de la cohérence des jugements

Pour la vérification de la cohérence des jugements on doit calculer d'abord l'indice de cohérence

(CI). Sa formule est : $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$

Où :

λ_{max} : valeur propre maximale calculée précédemment ;

n : nombre d'éléments à comparer. Dans notre cas n est égale à 13.

La valeur de l'indice de cohérence est : $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{14,376 - 13}{13 - 1} = 0,115$

Ensuite, on calcul le ratio de cohérence (RC). Il est définit par la formule : $CR = \frac{CI}{RI}$

RC est le rapport entre CI et un indice de cohérence aléatoire (RI). L'indice (RI) est présenté dans le tableau IV.21.

Tableau (IV.21) : Echelle aléatoire de SAATY

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cohérence aléatoire (RI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

La valeur du ratio de cohérence est : $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,115}{1,56} = 0,074$

La valeur de CR est inférieure à 0.1. Alors notre matrice de jugement est raisonnablement cohérente.

Les jugements de préférence des différents critères ainsi que leur poids sont représentés dans le tableau IV.22 suivant :

Tableau IV.22 : Poids des critères

													Poids
1	1/3	1/3	1/5	1/2	3	1/4	1/5	1/5	1/3	1/4	4	2	0,034
3	1	2	1/3	3	5	1/3	1/3	1/3	2	1/3	3	3	0,069
3	1/2	1	1/3	2	4	1/3	1/3	1/4	2	1/3	3	2	0,055
5	3	3	1	4	5	2	2	1/2	3	2	5	3	0,143
2	3	1/2	1/4	1	3	1/4	1/4	1/4	1/2	1/3	4	2	0,050
1/3	1/5	1/4	1/5	1/3	1	1/4	1/6	1/5	1/3	1/6	2	1/2	0,020
4	3	3	1/2	4	4	1	1/2	1/3	3	1/2	4	3	0,097
5	3	3	1/2	4	6	2	1	1/2	3	2	5	5	0,134
5	3	4	2	4	5	3	2	1	4	2	5	5	0,180
3	1/2	1/2	1/3	2	3	1/3	1/3	1/4	1	1/3	3	4	0,053
4	3	3	1/2	3	6	2	1/2	1/2	3	1	5	6	0,118
1/4	1/3	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1/3	0,019
1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	2	1/3	1/5	1/5	1/4	1/6	3	1	0,029

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

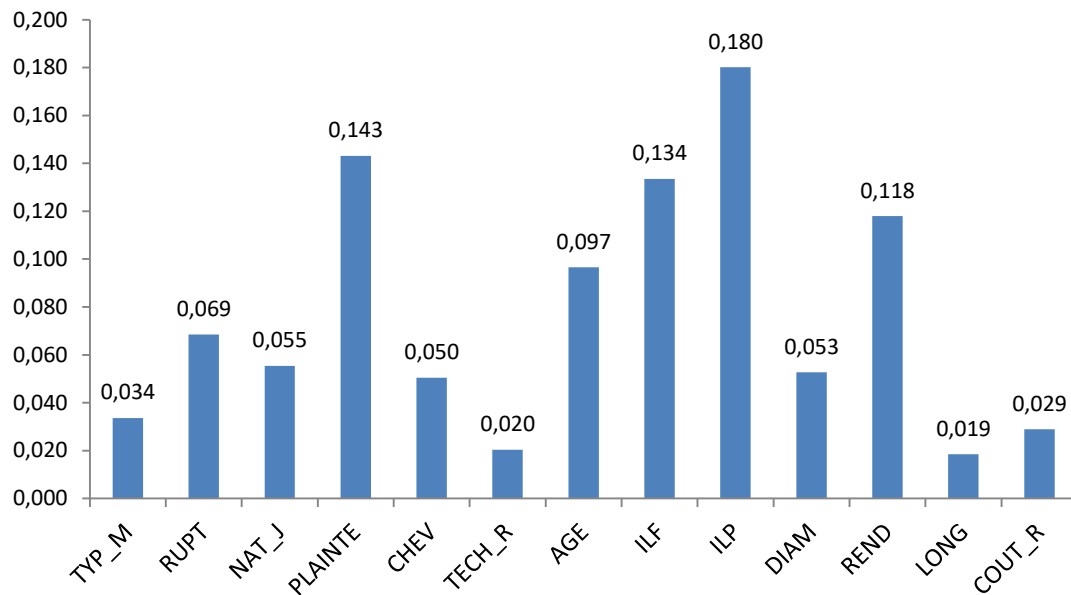


Figure IV.12 : Variation du poids des différents critères

D'après la figure IV.12 on remarque que les poids des quatre premiers critères C9 « Indice linéaire des pertes », C4 « Plaintes des clients », C8 « Indice linéaire des fuites » et C11 « Rendement » ont des poids supérieurs à 0.1. Ces critères sont suivis par les critères C7 « Age », C2 « Rupture », C3 « Nature des joints » et C10 « Diamètre » avec un poids compris entre 0.05 et 0.1. Le reste des critères C5 « Chevauchement », C1 « Matériaux », C13 « Coût de réhabilitation », C6 « Technique de réhabilitation » et C12 « Longueur » ont des poids inférieurs à 0.05.

On peut dire que les critères C9, C4, C8, C11 sont les plus déterminants dans la priorisation des travaux de réhabilitation ; car il présente à eux seul un poids égal à 0.575 sur 1.

IV.5.2. Calcul de l'ordre complet de la priorisation dans la réhabilitation des six tronçons en utilisant PROMETHEE II

Le classement prioritaire dans la réhabilitation des six tronçons ayant les différentes caractéristiques (Tableau IV.23) est obtenu en suivant les étapes suivantes :

- Choix de la fonction de préférence et seuil d'indifférence et de préférence ;
- Calcul des différences et des préférences des critères les uns aux autres par rapport aux 13 critères ;
- Calcul de l'indice de préférence, flux positif, flux négatif, et flux net :
 - Classement décroissant des valeurs de flux net ;
 - Classement des tronçons en suivant l'ordre décroissant des valeurs de flux net.

Tableau IV.23 : Synthèses des différentes données des six tronçons

Critères	Unité	Max/Min	Wi	Pi	T38	T37	T51	T39	T56	T68
MAT	--	Max	0,033	Usuel	FG	FG	FG	FG	FG	FG
RUPT	--	Max	0,072	Usuel	PAS_RUP	PAS_RUP	RUP	PAS_RUP	RUP	PAS_RUP
NAT_J	--	Max	0,064	Usuel	J_DEF	J_DEF	J_DEF	J_NON_DEF	J_NON_DEF	J_DEF
PLAINTE	--	Max	0,147	Usuel	REC	REC	REC	PAS_REC	REC	REC
CHEV	--	Max	0,041	Usuel	oui	oui	oui	oui	oui	oui
TECH	--	Max	0,020	Usuel	REM	REM	REM	REM	REM	REM
AGE	Année	Max	0,099	Usuel	68	68	68	68	68	68
ILF	f/km/an	Max	0,135	Usuel	0,015	0,045	0,019	0	0,022	0,036
ILP	m ³ /j/Km	Max	0,180	Usuel	479,14	678,713	33,675	697,959	146,784	17,018
DIAM	mm	Max	0,051	Usuel	300	300	80	300	200	80
REND	%	Min	0,117	Usuel	0,61	0,62	0,65	0,48	0,42	0,55
LONG	ml	Max	0,017	Usuel	66,59	43,99	53,88	57,33	45,52	54,83
COUT	DA	Min	0,029	Usuel	341958.94	221341.02	276458.02	291921.55	215258.92	261103.83

IV.5.2.1. Choix de la fonction de préférence et seuil d'indifférence et de préférence

La fonction de préférence choisie est la fonction usuelle de type I. Le choix est motivé par la simplicité de la fonction et sa facilité d'application.

La fonction usuelle de type I est la fonction à retenir pour tous les critères. Quant au seuil de préférence, on conclut, par exemple, que pour le critère «*Indice linéaire des pertes* », une différence supérieure ou inférieure à 0 m³/j/Km peut emmener le décideur à préférer un tronçon à un autre. En effet, une préférence de 1 sera affectée au tronçon en mauvais état et une préférence de 0 sera affectée au tronçon en bon état. Exemple des tronçons T38 et T51 : la préférence en relation avec «*Indice linéaire des pertes* » $\text{Pref}_{\text{ILP}}(\text{T38}, \text{T51}) = 479,14 - 33,675 = 445,465$. Avec cette valeur, la préférence affectée pour $\text{Pref}_{\text{ILP}}(\text{T38}, \text{T51})$ est 1 et la préférence

affecté pour $Pref_{ILP}$ (T51, T38) est de 0. Tandis que toute différence égale à 0 m³/j/Km signifie une indifférence entre les deux critères. Dans ce cas une affectation de 0 pour les deux tronçons.

IV.5.2.2. Calcul des différences et des préférences des critères les uns aux autres par rapport aux 13 critères

La synthèse des différences et préférences des différents critères sont présentés dans le Tableau IV.24 et le Tableau IV.25.

Tableau IV.24 : Synthèse des différences des critères.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
T38 - T38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T38- T37	0	0	0	0	0	0	0	-0,0304	-199,57	0	-0,01	22,60	120617,92
T38- T51	0	-1	0	0	0	0	0	-0,0035	445,47	220	-0,04	12,71	65500,92
T38- T39	0	0	1	-1	0	0	0	0,0150	-218,82	0	0,13	9,26	50037,39
T38- T56	0	-1	1	0	0	0	0	-0,0070	332,36	100	0,19	21,07	126700,03
T38- T68	0	0	0	0	0	0	0	-0,0215	462,12	220	0,06	11,76	80855,11
T37- T51	0	-1	0	0	0	0	0	0,0269	645,04	220	-0,03	-9,89	-55117,00
T37- T39	0	0	1	-1	0	0	0	0,0455	-19,248	0	0,14	-13,34	-70580,53
T37- T56	0	-1	1	0	0	0	0	0,0235	531,93	100	0,20	-1,53	6082,1062
T37- T68	0	0	0	0	0	0	0	0,0090	661,70	220	0,07	-10,84	-39762,81
T51- T39	0	1	1	-1	0	0	0	0,0186	-664,28	-220	0,17	-3,45	-15463,53
T51- T56	0	0	1	0	0	0	0	-0,0034	-113,11	-120	0,23	8,36	61199,11
T51- T68	0	1	0	0	0	0	0	-0,0179	16,66	0	0,10	-0,95	15354,19
T39- T56	0	-1	0	1	0	0	0	-0,0220	551,17	100	0,06	11,81	76662,63
T39- T68	0	0	-1	1	0	0	0	-0,0365	680,94	220	-0,07	2,50	30817,72
T56- T68	0	1	-1	0	0	0	0	-0,0145	129,77	120	-0,13	-9,31	-45844,92

Tableau IV.25 : Synthèse des préférences des critères.

C1	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	0	0	0
T37	0	-	0	0	0	0
T51	0	0	-	0	0	0
T39	0	0	0	-	0	0
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	0	0	-

C2	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	0	0	0
T37	0	-	0	0	0	0
T51	1	1	-	1	0	1
T39	0	0	0	-	0	0
T56	1	1	0	1	-	1
T68	0	0	0	0	0	-

C3	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	1	1	0
T37	0	-	0	1	1	0
T51	0	0	-	1	1	0
T39	0	0	0	-	0	0
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	1	1	-

C4	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	0	0	0
T37	0	-	0	0	0	0
T51	0	0	-	0	0	0
T39	1	1	1	-	1	1
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	0	1	-

C5	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	0	0	0
T37	0	-	0	0	0	0
T51	0	0	-	0	0	0
T39	0	0	0	-	0	0
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	0	0	-

C6	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	0	0	0
T37	0	-	0	0	0	0
T51	0	0	-	0	0	0
T39	0	0	0	-	0	0
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	0	0	-

C7	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	0	0	0
T37	0	-	0	0	0	0
T51	0	0	-	0	0	0
T39	0	0	0	-	0	0
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	0	0	-

C8	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	1	0	0
T37	1	-	1	1	1	1
T51	1	0	-	1	0	0
T39	0	0	0	-	0	0
T56	1	0	1	1	-	0
T68	1	0	1	1	1	-

C9	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	1	0	1	1
T37	1	-	1	0	1	1
T51	0	0	-	0	0	1
T39	1	1	1	-	1	1
T56	0	0	1	0	-	1
T68	0	0	0	0	0	-

C10	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	1	0	1	1
T37	0	-	1	0	1	1
T51	0	0	-	0	0	0
T39	0	0	1	-	1	1
T56	0	0	1	0	-	1
T68	0	0	0	0	0	-

C11	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	0	0	1	1	1
T37	1	-	0	1	1	1
T51	1	1	-	1	1	1
T39	0	0	0	-	1	0
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	0	0	1	1	-

C12	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	1	1	1	1	1
T37	0	-	0	0	0	0
T51	0	1	-	0	1	0
T39	0	1	1	-	1	1
T56	0	1	0	0	-	0
T68	0	1	1	0	1	-

C13	T38	T37	T51	T39	T56	T68
T38	-	1	1	1	1	1
T37	0	-	0	0	1	0
T51	0	1	-	0	1	1
T39	0	1	1	-	1	1
T56	0	0	0	0	-	0
T68	0	1	0	0	1	-

IV.5.2.3. Calcul de l'indice de préférence, flux positif, négatif, et net

Les indices de préférence, flux positif, négatif, et net sont obtenus en utilisant les équations décrites dans la partie II chapitre III. Exemple de calcul des tronçons T38 et T51 :

L'indice de préférence :

$$\pi(T38, T51) = \sum_{i=1}^{13} P_i(T38, T51) * W_i = 0.28$$

Le flux positif :

$$\Phi^+(T38) = 1/12 \sum_{x \in A} (T38, X) = 1/12 [\Pi(T38, T37) + \Pi(T38, T51) + \dots + \Pi(T38, T68)] = 0.13$$

Le flux négatif :

$$\Phi^-(T38) = 1/12 \sum_{x \in A} (X, T38) = 1/12 [\Pi(T37, T38) + \Pi(T51, T38) + \dots + \Pi(T68, T38)] = 0.12$$

Le flux net :

$$\Phi(T38) = \Phi^+(T38) - \Phi^-(T38) = 0.13 - 0.12 = 0.01$$

Les différentes valeurs calculées de l'indice de préférence, le flux positifs, négatifs, net ainsi que le classement des tronçons sont représentées dans le Tableau IV.26 suivant.

Tableau IV.26 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final.

π	T38	T37	T51	T39	T56	T68	Phi+	Phi	Ordre
T38	-	0,05	0,28	0,35	0,45	0,40	0,13	0,0103	4
T37	0,43	-	0,37	0,31	0,57	0,48	0,18	0,1189	1
T51	0,32	0,23	-	0,38	0,22	0,40	0,13	0,0202	3
T39	0,32	0,37	0,42	-	0,54	0,42	0,17	0,0713	2
T56	0,20	0,09	0,37	0,20	-	0,30	0,10	-0,0563	5
T68	0,13	0,05	0,15	0,31	0,50	-	0,05	-0,0801	6
Phi -	0,12	0,06	0,11	0,10	0,15	0,13			

La variation des valeurs de flux positif, négatif et net est représentée dans la figure IV.13 suivante :

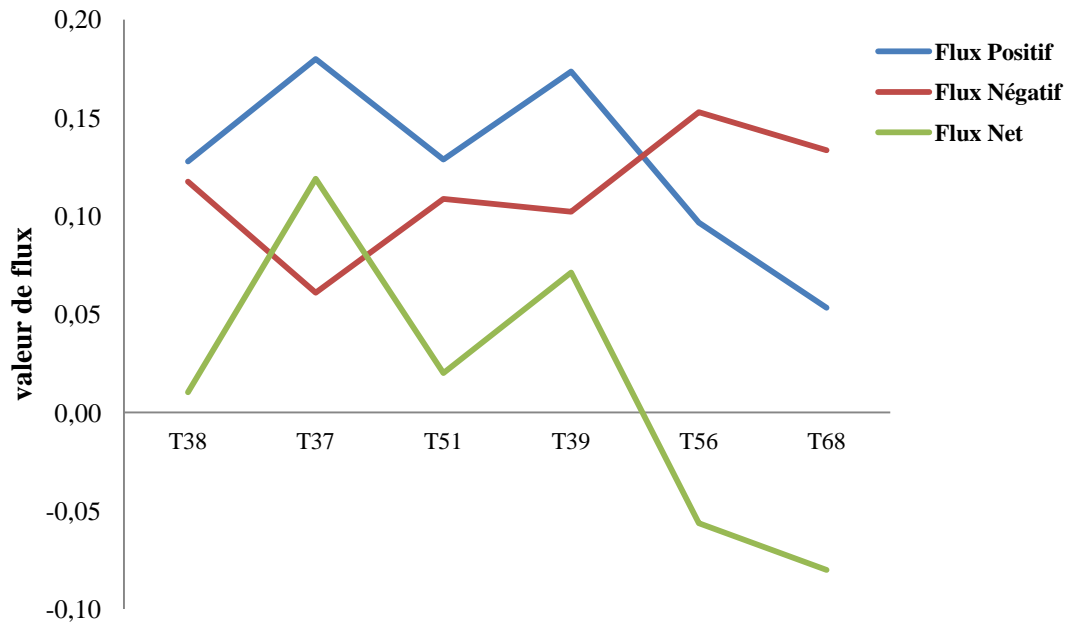


Figure IV.13: Variation des différentes valeurs de flux.

Les variations dans le flux positif et le flux net suivent le même mouvement. Par contre, les variations dans le flux positif et le flux négatif se font dans des sens opposés.

Le classement final prioritaire dans la réhabilitation des six tronçons suit l'arrangement décroissant des valeurs de flux net (Figure IV.14). Cet arrangement permet de classer les différents tronçons du plus urgent au moins urgent.

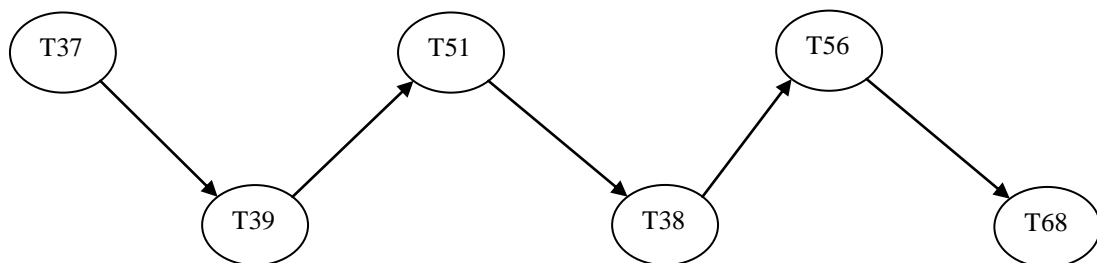


Figure IV.14: Ordre complet des six tronçons en utilisant AHP-PROMETHEE II

IV.5.3. Discussion des résultats

IV.5.3. 1. Cas de l'exemple du quartier qui comporte six tronçons

Les résultats obtenus par la méthode AHP-PROMETHEE II récapitulés dans le tableau IV.26 place le tronçon T37 en première position. Ce tronçon est le plus prioritaire à une réhabilitation comparativement aux autres tronçons. Dans ce cas, on note que T37 présente un flux positif = 0.18, un flux négatif = 0.06 et un flux net = 0.1189.

On constate que le tronçon T37 présente plusieurs critères en situation critique en particulier les quatre premiers critères les plus déterminants. En effet, le C9 est très important, il est de l'ordre de 678.713 (m³/j/Km) ; au niveau du C4 on enregistre plusieurs réclamations ; le C8 est très important de l'ordre de 0.045 (f/km/an) ; le C11 est très important de l'ordre 62 %. A cela

s'ajoute les autres critères exemples le C3 qui présente des joints défectueux ; le C5 qui présente des chevauchements ; le C7 qui caractérise l'âge de la conduite.

IV.5.3.2. Cas du réseau du secteur Fouka

Dans ce cas, le calcul de l'ordre complet de la priorisation dans la réhabilitation du réseau Fouka a été réalisé en utilisant la même méthode que précédemment à savoir AHP-PROMETHEE II.

En effet, en appliquant la méthode AHP-PROMETHEE II sur l'ensemble des tronçons qui compose le réseau de Fouka, on a obtenu les résultats récapitulés dans le tableau IV.27 suivant.

Tableau IV.27 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouk

Tronçon	Code	Flux négatif	Flux positif	Flux net	Classement
Tuyau A21	58	1.0502	11.4125	10.3623	1
Tuyau A4	37	1.2291	11.2298	10.0008	2
Tuyau A9	56	2.1188	11.3762	9.2573	3
Tuyau A5	38	1.6877	10.7189	9.0313	4
Tuyau A58	41	1.4386	9.9563	8.5177	5
Tuyau A8	68	2.4393	9.9783	7.5391	6
Tuyau A11	51	3.3630	10.6533	7.2903	7
Tuyau A23	53	2.3303	9.4082	7.0778	8
Tuyau A31	55	3.1703	10.1939	7.0236	9
Tuyau A22	75	2.8534	9.5447	6.6912	10
Tuyau A74	177	2.3291	8.9253	6.5962	11
Tuyau A32	54	2.5671	9.1592	6.5921	12
Tuyau A14	71	2.9274	9.4538	6.5263	13
Tuyau A175	7	3.1618	9.2669	6.1052	14
Tuyau A29	160	2.7764	8.7153	5.9388	15
Tuyau A39	49	3.8722	9.6712	5.7990	16
Tuyau A172	16	2.9293	8.6699	5.7406	17
Tuyau A96	115	3.9485	9.6766	5.7281	18
Tuyau A71	110	3.1407	8.6364	5.4958	19
Tuyau A70	45	2.6817	8.1096	5.4279	20
Tuyau A88	120	3.3059	8.6759	5.3700	21
Tuyau A19	61	3.0058	8.3284	5.3227	22
Tuyau A98	46	3.8873	9.1764	5.2892	23
Tuyau A111	140	4.1689	9.4173	5.2483	24
Tuyau A48	96	3.3046	8.4323	5.1277	25
Tuyau A46	95	3.4427	8.3118	4.8691	26
Tuyau A64	113	3.5899	8.3902	4.8002	27
Tuyau A41	50	5.1754	9.9318	4.7563	28
Tuyau A28	159	3.0373	7.6210	4.5838	29
Tuyau A87	119	3.7314	8.2903	4.5588	30
Tuyau A67	109	3.9735	8.4827	4.5092	31
Tuyau A138	154	4.6937	9.0027	4.3090	32

Tableau IV.27 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouka (Suite)

Tronçon	Code	Flux négatif	Flux positif	Flux net	Classement
Tuyau A114	132	3.8065	8.0153	4.2088	33
Tuyau A176	8	4.6673	8.8303	4.1630	34
Tuyau A68	43	2.7779	6.9271	4.1492	35
Tuyau A104	135	4.1813	8.2074	4.0262	36
Tuyau A65	176	3.7071	7.7123	4.0052	37
Tuyau A94	152	4.7026	8.7016	3.9990	38
Tuyau A6	39	2.8905	6.8628	3.9723	39
Tuyau A72	111	3.5958	7.5511	3.9553	40
Tuyau A69	44	3.7603	7.6487	3.8885	41
Tuyau A24	76	4.2677	8.1057	3.8380	42
Tuyau A103	203	4.4995	8.2721	3.7726	43
Tuyau A66	187	3.9205	7.5869	3.6664	44
Tuyau A59	42	3.0850	6.6683	3.5833	45
Tuyau A122	170	4.2275	7.7289	3.5014	46
Tuyau A173	13	4.0985	7.5167	3.4182	47
Tuyau A15	57	3.2063	6.5532	3.3468	48
Tuyau A60	107	4.5656	7.8783	3.3127	49
Tuyau A36	65	3.1542	6.3731	3.2189	50
Tuyau A84	116	4.9627	8.1592	3.1965	51
Tuyau A194	174	3.7907	6.9343	3.1436	52
Tuyau A113	139	4.4562	7.3588	2.9027	53
Tuyau A73	188	4.3836	7.1020	2.7184	54
Tuyau A97	141	4.8313	7.4837	2.6524	55
Tuyau A93	191	4.5332	7.1315	2.5983	56
Tuyau A3	36	4.1628	6.5599	2.3971	57
Tuyau A185	27	3.5992	5.8606	2.2614	58
Tuyau A171	17	3.6238	5.8360	2.2122	59
Tuyau A105	153	4.2382	6.4218	2.1837	60
Tuyau A101	48	3.7468	5.9184	2.1716	61
Tuyau A170	18	3.6679	5.8113	2.1434	62
Tuyau A37	80	4.9043	6.9981	2.0938	63
Tuyau A62	106	4.4135	6.3663	1.9528	64
Tuyau A110	134	4.9417	6.8801	1.9384	65
Tuyau A57	40	3.4187	5.2431	1.8244	66
Tuyau A118	130	3.5513	5.2087	1.6574	67
Tuyau A178	12	3.9208	5.5135	1.5928	68
Tuyau A120	128	3.5799	5.1620	1.5821	69
Tuyau A40	66	4.0396	5.4487	1.4091	70
Tuyau A132	193	5.2957	6.6558	1.3602	71
Tuyau A83	117	4.9370	6.2068	1.2698	72

Tableau IV.27 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouka (Suite)

Tronçon	Code	Flux négatif	Flux positif	Flux net	Classement
Tuyau A17	52	4.2294	5.4592	1.2298	73
Tuyau A168	19	4.1437	5.3356	1.1919	74
Tuyau A183	11	4.1307	5.3133	1.1827	75
Tuyau A117	137	4.8002	5.9676	1.1674	76
Tuyau A123	126	5.7005	6.8217	1.1212	77
Tuyau A163	165	4.7540	5.8236	1.0696	78
Tuyau A99	47	3.8193	4.8728	1.0536	79
Tuyau A165	184	4.8414	5.7038	0.8624	80
Tuyau A164	183	4.9228	5.6751	0.7523	81
Tuyau A190	26	4.0993	4.7899	0.6907	82
Tuyau A201	32	4.4495	5.0353	0.5857	83
Tuyau A30	64	4.4774	5.0131	0.5357	84
Tuyau A182	14	6.0528	6.4302	0.3773	85
Tuyau A56	103	6.5122	6.8722	0.3600	86
Tuyau A191	33	4.5452	4.9048	0.3597	87
Tuyau A192	34	4.5663	4.8921	0.3258	88
Tuyau A150	185	5.1360	5.4421	0.3061	89
Tuyau A154	144	4.7987	5.0815	0.2828	90
Tuyau A157	87	4.2210	4.4673	0.2463	91
Tuyau A155	151	6.4488	6.6716	0.2228	92
Tuyau A1	158	4.8052	4.9989	0.1937	93
Tuyau A151	167	5.6184	5.7808	0.1624	94
Tuyau A188	24	4.6752	4.8041	0.1289	95
Tuyau A12	70	4.7883	4.8808	0.0925	96
Tuyau A76	150	4.6138	4.6955	0.0817	97
Tuyau A75	112	5.9786	6.0281	0.0495	98
Tuyau A127	169	4.6471	4.6579	0.0108	99
Tuyau A25	62	4.8405	4.7858	-0.0547	100
Tuyau A152	166	5.3548	5.2113	-0.1434	101
Tuyau A16	72	4.9033	4.7486	-0.1547	102
Tuyau A181	10	4.8070	4.6370	-0.1700	103
Tuyau A45	101	6.1056	5.9013	-0.2043	104
Tuyau A34	78	6.9675	6.5902	-0.3773	105
Tuyau A166	20	5.2292	4.7916	-0.4376	106
Tuyau A100	142	6.5558	6.0725	-0.4833	107
Tuyau A131	194	6.6598	6.0835	-0.5763	108
Tuyau A7	59	5.1372	4.5264	-0.6107	109
Tuyau A26	63	5.8641	5.2319	-0.6322	110
Tuyau A86	118	5.2211	4.5749	-0.6462	111
Tuyau A141	90	4.5618	3.9012	-0.6607	112

Tableau IV.27 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouka (Suite)

Tronçon	Code	Flux négatif	Flux positif	Flux net	Classement
Tuyau A47	102	6.3526	5.6325	-0.7201	113
Tuyau A116	131	5.2299	4.4888	-0.7412	114
Tuyau A129	197	6.0108	5.2403	-0.7705	115
Tuyau A35	79	5.3770	4.6033	-0.7737	116
Tuyau A77	114	5.0410	4.2426	-0.7984	117
Tuyau A63	186	4.7019	3.8610	-0.8409	118
Tuyau A200	157	5.0828	4.1842	-0.8986	119
Tuyau A130	196	7.0835	5.9464	-1.1371	120
Tuyau A134	198	6.8974	5.6992	-1.1983	121
Tuyau A125	143	5.5423	4.3043	-1.2381	122
Tuyau A33	77	4.9703	3.6578	-1.3126	123
Tuyau A137	201	6.5725	5.1846	-1.3879	124
Tuyau A42	161	6.5827	5.0468	-1.5358	125
Tuyau A58	94	5.2983	3.7192	-1.5791	126
Tuyau A203	30	5.5220	3.9378	-1.5843	127
Tuyau A177	9	5.5100	3.9243	-1.5858	128
Tuyau A193	35	5.8190	4.2310	-1.5880	129
Tuyau A44	172	6.4113	4.8124	-1.5988	130
Tuyau A112	133	5.7122	4.0131	-1.6991	131
Tuyau A102	136	5.1728	3.3670	-1.8058	132
Tuyau A144	162	5.2044	3.3575	-1.8469	133
Tuyau A139	155	5.3398	3.2387	-2.1012	134
Tuyau A156	163	5.3251	3.1979	-2.1272	135
Tuyau A50	98	6.3376	4.2069	-2.1307	136
Tuyau A147	168	5.8864	3.6940	-2.1924	137
Tuyau A161	83	5.3357	3.1351	-2.2006	138
Tuyau A91	190	6.1141	3.8888	-2.2252	139
Tuyau A159	82	6.0926	3.8573	-2.2353	140
Tuyau A10	69	6.6251	4.3137	-2.3114	141
Tuyau A158	88	5.4146	3.0527	-2.3619	142
Tuyau A135	199	7.0653	4.6880	-2.3773	143
Tuyau A197	3	6.2730	3.7650	-2.5080	144
Tuyau A146	92	6.0417	3.4577	-2.5840	145
Tuyau A142	89	5.5409	2.9221	-2.6188	146
Tuyau A13	60	6.4145	3.7808	-2.6338	147
Tuyau A106	204	6.2624	3.5488	-2.7136	148
Tuyau A196	2	6.3623	3.6269	-2.7354	149
Tuyau A187	29	6.1257	3.3270	-2.7988	150
Tuyau A189	25	6.1367	3.2938	-2.8430	151
Tuyau A202	31	6.8015	3.7953	-3.0063	152

Tableau IV.27 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouka(Suite)

Tronçon	Code	Flux négatif	Flux positif	Flux net	Classement
Tuyau A162	164	5.8076	2.7154	-3.0922	153
Tuyau A127	125	6.4582	3.3296	-3.1286	154
Tuyau A2	6	6.9290	3.7597	-3.1693	155
Tuyau A52	99	6.1827	2.9956	-3.1871	156
Tuyau A160	84	5.8624	2.5978	-3.2647	157
Tuyau A85	123	6.0563	2.7111	-3.3453	158
Tuyau A184	23	6.4402	3.0488	-3.3913	159
Tuyau A49	97	6.2395	2.8051	-3.4344	160
Tuyau A78	147	6.4075	2.9725	-3.4350	161
Tuyau A128	121	6.3871	2.9011	-3.4860	162
Tuyau A153	85	6.0764	2.3866	-3.6898	163
Tuyau A89	124	6.8052	3.0845	-3.7207	164
Tuyau A115	138	6.7849	3.0221	-3.7628	165
Tuyau A82	189	6.3782	2.4152	-3.9630	166
Tuyau A149	182	6.7769	2.8001	-3.9768	167
Tuyau A174	175	6.9019	2.8842	-4.0178	168
Tuyau A27	67	7.5328	3.4798	-4.0530	169
Tuyau A186	28	7.1708	3.0477	-4.1232	170
Tuyau A38	81	6.9888	2.7883	-4.2005	171
Tuyau A107	180	7.2062	3.0055	-4.2007	172
Tuyau A61	108	7.0041	2.7325	-4.2716	173
Tuyau A145	86	6.3983	2.0647	-4.3337	174
Tuyau A95	178	6.9638	2.6088	-4.3551	175
Tuyau A133	171	7.1733	2.6698	-4.5035	176
Tuyau A199	5	7.2372	2.7228	-4.5143	177
Tuyau A18	73	6.6005	1.9988	-4.6017	178
Tuyau A43	173	7.4702	2.8482	-4.6220	179
Tuyau A180	15	7.7341	3.0391	-4.6950	180
Tuyau A198	4	7.5226	2.7292	-4.7934	181
Tuyau A20	74	7.3655	2.4524	-4.9131	182
Tuyau A54	100	7.1127	2.0536	-5.0591	183
Tuyau A167	21	7.7514	2.5378	-5.2136	184
Tuyau A179	156	7.5574	2.2790	-5.2784	185
Tuyau A140	91	7.3504	1.8988	-5.4516	186
Tuyau A126	195	8.4749	2.9836	-5.4913	187
Tuyau A143	145	7.3339	1.7663	-5.5676	188
Tuyau A80	149	7.4996	1.8892	-5.6104	189
Tuyau A169	22	8.0326	2.1732	-5.8594	190
Tuyau A108	181	7.6040	1.7423	-5.8617	191
Tuyau A92	192	7.8746	1.9973	-5.8773	192

Tableau IV.27 : Synthèse de l'indice de préférence, flux positif, négatif, net et ordre final des tronçons du secteur Fouka (Suite et fin).

Tronçon	Code	Flux négatif	Flux positif	Flux net	Classement
Tuyau A90	122	7.8883	1.9716	-5.9168	193
Tuyau A148	93	7.6348	1.6001	-6.0348	194
Tuyau A55	146	7.6503	1.5742	-6.0762	195
Tuyau A136	200	7.9043	1.7578	-6.1465	196
Tuyau A119	129	8.6300	2.4239	-6.2061	197
Tuyau A79	148	7.8531	1.5059	-6.3472	198
Tuyau A51	104	7.8750	1.4726	-6.4024	199
Tuyau A81	179	8.1185	1.2875	-6.8310	200
Tuyau A53	105	9.2878	2.4489	-6.8389	201
Tuyau A195	1	8.8247	1.9657	-6.8591	202
Tuyau A121	202	8.7132	1.0168	-7.6963	203
Tuyau A124	127	8.9753	0.9263	-8.0489	204

Le nombre total de tronçons est de 204. Ces tronçons totalisent une longueur de 18359.28 ml. Leur diamètre varie de 40 mm à 350 mm. Ces données si importantes est une preuve de l'importance de la priorisation de la réhabilitation des conduites car les entreprises doivent avoir une stratégie bien étudiés afin de réhabiliter efficacement les tronçons de leur réseau. D'où l'intérêt de cette démarche méthodologique qui se base sur l'identification d'un ensemble de critères bien définis. Ces critères ayant chacun un poids différents de l'autre permet par la suite d'établir un ordre de priorisation afin de réhabiliter les tronçons.

Dans le cas du réseau du secteur Fouka : on va comparer les tronçons classés en première position puis ceux classés en dernières position.

- Si on compare le numéro 1 avec le numéro 2, on remarque beaucoup de similitude concernant les critères C1 - C7. La différence est dans les critères C8-C13 (Annexe 02).
- Si on compare le numéro 203 avec le numéro 204, on remarque beaucoup de similitude concernant les critères C1 – C5, C7, C8, C11. La différence est dans les critères C6-C9, C10 et C13 (Annexe 02).

IV.6. Conclusion

La collecte des données a nécessité beaucoup de temps et la collaboration des gestionnaires de l'Algérienne des eaux (ADE) était cruciale. Cette collecte a permis d'analyser la situation des réseaux qui alimentent en eau potable la ville de Bejaia.

Le système d'alimentation en eau potable de la ville de Bejaia a connu des améliorations dans le temps. Actuellement, Bejaia est alimentée par deux conduites d'adduction. La plus ancienne achemine l'eau du coté ouest. La nouvelle achemine l'eau à partir du barrage Tichi Haf conçu pour renforcer l'alimentation en eau potable la ville de Bejaia.

Concernant les chaînes de refoulement, il existe trois. Ces trois chaînes englobent 21 secteurs. Chaque secteur de distribution d'eau est alimenté par des réservoirs et l'eau est acheminée par des conduites de diamètres et de matériaux différents.

Par la suite, la collecte de données a permis l'entame de la présentation de site d'étude qui est le secteur de distribution de Fouka. Le choix est motivé en particulier par des considérations historiques. En fait, Fouka est l'ancienne ville de Bejaia ; dire ancienne ville veut dire que son réseau est aussi ancien exemple des conduites en Fontes qui sont celles construites lors de l'époque coloniale française. Donc, probablement le réseau de Fouka est le plus appelé à être en charge dans le cadre d'une réhabilitation du réseau de la ville de Bejaia.

La collecte de données en relation avec le secteur de distribution de Fouka fait ressortir qu'il est composée de 18.2 Km de conduite de distribution soit presque 7 % des conduites de la ville de Bejaia. La nature des conduites de distribution varie d'un matériau à un autre et le matériau dominant est la fonte poursuivi par l'acier, par contre le PEHD représente le pourcentage le plus faible.

Concernant l'application de la méthode AHP-PROMETHEE II, on a effectué deux applications. La première application est réalisée sur un quartier qui comporte 6 tronçons uniquement. Ce choix a pour but d'expliquer la méthode et les étapes nécessaires à suivre afin de réussir l'application. Par la suite, on a effectué une application de la méthode sur le secteur Fouka qui est composé de 204 tronçons.

Conclusion générale

Conclusion générale

La gestion du service d'eau potable en Algérie fait face à différentes contraintes et la gestion des réseaux urbains est difficile et mal maîtrisée. Les spécialistes sont unanimes à dire que la gestion de l'eau en Algérie est complexe et la ressource en eau est rare. Alors, il est important de travailler l'économie de l'eau. A cet effet, les gestionnaires des services d'eau potable doivent relever le défi ceci en trouvant des solutions aux problèmes posés.

Parmi les solutions qui contribuent à l'économie de l'eau il y a la réhabilitation des réseaux. Mais ceci n'est pas une mince affaire. Elle demande beaucoup de temps et de moyens car le réseau est un ensemble de conduites sur des distances qui s'évaluent en kilomètres. Leur réhabilitation doit se faire selon une stratégie bien étudiée. C'est dans cette optique que l'on a proposé une démarche qui permet une priorisation de la réhabilitation des conduites d'un réseau de distribution d'eau.

La démarche adoptée pour traiter la problématique dans ce mémoire a permis, dans la première partie, de réaliser une synthèse bibliographique qui se rapporte sur un ensemble d'informations sur les réseaux d'eau potable et sur les méthodes d'aide à la décision multicritère les plus utilisées dans le domaine d'aide à la décision.

Dans la deuxième partie, on a exposé la méthode développée afin de prioriser la réhabilitation des conduites d'un réseau d'alimentation en eau potable. La méthode proposée est composée de deux phases. La phase de sélection et la phase de décision. La première phase a permis la collecte d'un maximum de données en relation avec les caractéristiques du réseau de la ville de Bejaia. Ce qui a permis, par la suite, l'identification des critères à prendre en considération dans la problématique de la réhabilitation. Cette phase a vu la collaboration des gestionnaires du service d'eau potable de la ville de Bejaia.

La deuxième phase a permis de choisir la méthode qui permet de calculer le poids des différents critères sélectionnés. Le choix s'est porté sur la méthode AHP. Par la suite, on a choisi la méthode qui va établir les différentes préférences entre les tronçons à réhabiliter par rapport aux différents critères sélectionnés. Le choix s'est porté sur la méthode PROMETHEE II.

Dans la troisième partie, une application de la méthode est effectuée sur une partie du réseau de distribution d'eau potable de la ville de Bejaia. Il s'agit du secteur Fouka appartenant à l'ancienne ville de Bejaia. Cette application a nécessité la collecte de plusieurs données de nature différentes. Concernant l'application de la méthode AHP-PROMETHEE II, on a effectué deux applications. La première application est réalisée sur un quartier qui comporte 6 tronçons. L'objectif de cette application est l'explication de la méthode et les étapes nécessaires à suivre afin de le réussir. Par la suite, on a effectué une application de la méthode sur le secteur de Fouka qui comporte 204 tronçons.

Notre objectif, à savoir la proposition d'une méthode de priorisation de réhabilitation des conduites d'un réseau de distribution d'eau potable, est atteint. L'exploitation de l'outil permettra aux gestionnaires de mieux gérer la réhabilitation en commençant par les conduites les plus urgentes aux moins urgentes.

Bibliographie

Bibliographie

ABBOUYENE, A., & HENAOU, F. (2013). *Un nouveau visage de l'architecture hospitaliere humanisation de l'espace hospitaliere*. Mémoire, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen.

ABDELBAKI, C. (2014, Décembre 11). Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG -Cas de groupement Urbain de Tlemcen. TLEMEN, Université de Tlemcen, Algérie.

Agence de l'eau. (s.d.). *L'alimentation en potable (3)*. Loire-Bretagne.

Agence de l'eau Rhone- Méditerranée Corse. (2017). *Renouvellement et réduction des fuites des canalisations d'eau potable*. observatoire des couts. LYON: Allée de Lodz.

Agence nationale des barrages et transfert (ANBT). (s.d.). *Le géoportail des barrages d'Algérie*.

AISSANOU, F. (2014, Mai 28). *Décisions multicritères dans les réseaux du Sud de PARIS*, Ecole Doctorale Institut National des Télécommunications, FRANCE.

AJUSTE, C., BERLAND, J.-M., & CELERIER, J.-L. (2004, Octobre). *Réhabilitation/remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale*. Direction générale de la foret et des affaires rurales.

APC de Béjaia. (2017). *Béjaia et le toponyme officiel de wilaya Béjaia*. Béjaia: Direction de la culture de la wilaya de Béjaia.

AYADI, D. (2012, Octobre 4). *OPTIMISATION MULTICRITERE DE LA FIABILITE :APPLICATION DU MODELE DE GOAL PROGRAMMINGAVEC LES FONCTIONS DE SATISFACTIONS DANS L'INDUSTRIE DE TRAITEMENT DE GAZ*. ANGERS, A l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers, FRANCE. Récupéré sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00738462>.

AZZI, L. (2016). *Modelisation d'un réseau d'AEP et contribution a sa gestion à l'aide d'un sytème d'nformation géographique.Etude de la rive gauche de la ville SIDI AICHE*. Mémoire de Magister, Université Khider-Biskra, Hydraulique urbaine et ouvrage, Biskra.

BENZERRA, A. (2012). *Décision support for sustainable urbain drainage system management : A case stady of Jijel*. *Journal of Enveronmental Management* , 101, 46-53.

BLINDU, I. (2004, Mai 12). *Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de CHISINAU par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques*. l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet, FRANCE.

BOUKHARI, S. (2017). *La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algerie*. ANNABA, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, Algerie.

BOUKHARI, S. (2017). Application of the AHP to Sustainability of water supply and sanitation service. *Water service & Technology : water supply* , 1-12.

BOUZAROUR-AMOKRANE, Y. (2013, Décembre 03). Structuration des processus d'aide à la décision par Analyse Bipolaire. Toulouse, université de Toulouse, FRANCE.

BRANS, J. P., & VINCKE, P. (1985). A Preference Ranking organisation method: (PROMETHEE Method for Multiple Criteria Décision-Making). *Management Science* , 31 (6), 647-656.

Bureau d'études industrielles BEIERE. (2012). *Présentation du réservoir*. Projet d'étude, Energies renouvelables et environnement.

CAMARA, E., CISSE, A. D., DIALLO, M., & DESILLE, D. (2004). *Gide des projets d'alimentation en eau potable*. Mali.

CHABOT, A. (2014). *Villes co Algérie*. Récupéré sur site web: <http://www.villes.co>

COBA. (2009). *Etude de diagnostic et de réhabilitation des systèmes d'alimentation en eau potable des villes Béjaia, Tizi-ouzou et Chlef*. Béjaia.

EMMANUELLE, K. (2016). La selection de projet dans un contexte de développement durable en présence d'incertitude. Rimouski, Université de Québec à Rimouski, Canada .

ENNAOURI, I. (2010). Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale. MONTRÉAL, Génies civil, géologie et des mines, CANADA.

Fascicule 2. (2016). *Guide d'application de réglementation relative aux travaux à proximité des réseaux*. France.

FATOUMATA, B. N. (2009). Analyse multicritère pour la priorisation des interventions en matière d'approvisionnement en eau en milieu rural au Sénégal : cas de la région de Diourbel. SCIENCE ET GÉNIE, QUÉBEC.

FRÄMLING, K. (2015, Mars 15). Modélisation et apprentissage des préférences par réseaux de neurones pour l'aide à la décision multicritère. LYON, L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON, FRANCE.

FUTURA MAISON. (s.d.). Récupéré sur FUTURA: [Futura-sciences.com/maison/définitions/maison-adduction-eau-10491](https://www.futura-sciences.com/maison/définitions/maison-adduction-eau-10491)

FUTURA Planete. (s.d.). *Eau potable : quelles sont les étapes du traitement de l'eau?* Récupéré sur Ftura : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/eau-eau-potable-sont-etapes-traitement-eau>

GÖRENER, A. (2012). Comparing AHP and ANP: An Application of Strategic Decisions Making in a Manufacturing Company. *International Journal of Business and Social Science* , 3 (11), 194-208.

GRAUER, M., LEWANDOWSKI, A., & SCHRATTENHOLZER, L. (1982). *Use of the Reference level Approach for the Generation of Efficient Energy Supply Strategies*. International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria: IIASA Working Papers.

GUEDDOUY, & OUARET. (2002). *Optimisation multicritère pour la gestion d'un réseau d'AEP*. Béjaia.

GUILLERMO, A., & PHIL, M. (1999). *Application de l'analyse multicritère à l'évaluation des critères et indicateurs*. Washington, Etats Unis d'Amérique : Center for International Forestry Research.

Haidar, H. (2006). *Réhabilitation des réseaux d'eau potable : Méthodologie d'analyse multicritère des patrimoines des programmes de réhabilitation*. LYON, Institut National des Sciences Appliquées de LYON, FRANCE.

HAMCHAOU, S. (2017). *Intégration de l'aléa pluviométrique dans le cadre d'une gestion durable du service de l'eau potable*. Thèse de doctorat, Université de Batna 2 Chahid mostafa ben boulaïd, Batna.

HAMCHAOU, S. (2015). Drinking water supply service management sustainable development challenges: case study of Bejaia. *Journal of Water Supply : Research and technology - AQUA*. 64 (8), 937-946.

HAMMAMI, A. (2003). *MODELISATION TECHNICO-ECONOMIQUE*. Saint-Etienne, L'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France.

HYDE, K. (2003). Incorporating Uncertainty in the Promethee MCDA Method. *Journal of Multicriteria decision analysis* , 12, 245-259.

ISHIZAKA & Nemery. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software*. (J. W. Sons, Éd.) New Delhi, India: Aptara Inc.

JEANDIN, T. (2015). *Méthodes de choix des attachements pour la fin de vie des produits*. Mémoire, Université de MONTREAL, MONTREAL.

KELLOU, M. (2017). Evaluation de l'Efficiéce Relative des Universités Algériennes par la méthode DEA. *Revue des études humaines et sociales* (17), pp. 3-14.

KESSILI, A. (2016). *Elaboration d'outil d'aide à l'exploitation des réseaux d'assainissement _Cas d'application : les réseaux d'assainissement d'Alger*. Béjaia, hydraulique, algérie.

KESSILI, A. (2015). Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water science & technology* , 73 (2), 283-291.

La gazette des communes des départements des régions. (2013). *Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable*.

LANNELONGUE. *La maîtrise des réseaux, le respect de l'environnement*. Paris.

MAMMERI, M. L. (2013, Septembre 17). Une approche d'aide multicritère à la décision pour. PARIS, UNIVERSITÉ PARIS-DAUPHINE, FRANCE.

MARTEL, J.-M., & ROUSSEAU, A. (1993). *Cadre de référence d'une démarche multicritère de gestion intégrée des ressources en milieu forestier*. Document technique, Université Laval, QUEBEC.

Maystre, p. (1994). *Méthode multicritère électre* .

MILMAN, A., & SHORT, A. (2008). *Incorporating resilience into sustainability indicators: An example for the urban water sector* (Vol. 18).

NAFI, A. (2006). *La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, Sciences de Gestion, Strasbourg.

NZONGANG, J. (2011). La mesure de la performance des établissements de microfinance (EMF) une application combinée DEA et multicritère au cas du réseau des Mutuelles Communautaires de Croissance (MC2). *Direction et Gestion (La RSG) « La Revue des Sciences de Gestion »*, pp. 139-146.

Onema. (s.d.). *Qu'est-ce qu'un captage ?* Récupéré sur Captages protection des captages destinés à l'alimentation en eau potable vis-à-vis des pollutions diffuses: Captages.onema.fr

Quotidien national d'information. (2018). *La dépêche de la kabylie le journal des hommes libres* .

ROY, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* .

SAATY, T. L. (1999). *Fondamental of the Analytic Network Process*. Pittsburgh, University of Pittsburgh, USA.

SEMASSOU, C. (2011). *Aide à la décision pour le choix des sites et système énergétique adaptés aux besoins du Bénin*. Bourdeaux 1, Ecole doctorale de l'Université Bourdeaux 1, Paris.

TAIBI, B. (2017). La méthode PROMETHEE comme outil d'aide à la décision multicritère. *Revue Algérienne d'Economie et de Management* (09), 1-11.

TARFAYA, C. (2012). *Approche méthodologique pour le diagnostic des réseaux d'eau*. Mémoire de magistère en hydraulique, Institut de Génie Civil d'Hydraulique et Architecture, BATNA.

Techmania . (s.d.). Récupéré sur Production d'eau potable: Techmania.fr

Unité locale de l'ADE.

ZOUGGARI, A. (2011). Une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour la. Marseille, L'Université Paul Verlaine – METZ, FRANCE.

ملخص :

يتناول العمل المقدم في هذه المذكرة مشكلة تحديد أولويات إعادة تأهيل شبكات مياه الشرب باستخدام أدوات دعم القرار. هذا من أجل دعم خدمات مياه الشرب من خلال اقتراح دراسة تخطيطية لإعادة تأهيل شبكاتهم. تتكون المنهجية المختارة من مرحلتين. الأولى هي مرحلة الاختيار، تتكون هذه الأخيرة من اختيار مجموعة من المعايير التي تعتمد عليها دراستنا لإعادة التأهيل، ويعتمد اختيار هذه المعايير بشكل رئيسي على الخصائص المحلية والبيانات العملية المتاحة. المرحلة الثانية هي مرحلة اتخاذ القرار، تشمل اختيار طريقة حساب وزن المعايير وكذلك اختيار طريقة التفضيل والتصنيف العام لأنابيب المياه. تم تطبيق المنهجية المقترحة على شبكة فوقة الواقعة بمدينة بجاية، الجزائر. جعلت البيانات العملية المتاحة من الممكن اختيار 13 معيار. تم اختيار عملية التحليل الهرمي كطريقة ترجيح لحساب الوزن، في حين تم اختيار طريقة بروميتي 2 كطريقة لحساب التفضيل والتصنيف العام. سمحت لنا طريقة التحليل الهرمي و بروميتي 2 بتصنيف إعادة تأهيل 204 أنبوب مياه فوقة وذلك من الأكثر إلحاحاً إلى الأقل إلحاحاً.

كلمات المفتاح: إعادة التأهيل، تحديد الأولويات، دعم القرار، مرحلة الاختيار، مرحلة اتخاذ القرار، عملية التحليل الهرمي، طريقة بروميتي 2.

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la problématique de priorisation dans la réhabilitation des conduites des réseaux d'eau potables, en utilisant les outils d'aide à la décision. Il a pour but de soutenir les gestionnaires des services d'eau potable en leur proposant une planification dans les travaux de réhabilitation des conduites d'un réseau d'eau potable. La méthodologie choisie est composée de deux phases. La première est la phase de sélection. Elle consiste à sélectionner un ensemble de critères, sur les quelles notre étude de réhabilitation est basée. Le choix de ces critères dépend principalement des spécificités locales et des données pratiques disponibles. La deuxième phase est la phase de décision. Elle comporte le choix de la méthode de calcul du poids des critères ainsi que le choix de la méthode de préférence et de classement global des tronçons. La méthodologie proposée a été appliquée sur le réseau de distribution de FOUKA appartenant à la ville de Bejaia, Algérie. Les données pratiques disponibles ont permis de faire une sélection de 13 critères. Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) a été choisi comme méthode de pondération pour le calcul du poids. Pour le calcul des préférences et de classement global, le choix s'est porté sur la méthode PROMETHEE II. La méthode AHP-PROMETHEE II a permis de classer les 204 tronçons qui comporte le secteur Fouka ceci du plus urgent au moins urgent.

Mots clés : réhabilitation, priorisation, aide à la décision, phase de sélection, phase de décision, AHP, PROMETHEE II.

Abstract

The work presented in this thesis aims at the problem of prioritizing the rehabilitation of drinking water network pipes using decision support tools. This is in order to support drinking water services by proposing a planning of the study of rehabilitation of their networks. The chosen methodology is mainly composed of two phases. The first is the selection phase. It consists in selecting a set of criteria, on which our rehabilitation study is based. The choice of these criteria mainly depends on local specificities and practical data available. The second phase is the decision phase. It includes the choice of the method for calculating the weight of the criteria as well as the choice of the method of preference and overall ranking of the water pipes. The proposed methodology has been applied to the FOUKA network located in the city of Bejaia, Algeria. The practical data available made it possible to make a selection of 13 criteria. The analytic hierarchy process (AHP) was chosen as the weighting method for calculating the weight, while the PROMETHEE II method was chosen as the method of preference calculation and overall ranking. The AHP-PROMETHEE II method has classified the 204 water pipes in the Fouka sector from the most urgent to the least urgent.

Keywords: Rehabilitation, prioritization, decision support, selection phase, decision phase, AHP, PROMETHEE II.