

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de Sciences et Technologie



N° Réf :.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER
Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Analyse multicritère appliquée sur le réseau d'AEP
de centre-ville Chelghoum-Laid (W. Mila)**

Réalisé par :

- BOUCHERMA Hadjer
- HAMOUD Imane

Soutenu devant le jury :

Mr. KHELALFA .M
Mme. ALLIA. Z
Mr. MOUSSOUNI. A

Président
Examinatrice
Promoteur

Année universitaire : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ

كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

سورة الأنبياء 30

دعاء

"اللهم علمنا أن نحب الناس كلهم كما
نحب أنفسنا، وعلمنا أن نحاسب أنفسنا كما
نحاسب الناس، وعلمنا أن التسامح هو أكبر
مراتب القوة وأن الانتقام هو أول مظاهر
الظلم. اللهم لا تجعلنا نصاب بالغرور إذا
نجحنا ولا باليأس إذا أخفقنا، بل ذكرنا
دائماً أن الإخفاق هو التجربة التي تسبق
النجاح.

اللهم إذا أعطيتنا نجاحاً فلا تأخذ اعتزازنا
بكرامتنا وإذا أسأنا إلى الناس فامنحنا
شجاعة الاعتذار وإذا أساء إلينا الناس
فامنحنا شجاعة العفو.

"يارب"

DÉDICACE

Je dédie mon travail simple et humble à:

Mes parents sont le secret de mon bonheur, qui m'a appris l'autonomie et m'ont fourni un coup de main et un soutien afin de préparer ma voie vers le succès.

Mes chers frères: Osama, Omar, Salah El-Dine et Khaled.

Ma sœur est la jumelle de mon âme, et la lumière de mes yeux est Marwa, et ses deux fils sont Saïf al-Islam et Wasim Abdul-Raouf.

Mon cher ami et collègue Hadjer Boucherma

Tous mes collègues et professeurs de l'université.

À tous ceux qui ont oublié ma plume et mon cœur ne l'a pas oublié.

IMANE



DÉDICACE

Je dédie mon travail à:

Mes parents, qui ont pris soin de m'élever et de me donner du courage, jusqu'à ce que j'arrive à ce stade scolaire.

Mon oncle "Riad Musaadi" et sa femme "Malika" qui m'ont soutenu et m'ont réconforté et rassuré, surtout en cette période récente et difficile, ainsi que leurs enfants: Suhaib, Shuaib, Alaa et Walaa

Ma tante Widad et son mari Muhammad et leurs enfants: Jihad El-Dine et Ayat al-Rahman.

Ma tante "Fateema" et son mari "Abdel-Majeed" et leurs enfants: Sarah, Asma, Muhammad, Hussein, Amal, Suhail et Nada.

Ma tante Saliha et son mari, Al-Saeed.

Mes chers frères: Moataz Billah, Amin et ma sœur Ibtisam.

À tous mes professeurs et collègues de l'université et à ceux que je connais également.

À l'ami le plus précieux et le meilleur de ma vie, le généreux "Hammoud Eman".

À tous ceux qui ont oublié ma plume et mon cœur ne l'a pas oublié.

HADJER



REMERCIEMENT

Au terme de la rédaction de ce mémoire.

Le grand merci au bon Dieu tout puissant qui m'a protégé le long de mon cursus d'étude.

C'est avec un grand plaisir que nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur Monsieur Moussouni Abdelrazak pour nous avoir soutenus et appuyés tout au long de nos projets pour c'est conseils fructueux et ces critiques construction.

Nous tenons à témoigner notre profonde gratitude à : Lakhal Fateh, Lachehal Massaoud et Benabdrahmen Wiam qui nous donnent tous les données nécessaires pour la réalisation de notre mémoire.

Et aussi nous remercions tous les enseignants de département Hydraulique.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner.

Nomenclature

2CV : 2Chevaux vapeur.

AC : Amiante Ciment.

ADE : Algérienne Des Eaux.

AEP : Alimentation en eau potable.

AG : Acier Galvanisé.

AHP : Analytic Hierarchy Process.

AMC : Analyse Multicritère.

BCEOM : Bureau Central d'Études d'Outre-Mer (bureau d'étude français).

Ca : Calcium.

CARE-W : Computer Aided Rehabilitation of Water networks.

CI : Indice de Consistance.

c.i.r : coefficients d'importance relative.

CPR : Cote Projet Réservoir.

CR : Ratio de Consistance.

CTC : Commission de Contrôle Technique.

CTH : Commission des Thèses et Habitations.

CW : Chemin de Wilaya.

DN : Diamètre Nominal.

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.

DRE : Direction des Ressources en Eaux.

ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REalité.

EPA : Environmental Protection Agency.

EPFL : École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

EVAMIX : EVAIution of MIXedCriteria.

Fe : Fer.

FNDAE : Fondation National pour le Développement des Adductions d'Eau.

G2C : Groupement français des associations du génie civil.

GAIA : L'analyse géométrique pour l'aide interactive.

hab : habitant.

HLM : Habitation à Loyer Modéré.

ILP : Indices Linéaires de Pertes.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.

K : Potassium.

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

logts : logements.

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

MAUT : Multiple Attribute Utility Theory.

MAVT : Multiple Attribute Value Theory.

Mg : Magnésium.

MRE : Ministère des Ressources en Eau.

Na : Sodium.

NFU : Nephelometric Turbidity Units.

NO₂ : Nitrites.

NO₃ : Nitrates.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONS : Office National des Statistiques.

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

PH : Potentiel Hydrogène.

PLM : Programmation linéaire multicritère.

PN : Pression Nominal.

POS : Plan d'Occupation de Sol.

PROMETHEE: Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation.

PVC : Polyvinyle de Chlorure.

R : Rendement.

R : Réservoir.

RI : Randon consistency index.

RMSE : Racine de la Moyenne des erreurs quadratique.

Rn : Rendements net.

RN : Route Nationale.

Rp : Rendements primaire.

SIG : Système d'information géographique.

SMART: Simple Multi-Attribute Rating Technique.

SP: Station de pompage.

STEM: Science Technology engineering and Mathematics.

TOPSIS: Technique for Order by Similarity to Ideal Solution.

UTA: Utility Theory Additive.

ZHUN : Zones d'Habitat Urbain Nouvelles.

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Nomenclature	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition de l'analyse multicritère	4
I.3. Raisons d'utiliser des méthodes multicritères.....	4
I.4. Différentes méthodes d'analyse multicritère	6
I.4.1. Bases méthodologiques	6
I.4.1.1. Dresser la liste des actions potentielles	7
I.4.1.2. Dresser la liste des critères à prendre en considération.	7
I.4.1.3. Établir le tableau des performances.....	7
I.4.1.4. Agréger les performances.....	8
I.4.2. Méthodes d'agrégation.....	8
I.4.2.1. Méthodes d'agrégation complète (l'approche du critère unique de synthèse évacuant l'incomparabilité)	9
I.4.2.1.1. Méthode TOPSIS: Technique for Order by Similarity to Ideal Solution	9
I.4.2.1.2. Méthode SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique	9
I.4.2.1.3. Méthode MAVT : Multiple Attribute Value Theory	10
I.4.2.1.4. Méthode MAUT : Multiple Attribute Utility Theory	10
I.4.2.1.5. Méthode UTA : Utility Theory Additive	11
I.4.2.1.6. Méthode AHP: Analytic Hierarchy Process	12
I.4.2.1.7. Méthode EVAMIX: EVALution of MIXed Criteria.....	12
I.4.2.2. Méthodes d'agrégation partielle (l'approche du surclassement de synthèse)	13
I.4.2.2.1. Méthode ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REALité	14

I.4.2.2.1.1. Méthode ELECTRE I.....	14
I.4.2.2.1.2. Méthode ELECTRE-IS	14
I.4.2.2.1.3. Méthode ELECTRE II	15
I.4.2.2.1.4. Méthode ELECTRE III	15
I.4.2.2.1.5. Méthode ELECTRE IV	15
I.4.2.2.1.6. Méthode ELECTRE-TRI	15
I.4.2.2.2. Méthodes PROMETHEE : Preference Ranking Organisation METHode for Enrichement Evaluation).....	17
I.4.2.2.2.1. Méthode PROMETHEE I	20
I.4.2.2.2.2. Méthode PROMETHEE II	20
I.4.2.2.2.3. Méthode PROMETHEE III.....	20
I.4.2.2.2.4. Méthode PROMETHEE IV	21
I.4.2.2.2.5. Méthode PROMETHEE V	21
I.4.2.3. Méthodes d'agrégation locale (l'approche du jugement local interactif).....	22
I.5. Aide à la décision.....	23
I.5.1.Définition.....	23
I.5.2. Démarche de l'aide multicritère à la décision	24
I.5.3. Terminologie de base de l'AMC	25
I.5.4. Processus d'aide à la décision multicritère	26
I.5.5. Les avantages et les inconvénients Des différentes méthodes d'analyse multicritère	28
I.5.6. Méthode AHP	32
I.5.6.1. Hiérarchisation des indicateurs par importance.....	33
I.5.6.2. Comparaison des indicateurs par importance	33
I.5.6.3. Détermination des poids associés à chaque indicateur	34
I.5.6.4. Vérification de la consistance du résultat	34
I.6. Comparaison des méthodes.....	35
I.7. Justification de choix de la méthode	37
I.8. Conclusion	39

Chapitre II : Diagnostic du réseau d'alimentation en eau potable de centre-ville Chelghoum-Laid

II.1. Introduction	40
II.2. Présentation de la zone d'étude	41
II.2.1. Situation géographique	41
II.2.2. Situation administratives.....	42
II.2.3. Situation géomorphologique et géologique	43
II.2.4. Situation hydrographique.....	43
II.2.5. Situation climatologique	44
II.2.5.1. Pluviométrie	44
II.2.5.2. Températures	45
II.2.5.3. Humidité.....	46
II.2.5.4. Neige	47
II.2.5.5. Les vents dominants	47
II.2.6. Reliefs	47
II.2.7. Situation géotechnique.....	47
II.2.8. Sismicité.....	48
II.3. Diagnostic d'un réseau d'AEP	49
II.3.1. Diagnostic physique.....	49
II.3.2. Diagnostic fonctionnel	49
II.3.3. Diagnostic de l'environnement	50
II.4. Système d'alimentation en eau potable de centre-ville Chelghoum- Laid	50
II.4.1. Ressources en eau	50
II.4.2. Présentation du système d'adduction.....	53
II.4.2.1. Situation antérieure	53
II.4.2.1.1. Moyens de production	53
II.4.2.1.2. Moyens de transport	54
II.4.2.2. Situation actuelle	55
II.4.3. Présentation du système de stockage	56
II.4.4. Présentation du système de distribution.....	65
II.4.5. Analyse du fonctionnement du réseau	72
II.4.5.1. Matériaux et construction.....	72

II.4.5.2. Fuites	72
II.4.5.2.1. Recherche systématique des fuites	72
II.4.5.2.2. Résultat de la recherche de fuites	74
II.5. Conclusion	77

Chapitre III : Méthodologie d'évaluation de la gestion des réseaux des services d'eau potable par l'utilisation de l'AMC

III.1. Introduction	78
III.2. Méthodologie adoptée pour l'évaluation de la gestion des services d'eau potable	80
III.2.1. Frontières du système	81
III.2.2. Phase de construction	82
III.2.2.1. Identification d'objectif prioritaire	82
III.2.2.1.1. Satisfaire le client	83
III.2.2.2. Identification des critères associés à l'objectif prioritaire «Satisfaire le client»	84
III.2.2.2.1. Critère 1 «État de réseau»	84
III.2.2.2.2. Critère 2 «Qualité physico-chimique de l'eau distribuée».....	85
III.2.2.2.3. Critère 3 «Traitement des réclamations du client».....	86
III.2.2.3. Identification des indicateurs associés à l'objectif prioritaire «Satisfaire le client».....	87
III.2.2.3.1. Indicateurs associés au critère 1 «État de réseau».....	87
III.2.2.3.1.1. Indicateur I11 «Taux de fuites».....	87
III.2.2.3.2. Indicateurs associés au critère 2 «Qualité physico-chimique de l'eau distribuée»	90
III.2.2.3.2.1. Indicateur I21 «Turbidité».....	90
III.2.2.3.2.2. Indicateur I22 «PH».....	90
III.2.2.3.2.3. Indicateur I23 et Indicateur I24 «Magnésium (Mg)» et «Calcium (Ca)»	91
III.2.2.3.2.4. Indicateur I25 et Indicateur I26 «Potassium (K) et Sodium (Na)».....	92
III.2.2.3.2.5. Indicateur I27 et Indicateur I28 «Nitrites (NO ₂) et Nitrates (NO ₃)»	92
III.2.2.3.2.6. Indicateur I29 et Indicateur I210 «Fer (Fe) et Conductivité».....	93
III.2.2.3.3. Indicateurs associés au critère 3 «Traitement des réclamations des clients»...	94
III.2.2.3.3.1. Indicateur I31 «Les réclamations sur la qualité de l'eau»	94

III.2.2.3.3.2. Indicateur I32 «Les réclamations sur les fuites»	94
III.2.2.3.3.3. Indicateur I33 «Les réclamations sur manque de l'eau»	95
III.2.3. Phase d'évaluation de la performance	95
III.2.3.1. Méthode d'agrégation choisie.....	96
III.2.3.2. Méthode de pondération	96
III.2.3.3. Calcul de la performance des indicateurs associés à l'objectif «Satisfaire le client».....	99
III.2.3.3.1. Calcul de la performance des indicateurs associés au critère 1.....	100
III.2.3.3.1.1. Calcul de la performance indicateur I11 «Taux de fuites».....	100
III.2.3.3.1.2. Calcul de la performance indicateur I12 «Type de matériaux».....	102
III.2.3.3.2. Calcul de la performance des indicateurs associés au critère 2.....	104
III.2.3.3.2.1. Calcul de la performance indicateur I21 «Turbidité».....	105
III.2.3.3.2.2. Calcul de la performance indicateur I22 «PH»	106
III.2.3.3.2.3. Calcul de la performance Indicateur I23 «Magnésium»	108
III.2.3.3.2.4. Calcul de la performance Indicateur I24 «Calcium».....	110
III.2.3.3.2.5. Calcul de la performance Indicateur I25 «Potassium».....	111
III.2.3.3.2.6. Calcul de la performance Indicateur I26 «Sodium».....	112
III.2.3.3.2.7. Calcul de la performance Indicateur I27 «Nitrites»	114
III.2.3.3.2.8. Calcul de la performance Indicateur I28 «Nitrates».....	115
III.2.3.3.2.9. Calcul de la performance Indicateur I29 «Fer»	116
III.2.3.3.3. Calcul de la performance des indicateurs associés au critère 3.....	119
III.2.3.4. La performance de l'objectif prioritaire «Satisfaire le client» :.....	121
III.3.1. Application de la méthode développée AHP.....	121
III.3.1.1. Application de la méthode AHP pour évaluer la performance du réseau d'AEP de centre-ville Chelghoum-Laid	121
III.3.1.2. Application de la méthode AHP pour identifier les secteurs prioritaires	134
III.4. Conclusion.....	146

Chapitre IV : Gestion des réseaux d'AEP

IV.1. Introduction.....	147
IV.2. Gestion des installations de distribution d'eau	148
IV.2.1. Définition de la gestion	148
IV.2.2. But de la gestion	148

IV.2.3. Connaissance de l'existant	148
IV.2.3.1. Plans généraux	148
IV.2.3.2. Plans précis à grande échelle	149
IV.2.4. Information relative au fonctionnement du réseau	149
IV.2.5. Entretien de réseau	150
IV.2.5.1. Données relatives au réseau	151
IV.2.5.2. Données concernant les défaillances et interventions	153
IV.3. Étude de dysfonctionnement du réseau d'eau potable	153
IV.3.1. Le Vieillissement d'un réseau d'eau	154
IV.3.1.1. Définition du vieillissement d'une conduite d'eau potable	154
IV.3.1.2. Mauvais fonctionnement hydraulique du réseau engendré par le vieillissement d'une conduite.....	154
IV.3.1.3. Dommages divers engendrés par le vieillissement d'une conduite	155
IV.3.2. Évaluation du vieillissement d'une conduite.....	156
IV.3.2.1. Qualité de l'eau	156
IV.3.2.2. La diminution de la capacité de transport.....	157
IV.3.2.3. Les fuites diffuses	157
IV.3.2.4. Les ruptures (défaillances) ou les fuites apparentes	158
IV.3.3. La problématique des fuites	160
IV.3.3.1. Types des fuites	161
IV.3.4. Causes des fuites	162
IV.3.4.1. Les différentes contraintes qui agissent sur une canalisation	162
IV.3.4.2. Les éléments influençant l'apparition des fuites	163
IV.3.4.2.1. Les éléments propres à la canalisation.....	163
IV.3.4.2.2. Les éléments extérieurs aux réseaux	165
IV.3.5. Les manifestations des fuites.....	167
III.4. Conclusion.....	168
Conclusion générale	169
Références bibliographiques	171
Annexes	184

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparatif des méthodes PROMETHEE	21
Tableau I.2 : Terminologie de l'analyse multicritère	25
Tableau I.3 : Récapitule les différentes situations possibles lors de la comparaison entre deux alternatives	27
Tableau I.4 : Différentes situations et relations intervenant dans la modélisation des références	28
Tableau I.5 : Récapitule les avantages et les inconvénients des différentes méthodes d'analyse multicritère	29
Tableau I.6 : Échelle de comparaison par paire des préférences de la méthode AHP	33
Tableau I.7 : Valeurs du coefficient RI	35
Tableau I.8 : Comparaison des méthodes AHP, MAUT et ELECTRE.....	36
Tableau I.9 : Comparaison des méthodes AHP, MAUT et ELECTRE "selon le niveau de satisfaction"	36
Tableau II.1 : Précipitation mensuelle moyenne	44
Tableau II.2 : Température mensuelle moyenne	45
Tableau II.3 : Humidité mensuelle moyenne	46
Tableau II.4 : Population de la Wilaya de Mila par Daïra.....	48
Tableau II.5 : Les principales ressources en eau de centre-ville Chelghoum-Laid.....	51
Tableau II.6 : Classification par diamètre et type d'adduction	55
Tableau II.7 : Classification par diamètre et type de matériaux (ml)	65
Tableau II.8 : Linéaires et pourcentages de chaque secteur	68
Tableau II.9 : Type des matériaux et son linéaire (ml) du secteur I.....	69
Tableau II.10 : Type des matériaux et son linéaire (ml) du secteur II.....	70
Tableau II.11 : Type des matériaux et son linéaire (ml) du secteur III	70
Tableau II.12 : Type des matériaux et son linéaire (ml) du secteur IV	71
Tableau II.13 : Répartition des fuites	75
Tableau III.1 : Échelle de comparaison par paire des préférences de la méthode AHP	99
Tableau III.2 : Les valeurs de coefficient de cohérence aléatoire RI	99
Tableau III.3 : Échelle performance de l'indicateur «Taux de fuite»	100
Tableau III.4 : Échelle performance de l'indicateur «Type de matériaux»	102

Tableau III.5 : Linéaire de chaque «Type de matériaux»	102
Tableau III.6 : Date de pose et linéaire de chaque «Type de matériaux»	103
Tableau III.7 : Échelle de performance des matériaux.....	103
Tableau III.8 : Performance de l'indicateur «Âge de matériaux»	104
Tableau III.9 : Résultats des analyses physico-chimiques	105
Tableau III.10 : Échelle de performance de «Turbidité»	105
Tableau III.11 : Performance de l'indicateur «Turbidité»	106
Tableau III.12 (a) : Échelle de performance de l'indicateur «PH». (Eau agressive $0 < \text{PH} < 6,5$)	106
Tableau III.12 (b) : Échelle de performance de l'indicateur «PH». (Eau normal $6,5 < \text{PH} < 9$)...	106
Tableau III.12 (c) : Échelle de performance de l'indicateur «PH». (Eau entartrant $9 < \text{PH} < 14$)	107
Tableau III.13 : Performance de l'indicateur «PH»	108
Tableau III.14 : Échelle de performance de l'indicateur «Magnésium»	109
Tableau III.15 : Performance de l'indicateur «Magnésium	109
Tableau III.16 : Échelle de performance de l'indicateur «Calcium»	110
Tableau III.17 : Performance de l'indicateur «Calcium»	111
Tableau III.18 : Échelle de performance de l'indicateur «Potassium»	111
Tableau III.19 : Performance de l'indicateur «Potassium»	112
Tableau III.20 : Échelle de performance de l'indicateur «Sodium»	113
Tableau III.21 : Performance de l'indicateur «Sodium»	113
Tableau III.22 : Échelle de performance de l'indicateur «Nitrites»	114
Tableau III.23 : Performance de l'indicateur «Nitrites»	114
Tableau III.24 : Échelle de performance de l'indicateur «Nitrates»	115
Tableau III.25 : Performance de l'indicateur «Nitrates»	116
Tableau III.26 : Échelle de performance de l'indicateur «Fer»	116
Tableau III.27 : Performance de l'indicateur «Fer»	117
Tableau III.28 : Échelle de performance de l'indicateur «Conductivité»	117
Tableau III.29 : Performance de l'indicateur «Conductivité»	118
Tableau III.30 : État des réclamations de centre-ville Chelghoum-Laid pour les années précédents.....	119

Tableau III.31 : Échelle de performance de critère 3 «Traitement des réclamations»	119
Tableau III.32 : Performance des indicateurs associés au critère 3	120
Tableau III.33 : L'échelle de la performance de l'objectif prioritaire «Satisfaire le client».....	121
Tableau III.34 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère 1	122
Tableau III.35 : Résultats du calcul des valeurs liés au critère 1	122
Tableau III.36 : Poids liés au critère 1	122
Tableau III.37 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère 2	124
Tableau III.38 : Résultats du calcul des valeurs liés au critère 2	124
Tableau III.39 : Poids liés au critère 2	125
Tableau III.40 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère 3	126
Tableau III.41 : Résultats du calcul des valeurs liés au critère 3	127
Tableau III.42 : Poids liés au critère 3	127
Tableau III.43 : Matrice des préférences entre les critères 1, 2 et 3 liés à l'objectif «Satisfaire le client»	128
Tableau III.44 : Résultats du calcul des valeurs liés à l'objectif «Satisfaire le client»	128
Tableau III.45 : Poids liés à l'objectif «Satisfaire le client»	129
Tableau III.46 : Performance des trois critères et l'objectif «Satisfaire le client».....	130
Tableau III.47 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur I	134
Tableau III.48 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur I	135
Tableau III.49 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur I.....	135
Tableau III.50 : Poids liés au secteur I.....	135
Tableau III.51 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur II.....	137
Tableau III.52 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur II	138
Tableau III.53 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur II	138
Tableau III.54 : Poids liés au secteur II.....	138
Tableau III.55 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur III.....	140
Tableau III.56 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur III.....	141
Tableau III.57 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur III.....	141
Tableau III.58 : Poids liés au secteur III	141
Tableau III.59 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur IV	143
Tableau III.60 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur IV.....	144

Tableau III.61 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur IV	144
Tableau III.62 : Poids liés au secteur IV	144

Liste des figures

Figure I.1 : Illustration de la méthode ELECTRE-TRI	16
Figure I.2 : Les six types de fonction de PROMETHEE	19
Figure I.3 : Démarche top-down d'analyse multicritère	24
Figure I.4 : Démarche bottom-up d'analyse multicritère.....	25
Figure I.5 : Démarche intermédiaire d'analyse multicritère	25
Figure I.6 : Processus de décision multicritère	26
Figure I.7 : Utilisation d'AHP selon les régions mondiales	37
Figure II.1 : Carte des limites administratives montrant les limites du secteur d'étude (Chelghoum-Laid) échelle 1/2000	42
Figure II.2 : Communes limitrophes de Chelghoum-Laid.....	42
Figure II.3 : Variation mensuelle d'hauteur de la précipitation.....	45
Figure II.4 : Variation mensuelle de la température	46
Figure II.5 : Variation d'humidité mensuelle	46
Figure II.6 : Forage Meriout1	52
Figure II.7 : Forage Meriout 2	52
Figure II.8 : SP1bisAin Beida.....	52
Figure II.9 : Linéaire des conduites par type d'adduction	56
Figure II.10 : Graphique représente le pourcentage de linéaire des conduites par type d'adduction.....	56
Figure II.11 : Vue générale du réservoir 2000m ³ Boulevard Bounaas.....	57
Figure II.12 : Les canalisations intérieures.....	58
Figure II.13 : Toute la canalisation et la robinetterie intérieure du réservoir sont totalement corrodées	58
Figure II.14 : Vue générale du château d'eau 2000m ³ CPR.....	59
Figure II.15 : La tuyauterie réalisée en PEHD	59
Figure II.16 : Vue générale du réservoir 1500m ³	60
Figure II.17 : Traces d'infiltration du réservoir 1500m ³	61
Figure II.18 : Joint entre la cuve et la tour.....	61
Figure II.19 : Fissure superficielle dans le corps de la Tour	61
Figure II.20 : Trace d'infiltration d'eau entre la tour et la base de la cuve du réservoir 1500m ³	62

Figure II.21 : Salle de manœuvre Traces de fuite, canalisations corrodées	62
Figure II.22 : Salle de manœuvre canalisation et accessoires mal entretenus corrosion et fuites au niveau des joints	62
Figure II.23 : Montage et raccordement non professionnel.....	63
Figure II.24 : Linéaire des conduites par type des matériaux.....	66
Figure II.25 : Graphique représente le pourcentage de linéaire des conduites par nature des matériaux	66
Figure II.26 : L'histogramme du linéaire selon les diamètres des conduites	67
Figure II.27 : Pourcentage de linéaire des conduites par période de pose	67
Figure II.28 : Linéaire des conduites pour chaque secteur	68
Figure II.29 : Pourcentage de linéaire des conduites pour chaque secteur	69
Figure II.30 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur I.....	69
Figure II.31 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur II.....	70
Figure II.32 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur III	71
Figure II.33 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur IV	71
Figure II.34 : La répartition des fuites sur le réseau de centre-ville Chelghoum-laid	75
Figure II.35 : Service intermittent et service continu–graphe interprétatif	76
Figure III.1 : Organigramme d'analyse multicritère	81
Figure III.2 : Structure hiérarchique de l'objectif prioritaire analysé «Satisfaire le client»... 84	
Figure III.3 : Fonction de performance de l'indicateur «Taux de fuites»	100
Figure III.4 : Fonction de performance de l'indicateur «Type de matériaux»	102
Figure III.5 : Échelle de performance de l'indicateur «Âge de matériaux».....	104
Figure III.6 : Fonction de performance de l'indicateur «Turbidité»	105
Figure III.7 (a) : Fonction de performance de l'indicateur «PH». (Eau agressive $0 < \text{PH} < 6,5$).....	107
Figure III.7 (b) : Fonction de performance de l'indicateur «PH». (Eau normal $6,5 < \text{PH} < 9$)	107
Figure III.7 (c) : Fonction de performance de l'indicateur «PH». (Eau entartrant $9 < \text{PH} < 14$).....	108
Figure III.8 : Fonction de performance de l'indicateur «Magnésium»	109
Figure III.9 : Fonction de performance de l'indicateur «Calcium».....	110

Figure III.10 : Fonction de performance de l'indicateur «Potassium».....	112
Figure III.11 : Fonction de performance de l'indicateur «Sodium».....	113
Figure III.12 : Fonction de performance de l'indicateur «Nitrites»	114
Figure III.13 : Fonction de performance de l'indicateur «Nitrates»	115
Figure III.14 : Fonction de performance de l'indicateur «Fer».....	117
Figure III.15 : Fonction de performance de l'indicateur «Conductivité»	118
Figure III.16 : Fonction de performance des indicateurs associés au critère 3	120
Figure III.17 : Structure hiérarchique pondérée de l'objectif prioritaire étudié	131
Figure III.18 : Performance des indicateurs liés au critère 1	131
Figure III.19 : Performance des indicateurs liés au critère 2.....	132
Figure III.20 : Performance des indicateurs liés au critère 3.....	132
Figure III.21 : Performance de trois critères	133
Figure III.22 : Performance de l'objectif étudié	133
Figure IV.1 : Vieillessement des canalisations en fonte.....	154
Figure IV.2 : Une conduite ayant subi une rupture en Acier	159
Figure IV.3 (a) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (éclatement)	159
Figure IV.3 (b) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (fissure transversale)	159
Figure IV.3 (c) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (fissure longitudinale)	160
Figure IV.3 (d) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (fissure autour de la tulipe et joint)	160
Figure IV.4 : Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable	162
Figure IV.5 : Contraintes subis par une conduite d'eau potable.....	162
Figure IV.6 : Conduite subi une corrosion (fonte).....	164
Figure IV.7 : Conduite subi une corrosion externe par courant vagabonds.....	165

Résumé

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire, concerne la problématique de gestion, de renouvellement et de priorisation dans la réhabilitation des conduites des réseaux d'eaux potables en utilisant les outils d'aide à la décision. Il a pour but de soutenir les gestionnaires des services d'eaux potables 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 la priorisation des secteurs. La méthodologie proposée a été appliquée sur le réseau de distribution de centre-ville Chelghoum-Laid appartenant à la ville de Mila, Algérie. Le processus d'analyse hiérarchiques (AHP) a été choisi comme méthode de pondération pour le calcul du poids, calcul des préférences et de classement global.

Mots clés :

Gestion, priorisation, réseau d'eau potable, outil d'aide à la décision, poids des critères, Algérie, processus d'analyse hiérarchiques (AHP).

Abstract

The work carried out within the framework of this thesis concerns the issue of management, renewal and prioritization in the rehabilitation of pipelines of drinking water networks using decision support tools. Its purpose is to support managers of drinking water services by offering them planning in the rehabilitation work of the pipes of a drinking water network. The methodology chosen is made up 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 depends mainly on local specificities and available practical data. 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 prioritization of sectors. The proposed methodology was applied to the distribution network of down-town of Chelghoum-Laid belonging to the town of Mila, Algeria. The Hierarchical Analysis Process (AHP) was chosen as the weighting method for calculating weight, calculating preferences and overall ranking.

Key words

Management, prioritization, drinking water network, decision support tools, weight of the criteria, Hierarchical Analysis Process (AHP).

الملخص

يتعلق العمل المنفذ في إطار هذه الأطروحة بمسألة الإدارة والتجديد وتحديد الأولويات في إعادة تأهيل خطوط أنابيب شبكات مياه الشرب باستخدام أدوات دعم القرار. والغرض منه هو دعم مديري خدمات مياه الشرب من خلال تقديم التخطيط لهم في أعمال إعادة تأهيل أنابيب شبكة مياه الشرب. المنهجية المختارة تتكون من مرحلتين. الأول هو مرحلة الاختيار. وهي تتكون من اختيار مجموعة من المعايير التي تستند إليها دراستنا لإعادة التأهيل. يعتمد اختيار هذه المعايير بشكل أساسي على الخصائص المحلية والبيانات العملية المتاحة. المرحلة الثانية هي مرحلة القرار. وهي تشمل اختيار طريقة حساب وزن المعايير وكذلك تحديد أولويات القطاعات. تم تطبيق المنهجية المقترحة على شبكة التوزيع بوسط مدينة شلغوم العيد التابعة لمدينة ميله الجزائرية. تم اختيار عملية التحليل الهرمي (AHP) كطريقة ترجيح لحساب الوزن وحساب التفضيلات والترتيب العام.

الكلمات المفتاحية:

الإدارة, تحديد, شبكة مياه الشرب, أدوات دعم القرار, وزن المعايير, الجزائر أداء, المستدامة, التشخيص, المؤشرات, عملية التحليل الهرمي (AHP).

Introduction générale

Introduction générale

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du monde. Mais, la question de cette ressource rare et vitale, se pose surtout en termes de disponibilité, de qualité de l'eau et de sa gestion en fonction des priorités des différents secteurs utilisateurs (domestique, agriculture, industrie et tourisme). Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique ainsi que l'expansion des activités économiques et agricoles, risquent d'aggraver la situation du stress hydrique qui frappe déjà plusieurs pays. Cette situation va influencer sur la gestion des services d'eau potable. [1]

L'Algérie se situe, à l'instar des pays touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000m^3 par habitant et par an. ([2] ; [3]), à chaque fois qu'il y a une pénurie d'eau l'Algérie s'appuie sur l'investissement de capitaux dans de nouvelles offres d'eau. Cette approche, par l'offre, seule ne parvient pas toujours à suivre la demande croissante. Ainsi, des stratégies innovantes de gestion doivent être développées et des mesures de conservation des eaux doivent être intégrées. [4]

Le but de ce mémoire est de mettre à disposition du service des gestionnaires une méthode permettant d'apprécier la gestion des services afin de renforcer les capacités de gestion dans le domaine d'AEP, c'est la méthode AHP qui a été créée dans les années 1980 par Thomas Saaty, professeur au Wharton School of Business et consultant pour le gouvernement Américain. Il a développé l'AHP pour optimiser l'allocation des ressources lorsqu'il y a plusieurs critères à considérer.

Pour montrer l'efficacité de cette méthode nous formulons la problématique suivante: "comment la méthodologie AHP peut-elle aider à la prise de décision multicritère ?"

Pour répondre à cette question fondamentale, d'autres questions secondaires émergent:

- Quels sont les concepts de base de l'analyse multicritère ?
- Quels sont les principes de base de la méthode AHP ?
- Quels sont les avantages et les inconvénients des différentes méthodes d'analyse multicritère et en particulier la méthode AHP?

Afin de répondre à ces questions, nous avons conçu ce mémoire en mettre quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous allons présenter une synthèse bibliographique. On a montré au lecteur non initié, l'intérêt des méthodes multicritères et d'en présenter les fondements méthodologiques et la diversité de ces méthodes. Une classification selon trois grandes approches est alors proposée (agrégations complète, partielle et locale). Au sein de chaque approche sont détaillées les bases théoriques et des cas concrets d'application sont cités.

Dans le deuxième chapitre, nous allons faire un diagnostic du système d'alimentation en eau potable de centre-ville Chelghoum-Laid afin d'améliorer l'approvisionnement en eau potable de la ville.

Par la suite, dans le troisième chapitre, nous présenterons la mise en œuvre de la méthode AHP pour l'évaluation de la gestion des services d'eau potable donc une méthode de prévision de renouvellement des conduites du réseau d'eau potable ; alimenté par des données issues de multiple services d'eau potable de la wilaya de Mila.

Il est nécessaire d'appréhender la gestion technique de tels réseaux. C'est pourquoi le quatrième chapitre s'attachera à présenter les enjeux associés à la gestion de tels réseaux, la connaissance actuelle sur le vieillissement des réseaux.

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1. Introduction

Les méthodes d'aide à la décision multicritère sont largement utilisées pour résoudre les problèmes de la sélection dans la plupart des domaines (du système de planification des ressources d'entreprise [5], du service cloud [6], des partenaires de collaboration et des scénarios agricole [7], etc.). Elles aident les décideurs à considérer tous les critères du problème en utilisant un processus décisionnel rationnel et efficace.

L'objectif de ce chapitre est de montrer au lecteur non initié, l'intérêt de ces méthodes et d'en présenter les fondements méthodologiques. La diversité de ces méthodes réside dans la façon d'effectuer la synthèse de l'information contenue dans chaque critère. Une classification selon trois grandes approches est alors proposée (agrégations complète, partielle et locale). Au sein de chaque approche sont détaillées les bases théoriques et des cas concrets d'application sont cités. En conclusion, sont soulignées les potentialités des méthodes multicritères et les précautions à prendre lors de leur utilisation.

I.2. Définition de l'analyse multicritère

L'analyse multicritère constitue une branche d'étude majeure de la recherche opérationnelle impliquant plusieurs écoles de pensée, principalement Américaine avec les travaux de Thomas L. Saaty et Européenne avec ceux de Bernard Roy et du LAMSADE.

Il s'agit de méthodes et de calculs permettant de choisir la meilleure solution ou la solution optimale parmi tout un ensemble de solutions. [8]

I.3. Raisons d'utiliser des méthodes multicritères

Avant l'apparition de l'analyse multicritère, les problèmes de décision se ramenaient le plus souvent à l'optimisation d'une fonction économique. Cette approche avait le mérite de déboucher sur des problèmes mathématiques bien posés mais qui n'étaient pas toujours représentatifs de la réalité car :

- ✚ La comparaison de plusieurs actions possibles se fait rarement suivant un seul critère ;
- ✚ Les préférences sur un critère sont, dans bien des cas, difficilement modélisables par une fonction ;
- ✚ Lorsqu'il y a plusieurs objectifs, il est impossible de les atteindre tous à la fois.

L'optimisation se base sur des hypothèses extrêmement lourdes :

La première, dite de globalité, suppose que, par la recherche d'une décision optimale parmi toutes les actions potentielles, on pourra désigner une action unique comme la meilleure. Cela présume que toutes les actions potentielles comprennent tous les aspects de la question et sont mutuellement exclusives. Or elles sont souvent complémentaires, partielles et rarement globales.

Une seconde hypothèse, dite de stabilité, postule que l'ensemble des actions potentielles n'est jamais remis en cause lors de l'étude. Or cette dernière fait souvent jaillir de nouvelles idées au cours de son déroulement.

La troisième et dernière hypothèse est celle de complète comparabilité transitive. Elle souffre trois grandes critiques :

- ✓ Elle ne tient pas compte de la situation d'incomparabilité ;

- ✓ Elle ignore le fait que l'indifférence est parfois intransitive ;
- ✓ Elle oublie que la préférence elle-même n'est pas nécessairement transitive.

La première critique intervient par exemple lorsqu'une personne se retrouve face à des alternatives sans qu'elle puisse dire laquelle elle préfère. C'est le cas de celui qui cherche à éclairer une décision mais qui est gêné par l'imperfection des informations dont il dispose. Ce sont des situations embarrassantes mathématiquement mais tellement humaines.

D'ailleurs, l'intransitivité de l'indifférence repose aussi sur des considérations humaines. Être indifférent entre a et b et entre b et c ne signifie pas forcément que l'on est indifférent entre a et c.

Après avoir exposé la "misère de l'optimisation", reste à démontrer que la solution réside dans le "bonheur du multicritère".

Choisir d'optimiser, c'est implicitement se situer dans une approche à critère unique. Cela se démontre aisément par l'absurde : dès que l'on prend plusieurs points de vue pour juger des conséquences de plusieurs actions, on risque de désigner comme optimale une action différente pour chaque point de vue et qu'en fin de compte, aucun optimum ne se dégage des calculs.

Or toute la réalité humaine est "à points de vue multiples" ou encore multicritère.

Prenons un exemple concret : si, pour acheter une voiture, un individu ne considérait que l'aspect financier, tout le monde roulerait en 2CV. C'est évidemment loin d'être le cas. Et cela ne concerne qu'un individu à la fois. Mais dans un service public ou dans la gestion d'un État, les intervenants sont multiples. Multiplicité des critères, multiplicité des intervenants : les deux phénomènes ne se superposent pas uniquement, ils se multiplient. Cela devrait déjà suffire pour envisager de nouvelles méthodes par rapport à l'optimisation.

On peut encore ajouter deux autres faits : le côté non commensurable de certains critères et le fait qu'ils puissent être contradictoires. Reprenons l'exemple de la 2CV. Un futur propriétaire conducteur désire que sa voiture soit confortable, peut-être aussi sportive, sûre, ... Ces différents aspects ne sont pas traduisibles en coûts car ils n'ont pas de cours ni dans l'économie ni dans la tête de l'individu. Il faut donc utiliser des méthodes qui sachent tenir compte de plusieurs critères sans les réduire à un seul (en général pécuniaire). Cela reste

évidemment vrai pour l'aménagement d'un bassin versant où l'aspect paysager peut difficilement être incorporé dans une fonction économique au sens strict.

Si on rassemble tous les critères énumérés dans le choix d'une voiture, à savoir le coût à l'achat, le confort, la sportivité, la sécurité et qu'on y ajoute en plus l'économie à l'usage, il n'est pas difficile de constater que toutes ces notions sont assez contradictoires. La transposition à la collectivité publique, lors du choix du meilleur emplacement pour la construction d'une station d'épuration, est immédiate : la minimisation des nuisances olfactives par éloignement vis-à-vis des habitations est en contradiction avec le coût de l'acheminement de l'eau par exemple. Cela montre la nécessité de rechercher des méthodes qui ne soient pas gênées par les conflits qui apparaîtront entre les différents critères pris en compte.

Une ultime constatation est que certains problèmes semblent pouvoir être isolés de leur contexte et donc être traités par l'optimisation. Cette apparente appartenance au domaine de réussite de la recherche opérationnelle est parfois la cause de cuisants échecs. C'est là un argument de plus pour les méthodes multicritères. [9]

I.4. Différentes méthodes d'analyse multicritère

Après en avoir exposé les bases théoriques, nous présentons un panorama des méthodes d'agrégation multicritère les plus utilisées pour la sélection d'un partenaire ou toute autre action ou alternative dans un problème.

I.4.1. Bases méthodologiques

En toute généralité, lorsqu'on pose un problème multicritère, il s'agit d'en trouver la "solution la plus adéquate", compte tenu d'un certain ensemble de critères, cette solution pouvant prendre diverses formes (choix, affectation, classement). On peut alors opérer en 4 grandes étapes [9] :

1. Dresser la liste des actions potentielles ;
2. Dresser la liste des critères à prendre en considération ;
3. Établir le tableau des performances ;
4. Agréger les performances.

I.4.1.1. Dresser la liste des actions potentielles

D'après Roy (1985), “une action ‘a’ est la représentation d’une éventuelle contribution à la décision globale, susceptible, eu égard à l’état d’avancement du processus de décision, d’être envisagée de façon autonome et de servir de point d’application d’aide à la décision (ce point pouvant suffire à caractériser a).”

Le terme “autonome” signifie que l’action peut être considérée isolément de toute autre sans pour autant perdre sa portée décisionnelle ou sa valeur de point d’application d’aide à la décision.

I.4.1.2. Dresser la liste des critères à prendre en considération.

Ces critères découlent des conséquences des actions, c’est-à-dire de “tout effet ou attribut de l’action susceptible d’interférer avec les objectifs ou avec le système de valeurs d’un acteur du processus de décision, en tant qu’élément primaire à partir duquel il élabore, justifie ou transforme ses préférences”. [10]

Il est rare qu’une action n’ait qu’une conséquence. Aussi, on parlera de l’ensemble des conséquences ou, mieux, du nuage de conséquences $n(a)$. Au sein de $n(a)$, on va tenter d’isoler et typer des conséquences élémentaires c , suffisamment bien perçues pour permettre une description précise de ce par quoi elles se manifestent concrètement après la mise à exécution de l’action potentielle a . On admet que cette description peut se faire en termes d’état(s) associé(s) à la conséquence c .

I.4.1.3. Établir le tableau des performances.

Ce tableau est constitué, en lignes, des actions de A , et en colonnes, des critères de F . Les valeurs qui remplissent ce tableau ne sont rien d’autre que les $g_j(a_i)$. Ces nombres peuvent être des rangs, donc dépourvus de toute signification cardinale, d’où l’appellation de performance.

Pour bien faire, chaque colonne contiendra aussi, comme information complémentaire, les fonctions- seuils $q_g[g(a)]$ et $p_s[g(a)]$ et les éventuels “poids”.

On remarquera encore que cette représentation de A permet de comprendre chaque action comme un vecteur à n dimensions dans l’espace des critères.

I.4.1.4. Agréger les performances.

Il s'agit ici d'établir un modèle des préférences globales, c'est-à-dire une représentation formalisée de telles préférences relativement à un ensemble A d'actions potentielles, que l'homme d'étude juge appropriée au problème d'aide à la décision.

I.4.2. Méthodes d'agrégation

Les trois premières étapes décrites au paragraphe précédent sont communes à toutes les méthodes et ne présentent que de faibles variations. La quatrième présente, elle, une diversité nettement supérieure.

Si les méthodes d'agrégation sont si nombreuses, c'est parce qu'il est dans la nature des choses qu'aucune méthode ne respecte la totalité des exigences qu'un utilisateur pourrait trouver "normales" dans l'idée du multicritère [11]. Il faut donc décider sur quelle exigence on va céder. Face à ce choix. Selon Roy, dans certains contextes décisionnels, une modélisation élaborée des préférences du décideur est requise. Selon la manière d'agrégation des préférences du décideur, il est possible de distinguer les approches [10] :

❖ Approche du critère unique de synthèse évacuant l'incomparabilité

Ces approches sont exploitées dans le cas où le décideur est capable de juger toute paire d'actions $\{a, b\}$ et ce selon un des cas suivant : soit a est préférée à b, soit b est préférée à a, soit le décideur est indifférent entre a et b. Il n'y a donc pas d'incomparabilité entre deux actions.

❖ Approche du surclassement de synthèse

Ces approches permettent l'incomparabilité entre actions. Certaines sont caractérisées par des structures de préférences fortes, faible, indifférence, incomparabilité.

❖ Approche du jugement local interactif

Ces approches sont caractérisées par une interaction continue entre l'homme d'étude et le décideur tout au long du processus d'aide à la décision.

I.4.2.1. Méthodes d'agrégation complète (l'approche du critère unique de synthèse évacuant l'incomparabilité)

La première attitude serait d'inclure toutes les performances dans ce qu'on appellerait en mathématique une fonction d'utilité ou d'agrégation [10], en leur attribuant d'éventuels poids. Cela suppose que tous les jugements sont commensurables alors qu'une des justifications de l'approche multicritère est le non commensurabilité de ces jugements. Comme on l'a dit ci-avant, on cède sur une exigence : la commensurabilité. Il est à noter que cette technique suppose en outre que les jugements soient transitifs, d'où l'appellation "agrégation complète transitive". En outre on notera que (Roy ; Maystre, Pictet et al) l'appellent encore "approche du critère unique de synthèse évacuant toute incomparabilité" ([10] ; [12]) et que Vincke, nomme cette approche "théorie de l'utilité multi-attribut" [13]. Ce critère unique risque évidemment de passer toutes les nuances à la moulinette. Toutefois, les méthodes d'agrégation complète peuvent s'avérer intéressantes ou tout simplement les seules utilisables [11]. Cité en Hammami. [14]

I.4.2.1.1. Méthode TOPSIS: Technique for Order by Similarity to Ideal Solution

La méthode TOPSIS est proposée par (Yoon et Hwang, 1981). L'objectif de cette méthode est de choisir une alternative, parmi un ensemble d'alternatives, qui a d'une part, la plus courte distance à l'alternative idéale (la meilleure alternative sur tous les critères), et, d'autre part, qui a la plus grande distance à l'alternative négative idéale (celle qui dégrade tous les critères). Pour cela, la méthode TOPSIS vise, dans un premier temps, à réduire le nombre de scénarios de désambiguïsation en écartant les scénarios dominés et, en deuxième temps, à classer les scénarios efficace selon leurs scores globaux calculés. [15]

I.4.2.1.2. Méthode SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique

La méthode SMART consiste à utiliser la forme additive pour l'agrégation des évaluations sur les différents critères. Cette approche a été justifiée par le fait que dans certains cas (peu ou pas d'interactions entre les actions envisagées) on obtient d'aussi bonnes approximations avec la forme additive qu'avec d'autres formes non linéaires qui sont beaucoup plus complexes.

La méthode SMART est facile à exploiter. Elle exige une articulation a priori des préférences, et une évaluation des actions sur une échelle unique (échelle cardinale). La méthode SMART utilise la forme additive, elle est ainsi compensatoire. [16]

I.4.2.1.3. Méthode MAVT : Multiple Attribute Value Theory

La méthode MAVT repose sur l'idée fondamentale suivante : tout décideur essaie inconsciemment (ou implicitement) de maximiser une fonction $V = V[g_1, \dots, g_n]$ qui agrège tous les attributs. La particularité de la méthode MAVT réside dans l'idée de construction d'une fonction de valeur partielle pour chaque attribut. La meilleure action sur un attribut aura une valeur partielle (par rapport à l'attribut étudié) égale à 1 et la pire des actions aura une valeur partielle égale 0. En posant des questions au décideur, nous construisons les fonctions de valeur partielle. Nous construisons ensuite, et ce en fonction des caractéristiques des préférences du décideur, la fonction de valeur V . La méthode MAVT s'applique dans un contexte caractérisé par un ensemble d'actions explicite, une articulation a priori des préférences et un univers déterministe (les évaluations des actions par rapport à chaque attribut sont certaines).

Cette méthode est d'inspiration anglo-saxonne et est notamment utilisée aux États-Unis dans des problèmes d'aide à la décision, des problèmes d'économie, de finance et d'actuariat [13]. La méthode MAVT est une procédure très exigeante du point de vue informationnel. Par ailleurs, la construction des fonctions de valeur n'est pas toujours une tâche évidente. La méthode MAVT exige une articulation a priori des préférences, et une évaluation des actions sur des échelles cardinales (on utilise les loteries pour déterminer les fonctions de valeur). 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 ([17] ; [18]). La structure de préférence utilisée dans la méthode MAVT est du type $\{P, I\}$. La méthode MAVT est partiellement compensatoire.

I.4.2.1.4. Méthode MAUT : Multiple Attribute Utility Theory

La méthode MAUT repose sur la même idée que la méthode MAVT. En revanche, elle s'applique dans le cas où les évaluations des actions par rapport aux attributs sont imprégnées d'incertitude (aléatoire). A ce moment, on parle de fonction d'utilité et non plus de fonction

de valeur. La méthode MAUT s'applique alors dans un contexte caractérisé par un ensemble d'actions explicite (fini), une articulation a priori des préférences, et un univers incertain (les évaluations des actions par rapport à chaque attribut sont incertaines). La méthode MAUT exige les mêmes étapes que la méthode MAVT. Comme la méthode MAVT, la méthode MAUT est très exigeante d'un point de vue informationnel. Les fonctions d'utilité sont difficiles à concevoir. En outre, MAUT exige plusieurs vérifications telles que l'indépendance mutuelle au sens de l'utilité. La méthode MAUT exige une articulation a priori des préférences, et une évaluation des actions sur des échelles cardinales (on utilise les loteries pour déterminer les fonctions de valeur). La structure de préférence est du type $\{P, I\}$. La méthode MAUT est partiellement compensatoire. [18]

I.4.2.1.5. Méthode UTA : Utility Theory Additive

La méthode UTA se base sur l'idée suivante : nous supposons que le décideur connaît bien un sous ensemble d'actions $A'(A' \subset A)$. Nous cherchons à estimer la fonction d'utilité (ayant une forme additive) en s'approchant le plus possible des jugements portés par le décideur sur le sous-ensemble A' . Pour ce faire, on sélectionne un sous ensemble $A'(A' \subset A)$ d'actions que le décideur connaît bien et on demande ensuite au décideur de :

- Classer les actions de A' ;
- Donner les critères significatifs 1, 2, ..., j, ..., n ;
- Donner les évaluations des actions de A' par rapport aux critères 1, 2, ..., j, ...n (matrice des jugements).

La méthode UTA utilise la même base axiomatique que la méthode MAUT. Toutefois, elle ne cherche pas à fixer directement les fonctions d'utilité partielles comme dans MAUT. Dans UTA, les fonctions d'utilité partielles découlent toutes à la fois de la préférence globale exprimée par le décideur. On assiste donc à une sorte de désagrégation de la fonction d'utilité totale en des utilités partielles. La méthode UTA exige des données cardinales, une articulation a priori des préférences, une famille de vrais critères. Par ailleurs, UTA exige l'indépendance au sens des préférences. UTA est une méthode compensatoire. [19]

I.4.2.1.6. Méthode AHP: Analytic Hierarchy Process

L'analyse hiérarchique des procédés (AHP) est une méthode multicritère d'aide à la décision considérant plusieurs critères afin de prendre la meilleure décision.

L'AHP a été créé dans les années 1980 par Thomas Saaty, professeur au Wharton School of Business et consultant pour le gouvernement Américain. Il a développé l'AHP pour optimiser l'allocation des ressources lorsqu'il y a plusieurs critères à considérer.

Une décision complexe peut reposer sur des dizaines de critères de décisions et de solutions potentielles. L'AHP facilite l'analyse des solutions en les structurant de façon hiérarchique selon vos critères.

Vous pouvez utiliser l'AHP pour :

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

L'AHP peut aussi être utilisé pour :

- ✚ Choisir un nouveau gestionnaire ;
- ✚ Décider d'un nouvel emplacement pour votre entreprise ;
- ✚ Investir dans le bon produit au service ;
- ✚ Évaluer vos risques associés à une certaine activité ;
- ✚ Quantifier la qualité d'un système comparativement à un autre. [20]

I.4.2.1.7. Méthode EVAMIX: EVAlution of MIXed Criteria

La méthode EVAMIX traite les évaluations ordinales et cardinales. Afin d'évaluer une action par rapport à une autre, on calcule deux indices de dominance, le premier pour les évaluations ordinales et le second pour les évaluations cardinales. Ces deux indices sont par la suite

normalisés puis combinés pour donner une mesure globale de la dominance. Enfin, un score global par action est calculé, ce qui permettra de classer les actions.

La méthode EVAMIX est facile à mettre en œuvre. Par ailleurs, elle a l'avantage de traiter les évaluations ordinales et cardinales. La méthode EVAMIX exige une articulation a-priori des préférences, et une structure de préférence du type $\{P, I\}$.

EVAMIX est une méthode partiellement compensatoire. [21]

▪ Quelques exemples pratiques de ces méthodes

Voici quelques cas concrets d'application de ces méthodes au domaine de l'environnement. Ces exemples révèlent que ce sont surtout les méthodes les plus élaborées qui sont les plus utilisées [9] :

- ✓ Une extension de MAUT fut utilisée pour aider les négociations entre États des États-Unis pour choisir la politique à adopter pour le problème des pluies acides; [22]
- ✓ De même, la théorie de l'utilité multi attribut fut envisagée dans le cadre de la construction de standards pour la qualité de l'air ambiant; [23]
- ✓ Lathrop et Watson, utilisèrent encore MAUT pour la gestion de déchets nucléaires. [24]

I.4.2.2. Méthodes d'agrégation partielle (l'approche du surclassement de synthèse)

Une seconde attitude est de respecter l'incomparabilité et l'intransitivité... au prix de la clarté des résultats ! En effet, cette technique ne permet pas d'obtenir un résultat indiscutable comme on s'y attend en général, pour tout ce qui est à base de mathématique [11]. Ici, on cède donc sur la clarté. Comme on se contente dans ce cas d'appréhender partiellement les conséquences des divers jugements, cette attitude est dite d'agrégation partielle. D'autres (Roy ; Maystre, Pictet et al) l'appellent encore "approche du surclassement de synthèse acceptant l'incomparabilité" ou "méthodes de surclassement" (Vincke).

Les méthodes de surclassement sont utiles lorsque un critère au moins n'est pas quantitatif, les unités des critères sont très hétérogènes et leur codage en une échelle commune est difficile ou artificielle, la compensation entre avantages et désavantages sur différents critères n'est pas justifiable, des seuils de préférences ou de veto doivent être pris en compte. Les

unités d'œuvre en pourcentage, en dollar, en indice, en appréciation etc., permettant de mesurer nos données hétérogènes, justifient l'usage des méthodes de surclassement. [25]

Dans cette approche, la technique consiste à comparer les actions deux à deux et à vérifier si, selon certaines conditions préétablies, l'une des deux actions surclasse l'autre ou pas et ce, de façon claire et nette. À partir de toutes ces comparaisons, on tente ensuite de réaliser une synthèse. Les méthodes d'agrégation partielle vont donc se différencier par leur façon de réaliser ces deux étapes.

Considérations générales. Face à deux actions a et b , les méthodes qui suivent se basent sur l'hypothèse que a surclasse b , c'est-à-dire que a est au moins aussi bonne que b sur une majorité de critères sans être trop nettement plus mauvaise relativement aux autres critères.

Selon les méthodes, des indices de concordance, de discordance (avec l'hypothèse de surclassement) ou de crédibilité (du surclassement) sont utilisés.

On cite quelques méthodes :

I.4.2.2.1. Méthode ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REalité

Nous discutons, par la suite, de la différence entre les différentes versions de la famille ELECTRE, notamment ELECTRE I, IS, II, III, IV et TRI.

I.4.2.2.1.1. Méthode ELECTRE I

La méthode ELECTRE I est développée pour traiter le problème du choix (p_α). Le but est d'obtenir comme résultat un choix ou une procédure de sélection selon un groupe de critères, précisément de vrais-critères, dont le pouvoir discriminant est caractérisé par la relation de préférence stricte ou d'indifférence (sans seuil). Pour atteindre cet objectif, la méthode ELECTRE I vise à sélectionner un sous-ensemble d'alternatives contenant les bonnes alternatives, y compris certainement le meilleur compromis cherché qui sera choisi par le décideur. [26]

I.4.2.2.1.2. Méthode ELECTRE-IS

Cette méthode est proposée par Roy et Skalka est inspirée de la méthode ELECTRE I. La différence entre les deux méthodes c'est que la méthode ELECTRE IS est adaptée au cas où

les critères sont des pseudos critères, où le pouvoir discriminant est marqué par deux seuils : un seuil de préférence et un seuil d'indifférence. [27]

I.4.2.2.1.3. Méthode ELECTRE II

La méthode ELECTRE II vise à traiter le problème du rangement (p_γ). L'objectif est de ranger les alternatives potentielles de la meilleure à la moins bonne suivant un ensemble de vrais-critères. La différence de cette méthode par rapport à la méthode ELECTRE I est au niveau de l'existence de deux relations de surclassement : le surclassement fort et le surclassement faible. ([28] ; [29])

I.4.2.2.1.4. Méthode ELECTRE III

De même, la méthode ELECTRE III [30] est applicable au cas de résolution de la problématique du rangement (p_γ), dont l'objectif est d'avoir les alternatives potentielles rangées. Cette méthode est considérée comme une amélioration de la méthode ELECTRE II par l'ajout des pseudo-critères et la capacité d'accommoder des données imprécises, inexactes et, même, peu fiables. Elle est beaucoup plus sophistiquée par rapport à ELECTRE II et considérée trop compliquée et difficile à interpréter. [31]

I.4.2.2.1.5. Méthode ELECTRE IV

La méthode ELECTRE IV [32] provient aussi de la problématique (p_γ). Elle se base, comme ELECTRE IS et ELECTRE III, sur des pseudo-critères. Bien que, souvent, c'est difficile de définir les coefficients d'importance relative à chacun des critères, cette méthode n'introduit pas de pondération des critères. Cela ne néglige pas l'importance de chaque critère, mais implique que chaque critère ne soit pas négligé par rapport à un autre [31]. Les hypothèses de surclassement, la concordance et la discordance dans cette méthode sont abandonnées.

I.4.2.2.1.6. Méthode ELECTRE-TRI

Electre TRI est une méthode multicritère qui permet de résoudre des problèmes d'affectation ou de TRI. Le principe de la méthode est d'assigner un ensemble de n alternatives ou d'actions notées $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ qui représentent l'objet de la décision, à des catégories ou classes prédéfinies. Le nombre de catégories est supposé connu, cependant la limite entre catégories n'est pas clairement établie, elle est ajustée lors de l'implémentation de la méthode.

La figure I.1 illustre le principe de la méthode ELECTRE-TRI. Pour m critères de décision, chaque action de l'ensemble A sera évaluée par les fonctions $g_1, g_2, \dots, g_m$, définies pour chaque critère $j = 1, \dots, m$. On définit également des poids $k_1, k_2, \dots, k_m$, qui traduisent l'importance des critères dans la décision. Les actions ne sont pas comparées entre elles, mais comparées à des seuils traduisant la frontière entre les $(h+1)$ catégories hiérarchisées prédéfinies, notées $C_1, C_2, \dots, C_{h+1}$ délimitées par h profils : $b_1, b_2, \dots, b_h$. Où b_h représente la limite supérieure de la catégorie C_h et la limite inférieure de la catégorie C_{h+1} . L'affectation des actions dans les catégories se base sur le concept de surclassement. Une action a de l'ensemble A surclasse b_h , notée aSb_h , si a est aussi bonne que b_h sur tous les critères et a n'est pas plus mauvaise que b_h sur la majorité des critères (a peut être plus mauvaise que b_h sur certains critères). [33]

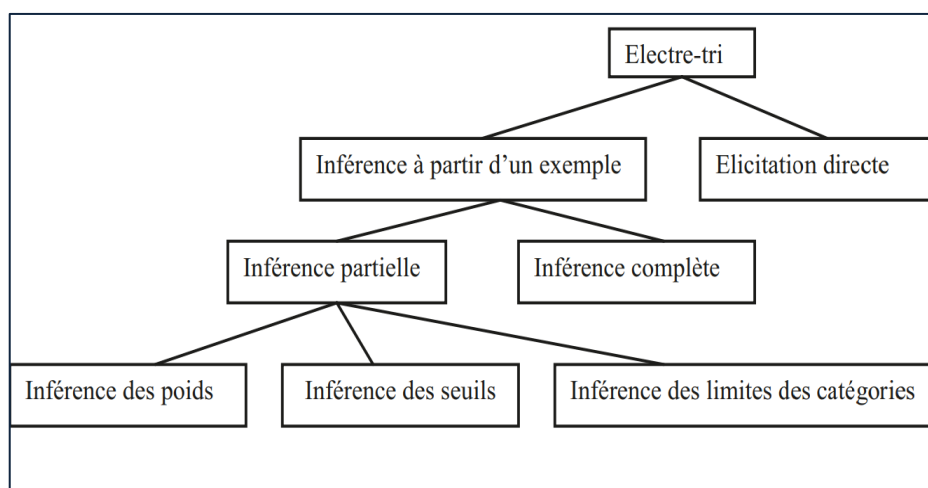


Figure I.1 : Illustration de la méthode ELECTRE-TRI. [33]

▪ Quelques exemples pratiques de ces méthodes

La gestion de l'environnement comprend de nombreux aspects non quantitatifs et non commensurables. C'est pourquoi les méthodes par agrégation partielle semblent se tailler la part du lion dans ce domaine. Voici à titre d'exemple, quelques cas concrets [9] :

- ✓ La méthode ELECTRE II a été utilisée par Maystre et De Heer pour établir un ordre de préférence parmi 14 stratégies face à 5 critères, en vue de lutter contre l'eutrophisation du Lac de Joux (Suisse) ; [34]

- ✓ Macris, classa 23 unités politico-administratives face à 12 critères grâce à ELECTRE IV. Cela lui permit de définir des priorités politiques de protection de l'environnement dans le Bade-Wurtemberg (Allemagne) ; [35]
- ✓ Une étudiante réalisant un “projet de semestre” à l'EPFL5, Marchand utilisa en 2 temps Méthodes II, avec 5 puis 3 critères, pour déterminer, parmi 43 décharges des Franches-Montagnes (Suisse), celles qui devaient être fermées ; [36]
- ✓ Méthodes III fut utilisée par Diop, afin de classer 8 politiques de gestion des déchets urbains de Dakar (Sénégal) ; [37]
- ✓ Simos, départagea 14 politiques évaluées grâce à 11 critères en utilisant ELECTRE III ; [38]
- ✓ Serrano, aida les communes de la région Provence, Alpes, Côte d'Azur à déceler les postes, dans leur budget de fonctionnement, dont la dépense d'énergie était manifestement trop forte. [39] Il utilisa pour cela une méthode de tri trichotomique, basée sur les surclassements et mise au point par Roy ; [40]
- ✓ Avignon et Sauvageau, ont intégré des critères environnementaux aux traditionnels critères techniques et économiques afin de choisir parmi six scénarios d'équipement en lignes électriques au Québec, quels seraient les meilleurs. Ils utilisèrent pour cela ELECTRE III ; [41]
- ✓ Enfin, on trouvera, en matière de gestion intégrée des ressources naturelles (forêts, rivières, lacs,...), une foule de références dans ([13] ; [42] ; [12] ; [43]).

I.4.2.2.2. Méthodes PROMETHEE : Preference Ranking Organisation METHode for Enrichement Evaluation)

PROMETHEE a été développée par le professeur Jean-Pierre Brans en 1982, (Brans et Vincke, 1985) sur la base théorique d'ELECTRE [26]. Les méthodes PROMETHEE se basent sur une extension de la notion de critère par l'introduction d'une fonction exprimant la préférence du décideur pour une action a_i par rapport à une autre action a_k . Pour chaque critère, Les paramètres relatifs à chaque courbe représentent des seuils d'indifférence et/ou de préférence. [44]

Le décideur est appelé à choisir une des six formes de courbes représentées ci-dessous :

- ✓ Type 1 (Vrai-critère): Dans ce cas, deux actions a et b ne sont indifférentes que si $f_j(a) = f_j(b)$. Sinon, l'un est strictement préféré à l'autre. Par conséquent, le concept de préférence n'est pas enrichi dans cette situation ;
- ✓ Type 2 (Quasi-critère): Lorsqu'une fonction de préférence en Quasi-critère est affectée à un critère, une paire d'actions a et b sont indifférentes tandis que la différence entre leurs évaluations $(f_j(a) - f_j(b))$ ne dépasse pas une limite spécifiée. Pour les différences supérieures à cette valeur, la préférence est stricte. Le paramètre q doit être fixé, représentant la différence maximale considérée comme indifférente entre deux évaluations. En d'autres termes, q est un seuil d'indifférence ;
- ✓ Type 3 (Pré-critère): Le troisième type de fonction de préférence permet au décideur de préférer progressivement une action à une autre en fonction de la distance existant entre les deux actions. Le degré de préférence augmente linéairement jusqu'à la limite p , car pour des différences supérieures à cette valeur, la préférence est déjà stricte. Le paramètre p est déterminé en diminuant progressivement q tandis que la préférence est considérée comme stricte (selon le point de vue du décideur). Par conséquent, p est un seuil de préférence stricte ;
- ✓ Type 4 (Pseudo-critère 1): Dans ce cas, deux actions a et b sont indifférentes jusqu'à ce que la différence entre leurs évaluations sur ce critère atteigne la limite q . Ensuite, il y a une faible préférence si $(f_j(a) - f_j(b))$ est supérieur à q mais inférieur à p et c'est pourquoi la valeur $\frac{1}{2}$ est affectée à la fonction de préférence. Enfin, si la différence entre les évaluations est supérieure à p , la préférence d'une action par rapport à l'autre est stricte. Il est clair que ce type de fonction de préférence nécessite la définition de deux paramètres: q et p . Il est à noter que les fonctions de préférence des types I et II sont des cas particuliers de ce type de fonction de préférence ;
- ✓ Type 5 (Pseudo-critère 2): Les fonctions de préférence de type V sont similaires à celles de type III mais considèrent l'indifférence entre deux actions lorsque la différence entre leurs évaluations est inférieure à un paramètre q . Par conséquent, la détermination des paramètres q et p est également nécessaire. Il convient de souligner que les fonctions

de préférence des types I, II et III sont des cas particuliers de ce type de fonction de préférence ;

- ✓ Type 6 (Critère gaussien 1): Enfin, les fonctions de préférence gaussiennes augmentent progressivement en fonction de la différence entre les actions. Le paramètre qui doit être fixé dans ce cas est s . Lorsque la distance entre les actions est égale à s , le degré de préférence prend la valeur 0,39. Afin de faciliter la tâche du décideur, la valeur de s peut être déterminée entre deux valeurs fictives q et p . Si le décideur veut renforcer le degré de préférence lorsque les distances sont petites, alors s doit être proche de q . Cependant, s'il souhaite adoucir la progression du degré de préférence en fonction des distances, le paramètre s doit être proche de p . [45]

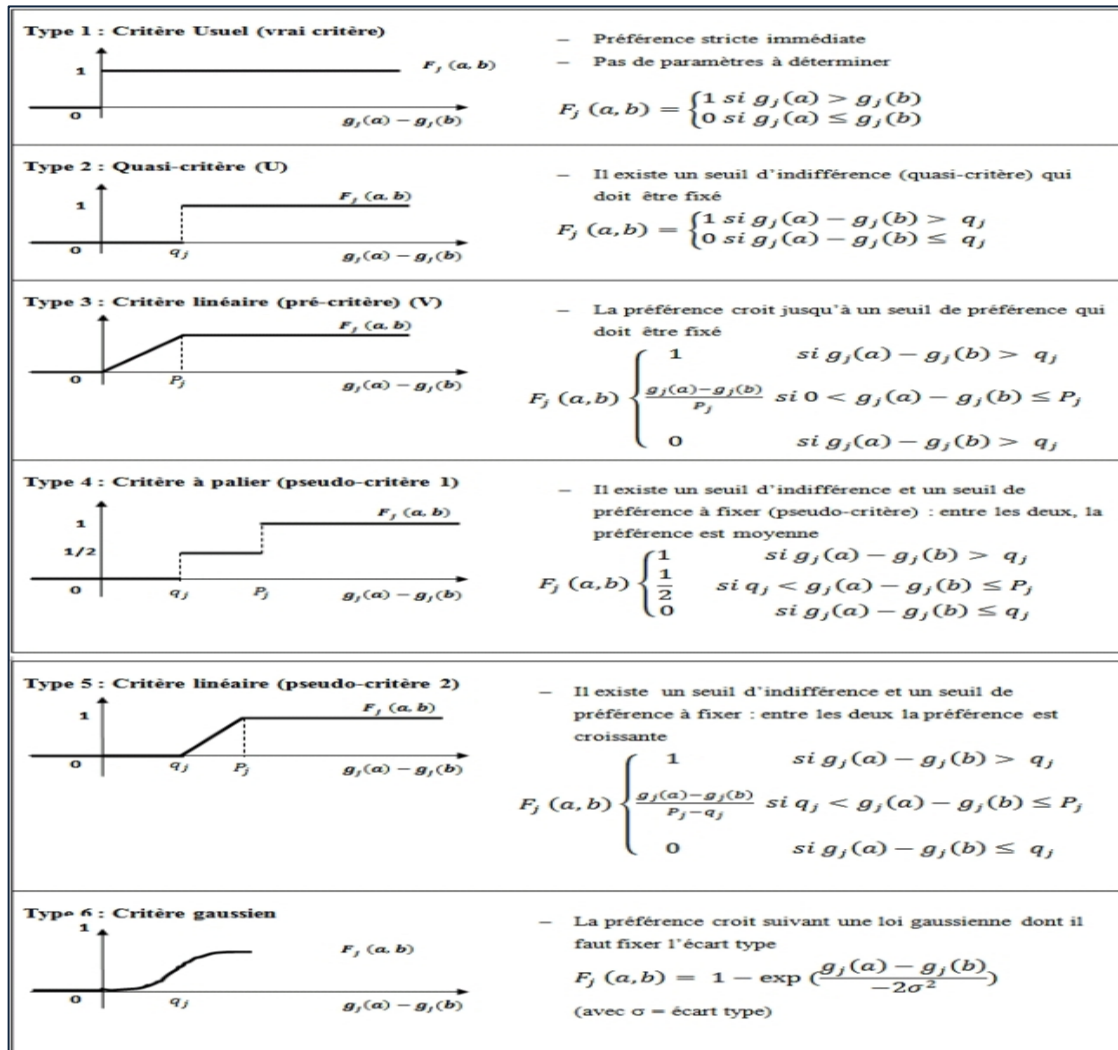


Figure I.2 : Les six types de fonction de PROMETHEE. [13]

Nous présentons dans cette partie les différentes méthodes de la famille PROMETHEE : PROMETHEE I, II, III, IV et V.

I.4.2.2.2.1. Méthode PROMETHEE I

La méthode PROMETHEE I vise à utiliser une relation de surclassement évaluée afin de construire un pré-ordre partiel des alternatives. L'objectif est de trouver une solution au problème du choix (P_a). Cette méthode n'assure pas forcément le classement de toutes les alternatives. Par conséquent, certaines alternatives peuvent rester incomparables. Cela peut être très utile pour la prise de décision du point de vue pré-ordre partiel qui peut contenir plus d'informations. PROMETHEE I s'applique au cas où les critères sont des pseudo-critères et repose exclusivement sur une analyse de concordance. [46]

I.4.2.2.2.2. Méthode PROMETHEE II

La méthode PROMETHEE II conduit à un rangement des actions en un pré-ordre total où on n'accepte pas l'incomparabilité : toutes les actions sont classées de la meilleure à la moins bonne. En effet, le flux net ϕ_i peut être positif ou négatif. Plus il est grand, plus l'action x_i domine l'ensemble des autres, moins elle est dominée. Ainsi :

- x_i surclasse x_j si et seulement si $\phi_i > \phi_j$;
- x_i est indifférente à x_j si et seulement si $\phi_i = \phi_j$.

La méthode PROMETHEE II exige l'affectation d'un c.i.r. à chacun des critères. Ces c.i.r. sont généralement fournis par le décideur. Or, il peut être assez difficile pour le décideur de fournir des valeurs précises et objectives pour ces c.i.r. Pour exploiter au maximum l'information partielle que le décideur est en mesure de fournir concernant ses préférences, nous proposons dans la section suivante une approche pour la détermination des c.i.r. des critères dans la méthode PROMETHEE II en utilisant la programmation mathématique. [47]

I.4.2.2.2.3. Méthode PROMETHEE III

La méthode PROMETHEE III est une extension de PROMETHEE II. Elle vise à amplifier la notion d'indifférence, due au pré-ordre complet des alternatives, existant dans PROMETHEE II. [44]

I.4.2.2.2.4. Méthode PROMETHEE IV

Cette méthode étend aussi la méthode PROMETHEE II. Elle répond au problème du choix (p_α) dans le cas d'un ensemble infini d'alternatives. Ces alternatives peuvent être par exemple des dimensions d'un produit, des compositions d'un alliage et des investissements, etc. [48]

I.4.2.2.2.5. Méthode PROMETHEE V

Dans certains cas, le problème posé n'est pas de sélectionner une action particulière ou de ranger l'ensemble des actions de la meilleure à la moins bonne, mais au contraire de sélectionner un sous-ensemble d'actions. La problématique n'est plus de type P_α ou P_β mais d'un type plus complexe, noté P_α, θ_n . Elle consiste à choisir θ actions parmi n , le nombre θ étant fixé à l'avance, ou à déterminer selon les cas.

Dans ce cas le problème peut se définir de la façon suivante:

$\text{Max}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) / x \in A\}$ Sous les contraintes additionnelles

Il est clair qu'il s'agit toujours d'un problème mathématiquement mal posé, mais économiquement bien posé pour le décideur. [49]

Brans et Mareschal, proposaient la procédure PROMETHEE V qui substitue au problème multicritère initial un problème mathématiquement bien posé, prenant en compte l'information que l'on peut acquérir sur le problème sans contraintes par les procédures PROMETHEE et GAIA. [50]

Tableau I.1 : Comparatif des méthodes PROMETHEE. [51]

Méthodes	Caractéristiques
PROMETHEE I	Pré-ordre partiel (préférence stricte, indifférence et incomparabilité)
PROMETHEE II	Pré-ordre total (indifférence et préférence stricte)
PROMETHEE III	Un ordre d'intervalle
PROMETHEE IV	L'ensemble des solutions admissibles est un continuum
PROMETHEE V	Choix multicritères avec contraintes de segmentation

I.4.2.3. Méthodes d'agrégation locale (l'approche du jugement local interactif)

Une méthode interactive consiste à une alternance d'étapes de calcul et d'étapes de dialogue avec le décideur. La première étape de calcul fournit une première solution. Celle-ci est présentée au décideur qui réagit en apportant des informations supplémentaires sur ses préférences (Étape de dialogue : par exemple, on demande au décideur sur quel critère il est prêt à faire une concession et quelle quantité maximale Δ_j il accepte de concéder; quelle contrainte il accepte de relâcher, sur quelle contrainte il accepte d'être plus sévère...). Cette information est injectée dans le modèle utilisé et permet de construire une nouvelle solution.

Les méthodes interactives se distinguent des autres méthodes d'aide à la décision par le fait que le décideur contribue directement à la construction de la solution en intervenant dans la méthode et non seulement dans la définition du problème.

La présentation détaillée des fondements de certaines méthodes interactives dépasse le cadre de ce chapitre. Nous nous limitons donc à lister un certain nombre de méthodes interactives : la méthode STEM [52], la méthode de Geoffrion, Dyer et Freinberg [53], la méthode du point de mire [54], la méthode de Zionts et Wallenius [55], la méthode de Vincke [56], la méthode du point de référence [57], la méthode de Steuer et Choo [58], la méthode de Korhonen et Laakso [59], la méthode de Jacquet-Lagréze, Meziani et Slowinski [19], la méthode de Vanderpooten [60]... cité en [14].

▪ Quelques exemples pratiques de ces méthodes

Voici quelques applications environnementales de ces méthodes :

- ✓ Un modèle fondé sur la PLM fut utilisé par Cohon, Reville et al, en vue de trouver la meilleure localisation d'une centrale électrique ; [61]
- ✓ Ellis, se servit aussi de la PLM pour résoudre un problème relatif au contrôle des pluies acides ; [62]
- ✓ Une variante de la méthode STEM permit à Glover et Martinson, de résoudre un problème lié à l'aménagement du territoire ; [63]
- ✓ Enfin, lors d'une étude de Jordi et Peddie, la PLM intervint encore dans la gestion de réserves d'animaux sauvages en Afrique ; [64]

I.5. Aide à la décision

I.5.1.Définition

Philippe Vincke, a défini l'aide multicritère ainsi: « L'aide multicritère à la décision vise, comme son nom l'indique, à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution du problème de décision à plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte ». [65]

Pour Bouyssou, l'argument réaliste selon lequel la réalité étant multidimensionnelle, il est naturel que l'on prenne en compte plusieurs points de vue pour aider à la décision et donc qu'on utilise des méthodes multicritères, ne peut à lui seul justifier d'adopter une démarche multicritère pour aider à la décision. Utiliser un tel argument conduirait à voir le monocritère comme un cas limite et dégénéré du multicritère. [66]

Selon Deparis, le but de l'aide à la décision est de formaliser un problème afin de clarifier la manière dont les compromis seront effectués et d'aider le décideur à structurer ses préférences. [67]

Roy, note que les préférences des décideurs ont essentielles dans la vie des individus aussi bien que des collectivités. Ainsi, ils soulignent que leurs modélisations constituent une étape indispensable dans plusieurs disciplines comme l'économie, la recherche opérationnelle et la théorie de décision, etc. [31]

Deparis, admet que l'aide à la décision permet de s'assurer, d'une part, que l'action choisie soit optimale compte tenu des préférences du décideur et d'autre part, que la procédure de décision respecte certaines normes de rationalité. [67]

L'aide multicritère à la décision œuvre à apporter un éclairage et des explications à une catégorie de problèmes où:

- ✓ Plusieurs critères quantitatifs et qualitatifs sont pris en considération ; - Ces critères sont souvent hétérogènes;
- ✓ Ces critères sont généralement conflictuels; - Ces critères sont généralement considérés d'inégale importance. [68]

I.5.2. Démarche de l'aide multicritère à la décision

Il existe trois démarches, celle de Keeney, (1992), de Roy, (1985) et celle de Laaribi, (2000) qui est une démarche intermédiaire entre les deux premières :

- ✚ Keeney, a proposé l'approche du « haut vers le bas » (top-down) qui consiste à construire une structure hiérarchique ayant à son premier niveau l'objectif global qui est « éclaté » en sous-objectifs qui sont à leur tour « éclatés » en sous-sous-objectifs jusqu'à ce que l'on atteigne un niveau mesurable que l'on qualifie d'attributs (Figure I.3) ; [69]
- ✚ Roy, se base sur une approche de « bas vers le haut » (bottom-up) qui consiste à identifier toutes les conséquences pouvant résulter de la mise en œuvre des actions, que l'on structure en dimensions puis en axes de signification autour desquels sont construits les critères (figure I.4) ; [10]
- ✚ Laaribi, a proposé une approche intermédiaire qui, selon lui, est de portée plus générale (figure I.5). Son approche est décrite comme suit : « partant d'une situation de décision quelconque (perception d'un problème de décision), il ya lieu de tenter de dégager au départ les objectifs qu'on cherche à atteindre. En tenant compte de ces objectifs, un faisceau de points de vue pourrait se dégager, exprimant en quelque sort des classes de critères. Aussi, les objectifs permettraient de définir des actions (globales) ou des scénarios (ensemble des actions fragmentées), tandis que la famille de points de vue se traduit généralement par un ensemble de critères qui permettraient de procéder à une évaluation des actions ou des scénarios. Une fois l'évaluation effectuée, on procède à l'investigation par une procédure d'agrégation multicritère appropriée afin de parvenir à une recommandation. [70]

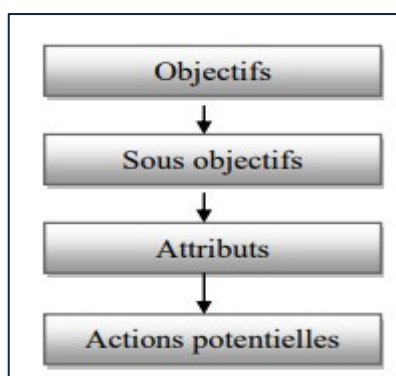


Figure I.3 : Démarche top-down d'analyse multicritère. [69]

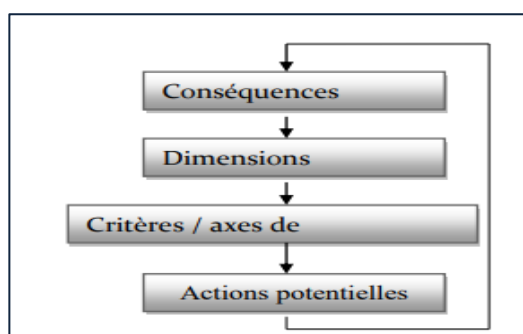


Figure I.4 : Démarche bottom-up d'analyse multicritère. [10]

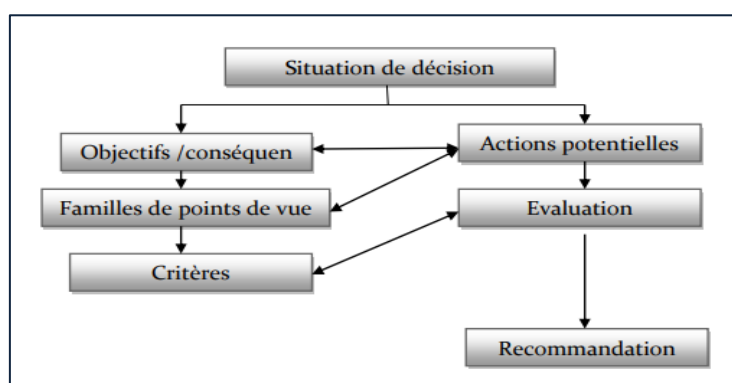


Figure I.5 : Démarche intermédiaire d'analyse multicritère. [70]

I.5.3. Terminologie de base de l'AMC

Actions potentielles, critères, unités et poids des critères sont la terminologie utilisée dans la plupart des méthodes appartenant à l'AMC. Le Tableau I.2 décrit clairement ces termes utilisés.

Tableau I.2 : Terminologie de l'analyse multicritère. [71]

Terminologie	Description
Actions potentielles (alternatives)	Choix disponibles (de quelques-uns à des centaines)
Critères (attributs)	Aspects suivant lesquels les alternatives sont examinées (qualitatifs ou quantitatifs)
Unités	Façon d'exprimer la performance vs les critères (tangibles ou intangibles)
Poids des critères	Importance attribuée aux critères

I.5.4. Processus d'aide à la décision multicritère

Le processus d'aide à la décision multicritère (figure I.6 de Nafi et Werey) se compose de quatre étapes fondamentales qui sont les suivantes [33] :

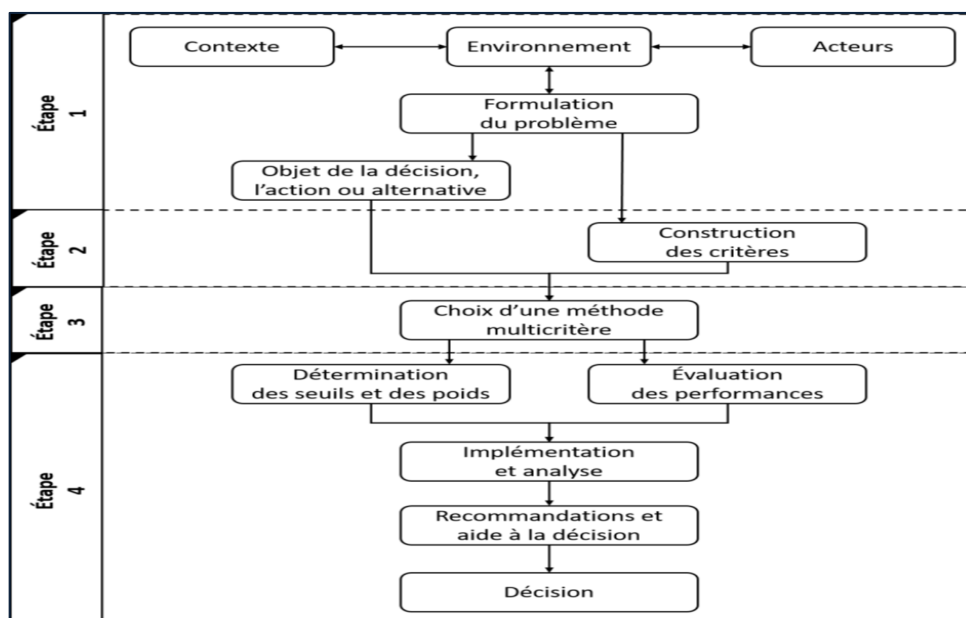


Figure I.6 : Processus de décision multicritère. [33]

➤ **Étape 1. Définition du problème et de l'objet de la décision :**

La définition du problème repose sur la définition de la nature du problème à traiter en le formulant soit en une problématique du choix, du tri, du rangement ou bien de description. Pour la détermination de l'objet de la décision, cela consiste à identifier les alternatives potentielles sur lesquelles va porter la décision ;

➤ **Étape 2. Analyse des conséquences et détermination des critères :**

Lors de cette étape, il faut identifier et mesurer les conséquences des alternatives. Une alternative a, le plus souvent, plusieurs conséquences en fonction d'un critère donné. Le tableau I.3 de Jacquet-Lagrèze et Roy, récapitule les différentes situations possibles lors de la comparaison entre deux alternatives. Pour la construction des critères, il s'agit d'identifier les enjeux et la nature des conséquences possibles sur les alternatives potentielles. Ces critères nécessitent une évaluation de la contribution et l'influence de chaque critère dans la décision finale. Ceci est traduit par la pondération des critères ;

Tableau I.3 : Récapitule les différentes situations possibles lors de la comparaison entre deux alternatives. [72]

Situation	Définition	Relation binaire
Indifférence	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre deux alternatives	I : relation symétrique (réflexive)
Préférence stricte	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une (identifiée) des deux alternatives	P : relation asymétrique (irréflexive)
Préférence faible	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui infirment une préférence stricte en faveur de l'une (identifiée) des deux alternatives. Par contre, ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre, soit une indifférence entre ces deux alternatives	Q : relation asymétrique (irréflexive)
Incomparabilité	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes	R : relation symétrique (irréflexive)

➤ Étape 3. Choix d'une méthode d'aide à la décision multicritère :

Le choix d'une méthode d'aide à la décision multicritère dépend du type du problème posé ;

➤ Étape 4. Performance des alternatives :

Quand l'analyse des conséquences des alternatives potentielles est basée sur plusieurs critères, c'est l'analyse multicritère qui donne une réponse au problème posé par l'utilisation par exemple du seuil de préférence, d'indifférence et de veto dans certaines méthodes. Selon Jacquet-Lagrèze et Roy, il existe différentes situations et relations intervenant dans la modélisation des préférences relativement à deux alternatives. Celles-ci sont au nombre de cinq et leurs définitions figurent le tableau I.4.

Tableau I.4 : Différentes situations et relations intervenant dans la modélisation des préférences. [72]

Situation	Définition
Non préférence	Elle correspond à l'absence de raisons claires et positives qui justifient une préférence stricte ou une préférence faible en faveur de l'une quelconque des deux alternatives et regroupe par conséquent, sans possibilité de les différencier, les situations d'indifférence et d'incomparabilité
Préférence (au sens large)	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence stricte ou une préférence faible en faveur de l'une (identifiée) des deux alternatives et regroupe par conséquent, sans possibilité de les différencier, les situations de préférences strictes et de préférences faibles
Présomption de préférence	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient la préférence faible (si faible soit-elle) en faveur de l'une (identifiée) des deux alternatives ou tout simplement l'indifférence entre elles deux, mais sans qu'aucune épuration significative ne soit établie entre les situations de préférence faible et d'indifférence
K-préférence	Elle correspond soit à l'existence de raisons claires et positives qui justifient la préférence stricte en faveur de l'une des deux alternatives, soit à l'incomparabilité de ces deux alternatives, mais sans qu'aucune séparation significative ne soit établie entre cette dernière situation et celle de préférence stricte
Surclassement	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient soit une préférence stricte, soit une présomption de préférence en faveur de l'une (identifiée) des deux alternatives, mais sans qu'aucune séparation significative ne soit établie entre les situations de préférences strictes, de préférences faibles et d'indifférences

I.5.5. Les avantages et les inconvénients Des différentes méthodes d'analyse multicritère

Les méthodes d'aide à la décision multicritère constituent chacune des avantages et des inconvénients dans leurs applications et différer selon le besoin d'utilisation, cependant elles permettent tout d'aider le décideur à faire un choix judicieux et une meilleure sélection.

Tableau I.5 : Récapitule les avantages et les inconvénients des différentes méthodes d'analyse multicritère. [51]

Méthodes	Avantages	Inconvénients
AHP	- La structure hiérarchique du problème de décision - L'échelle sémantique utilisée pour exprimer les préférences du décideur	-L'explosion du nombre de comparaison par paires au cas du traitement d'un grand nombre d'éléments -Le renversement de rang des alternatives suite à la suppression/ajout d'une ou de plusieurs alternatives -L'association d'une échelle numérique à l'échelle sémantique est restrictive
TOPSIS	- L'apport de la méthode TOPSIS est l'introduction des notions d'idéales et d'anti-idéales - Facile à appliquer	- L'obligation que les attributs doivent être de nature cardinale - Au cas où toutes les alternatives sont mauvaises, TOPSIS propose la meilleure alternative parmi les mauvaises - Le caractère arbitraire du choix de la distance au point idéal et au point anti-idéal
SMART	-La méthode SMART est facile à exploiter	-Elle exige une articulation a-priori des préférences, et une évaluation des actions sur une échelle unique

MAVT	-La méthode MAVT est très pratique pour les problèmes d'aide à la décision, les problèmes d'économie, de finance et d'actuariat	-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
MAUT	-La méthode 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

UTA	-Dans UTA, les fonctions d'utilité partielle découlent toutes à la fois de la préférence globale exprimée par le décideur	-La méthode UTA exige des données cardinales, une articulation a-priori des préférences, une famille de vrais-critères -UTA exige l'indépendance au sens des préférences
EVAMIX	-La méthode EVAMIX est facile à mettre en œuvre -Elle a l'avantage de traiter les évaluations ordinales et cardinales	-La méthode EVAMIX exige une articulation a-priori des préférences, et une structure de préférence du type $\{P, I\}$
ELECTRE I et IS	-L'introduction de la notion de noyau permet de restreindre le domaine de l'étude pour s'intéresser uniquement aux meilleures alternatives	-L'exigence de traduire les performances des alternatives en notes peut conduire à une perte de maîtrise des données
ELECTRE II	- Le classement des alternatives des meilleures aux moins bonnes	- L'exigence des évaluations Cardinales et l'articulation a-priori des préférences
ELECTRE III	- Le classement d'alternatives des meilleures aux moins bonnes - L'admission de la notion floue dans les choix du décideur et l'introduction du seuil veto	- La nécessité d'un grand nombre de paramètres techniques - Trop complexe et parfois difficile à interpréter
ELECTRE IV	- L'association à chaque Critère des seuils de préférences et la suppression de la pondération des critères	- La nécessité d'un grand nombre de paramètres techniques

ELECTRE TRI	- La capacité du traitement d'un grand nombre d'alternatives	- La nécessité d'un grand nombre de paramètres techniques - L'impossibilité dans certain cas de comparer chaque alternative avec les alternatives bornant les différentes catégories - La définition des catégories liées aux choix des alternatives de référence
PROMETHEE I	- La construction de la relation de surclassement évaluée traduisant une intensité de préférence	- L'indifférence est en pratique très rare vu les nombreux calculs pour obtenir les flux
PROMETHEE II	- La construction d'un pré-ordre total excluant l'incomparabilité et réduisant fortement l'indifférence	- Les comparaisons deux à deux ne servent qu'à masquer le calcul du score final de chaque alternative
PROMETHEE III	- L'introduction 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. Ces seuils font l'objet des calculs statistiques qui rendent PROMETHEE III moins accessible
PROMETHEE IV	- L'intérêt théorique apporté et le traitement des ensembles infinis d'alternatives	-La nécessité du calcul des intégrales au lieu des sommes

1.5.6. Méthode AHP

La méthode AHP se décompose en quatre étapes [73] : hiérarchisation des indicateurs par importance, du plus important au moins important, construction d'une matrice à partir de la comparaison des indicateurs deux à deux, détermination des poids associés à chaque indicateur grâce à une méthode de calcul des vecteurs propres, et enfin, vérification de la consistance du résultat.

I.5.6.1. Hiérarchisation des indicateurs par importance

Cette étape consiste à établir des priorités entre indicateurs appartenant au même critère, selon le principe de l'importance. Soit $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ l'ensemble des indicateurs dont on cherche le coefficient de pondération. Selon le principe de la hiérarchisation, (I_1) est plus important que (I_2) qui est plus important que (I_{i-1}), lequel est plus important que (I_i). A la fin, I_n est l'indicateur le moins important.

I.5.6.2. Comparaison des indicateurs par importance

Afin d'établir les préférences, une échelle de valeurs doit être choisie, pour spécifier le degré d'importance d'un indicateur par rapport à un autre. Nous adoptons l'échelle de valeur de 1 à 9 [74], permettant d'introduire les jugements du décideur plus proche de la réalité.

Tableau I.6 : Échelle de comparaison par paire des préférences de la méthode AHP. [74]

Intensité d'importance	Définition
1	Importance égale de deux éléments
3	Faible préférence (l'élément i par rapport à l'élément j)
5	Forte préférence (l'élément i par rapport à l'élément j)
7	Très forte préférence (l'élément i par rapport à l'élément j)
9	Préférence absolue (l'élément i par rapport à l'élément j)
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (l'élément i par rapport à l'élément j)
1/3	Faible préférence (l'élément j par rapport à l'élément i)
1/5	Forte préférence (l'élément j par rapport à l'élément i)
1/7	Très forte préférence (l'élément j par rapport à l'élément i)
1/9	Préférence absolue (l'élément j par rapport à l'élément i)
1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (l'élément j par rapport à l'élément i)

La comparaison entre tous les indicateurs donne la matrice suivante :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1i} & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ii} & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ a_{j1} & \cdots & a_{ij} & a_{jj} & \cdots & a_{jn} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{ni} & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} ; \text{ avec } a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \text{ et } a_{ii} = 1$$

A_{ij} est l'intensité de l'importance de (I_i) sur (I_j) et (w_i) le coefficient de pondération associé à (I_i) .

I.5.6.3. Détermination des poids associés à chaque indicateur

Dans cette étape, nous calculons le vecteur des coefficients de pondération $W = \{w_1, \dots, w_2, \dots, w_n\}$. Pour cela, nous divisons chaque a_{ij} par la somme des valeurs de la colonne correspondante et ensuite, nous effectuons une moyenne par ligne. Donc, chaque coefficient w_i est obtenu par la relation suivante :

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left[a_{il} / \sum_{k=1}^n a_{kl} \right]}{n} ; \text{ Avec la somme des } w_i \text{ doit être égale à 1.}$$

I.5.6.4. Vérification de la consistance du résultat

Un grand avantage de la méthode est qu'elle permet de calculer un indice de cohérence qui permet d'évaluer les calculs effectués. En d'autres termes, il permet de vérifier si les valeurs de l'échelle (1-9) attribuées par le décideur sont cohérentes ou non. Il fournit une mesure de la probabilité que la matrice a été complétée purement au hasard. A titre d'exemple, si le ratio CR est égal 0,20, cela veut dire qu'il y a une chance de 20% que le décideur ait répondu aux questions d'une façon purement aléatoire. On définit les vecteurs suivants :

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 & \cdots & \lambda'_i & \cdots & \lambda'_n \end{bmatrix} \text{ et } \begin{bmatrix} \lambda_1 & \cdots & \lambda_i & \cdots & \lambda_n \end{bmatrix} \text{ tel que :}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \vdots \\ \lambda'_i \\ \vdots \\ \lambda'_n \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n w_k \times \begin{bmatrix} a_{1k} \\ \vdots \\ a_{ik} \\ \vdots \\ a_{nk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{1i} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{bmatrix} w_1 + \dots + \begin{bmatrix} a_{li} \\ \vdots \\ a_{ii} \\ \vdots \\ a_{ni} \end{bmatrix} w_i + \dots + \begin{bmatrix} a_{ln} \\ \vdots \\ a_{in} \\ \vdots \\ a_{nn} \end{bmatrix} w_n$$

$$\text{Et : } \lambda'_i = \frac{\lambda'_i}{w_i} \quad \text{Puis : } \lambda_{\max} = \left[\sum_{i=1}^n \lambda'_i \right] / n$$

L'indice de consistance CI est alors : $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$

Pour calculer le ratio de consistance CR, on divise l'indice de consistance par une valeur RI dépendant du nombre d'indicateur n (tailles de la matrice) donnés par le tableau suivant :

Tableau I.7 : Valeurs du coefficient RI. [74]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

L'attribution des poids est jugée acceptable si CR est inférieur à 0,1. Dans le cas contraire, la procédure doit être de nouveau appliquée.

I.6. Comparaison des méthodes

Le choix de la méthode d'agrégation n'est pas facile. En effet, il n'existe pas une méthodologie bien détaillée pour faire ce choix. Certains pensent même qu'il faut passer par un processus multicritère pour faire un choix qui reste toujours insatisfaisant pour fournir un choix clair. [75]

Guitouni et Martel, remarquent que la plupart des analystes et chercheurs sont incapables de justifier le choix d'une méthode multicritère, c'est pourquoi, par familiarité ou affinité avec une méthode donnée, on justifie son choix [76]. À la lumière de ce qui précède, on va ressortir les avantages, les inconvénients et les particularités de chaque méthode afin d'éclaircir notre choix de la méthode AHP (Tableau I.8 et Tableau I.9). [71]

Tableau I.8 : Comparaison des méthodes AHP, MAUT et ELECTRE. [71]

	AHP	MAUT	ELECTRE
Interdépendance des critères	Autorisée	Non autorisée	Non autorisée
Type de poids	Cardinal	Cardinal	Cardinal
Type de résultat	Classement complet	Classement complet	Option non dominante/\$ calculé
Transparence	Élevée	Élevée	Moyenne
Type de données	Qualitative et quantitative	Qualitative et quantitative	Seulement quantitative

Tableau I.9 : Comparaison des méthodes AHP, MAUT et ELECTRE selon le niveau de satisfaction. [71]

	Critère de comparaison entre méthodes	AHP	MAUT	ELECTRE
Transparence	Analyse de décision d'offres la plus proche à approche humaine-raisonnable	(1) ***	***	**
	Bien structuré et facile de suivre	***	**	**
	Utilise des approximations mathématiques directes pour représenter la réalité	***	***	**
Simplicité	Simplicité	***	**	*
Robustesse	Traitement de tout nombre de Projets	***	***	**
	Traitement de tout nombre de Critères	***	***	***
	Encouragement de groupe d'intérêt spécial	***	*	*
	Sensitivité	***	***	***

(1) : le nombre des symboles * représente le niveau de satisfaction de la méthode au critère.

I.7. Justification de choix de la méthode

Notre choix basé sur la méthode AHP dans l'évaluation de l'état de dégradation des réseaux d'AEP a été bien justifié en se basant sur :

Depuis son invention par Saaty, L'AHP est très utilisé par les chercheurs et les praticiens, surtout dans les pays anglophone (figure I.7). C'est une méthodologie systématique, flexible et simple pour l'aide à la décision multicritères.

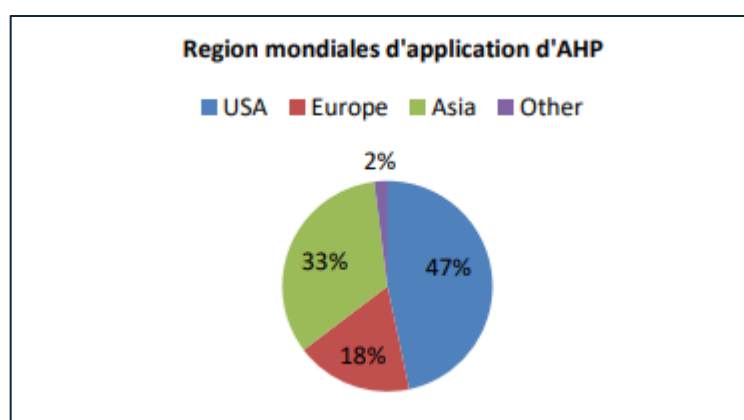


Figure I.7 : Utilisation d'AHP selon les régions mondiales. [77]

Une importante littérature traite les avantages et les inconvénients d'AHP [78], nous résumons les avantages de la méthode AHP dans les points suivants :

- Simplicité d'utilisation ;
- Élimination des ennuis dus aux unités de mesure ;
- Bonne illustration graphique ;
- Évaluation de plusieurs attributs (critères et alternatives à la fois souvent contradictoires) ;
- Possibilité de valider la cohérence sur la base du calcul de la valeur propre.

La méthode AHP présente toutefois certaines limites qui doivent être prise en compte lors de son utilisation [79] :

- **Renversement du rang**

Une des principales critiques de la méthode AHP réside dans le fait qu'il y a possibilité de renversement du rang des alternatives dit « Rank reversal » lors de l'ajout ou la suppression de critères.

- **Nécessité d'interprétation des résultats**

Les résultats obtenus grâce à la méthode AHP s'avèrent très utiles dans une prise de décision.

Par contre, le jugement et l'expérience d'experts sont et seront toujours nécessaires pour interpréter l'ordre définitif des options ainsi que la décision finale.

- **Subjectivité de l'analyse**

Il est important de noter qu'une analyse individuelle avec la méthode AHP sera toujours influencée par la vision et les valeurs personnelles du répondant. La subjectivité sera inévitablement introduite dans l'analyse puisqu'il s'agit de l'intuition du décideur et sa perception de l'environnement de la décision.

Et d'autre part, dans notre cas, nous rappelons que l'objectif est:

- ✓ Méthodologie d'évaluation de la gestion du service d'alimentation en eau potable ;
- ✓ Sélectionner les tronçons de réseau à renouveler ;
- ✓ Classer les secteurs par ordre de priorité ;
- ✓ Classer les secteurs selon la performance des actions.

I.8. Conclusion

Au terme de ce chapitre, qui ne suggère que les bases du multicritère, le lecteur ne peut ignorer la richesse et les potentialités, notamment en alimentation en eau potable, de l'aide multicritère à la décision. En effet, celle-ci foisonne de nuances qui, contrairement au monopole du simplexe en programmation linéaire, permettent l'élaboration de nombreuses méthodes, voire de variantes méthodes. Mais face à cette abondance, comment choisir ?

Tout dépend des moyens techniques dont on dispose, du type et de la quantité d'informations qui sont fournies ou recueillies, du type de résultat souhaité, des éventuelles connaissances du décideur en matière d'aide multicritère à la décision...

En outre, l'expérience de l'homme d'étude pourra être déterminante.

Enfin, on peut appliquer deux méthodes d'aide à la décision pour traiter des problèmes différents. Il faut toutefois attirer l'attention du lecteur sur le fait que toutes les méthodes ne sont pas aisément adaptables à tous les problèmes. Par exemple, les méthodes d'agrégation locale sont plutôt destinées à des problèmes de choix, moins à des problèmes de classement d'actions. Par contre, si les méthodes de sur classement peuvent couvrir aussi bien des problèmes de choix, de tri ou de classement d'actions, elles ne permettent que partiellement de traiter les cas où le nombre d'actions est infini. Ainsi, un aménagement du territoire implique un découpage non seulement de l'espace mais aussi du temps. Or il existe réellement une infinité de façons de procéder à ce découpage. Aussi faut-il s'arrêter à un nombre fini de variantes suffisamment distinctes afin de pouvoir appliquer la ou les méthodes qui permettront d'effectuer un classement de ces aménagements. Dans un tel problème, le facteur temps constitue en outre une difficulté lors de l'estimation des performances des actions.

Chapitre II

*Diagnostic du réseau
d'alimentation en eau potable de
centre-ville Chelghoum-Laid*

II.1. Introduction

Le diagnostic des systèmes d'alimentation en eau potable est une opération qui nous permet de vérifier l'état du système d'alimentation en eau potable, afin de détecter les anomalies sur ce système.

Aspect « Diagnostic » analysé qualitativement et quantitativement de tous les aléas pouvant exister sur le réseau et se manifester par des observations et des solutions.

Ce diagnostic se déroule en plusieurs étapes dont notamment le recueil des données, état des lieux, établissement des plans des réseaux, sectorisation et pré-diagnostic, mesure sur le réseau, recherche de fuites, bilan de l'étude, élaboration d'un programme d'actions, analyse approfondie du fonctionnement du réseau à partir d'une modélisation. [80]

II.2. Présentation de la zone d'étude

La commune de Chelghoum-Laid localisée au Sud de la wilaya de Mila. Cette dernière s'étend sur une superficie de $258,18\text{km}^2$. En 2008 la population de centre-ville de Chelghoum-Laid a été estimée à 54431hab et la densité communale $320\text{hab}/\text{km}^2$. [81]

II.2.1. Situation géographique

La commune de Chelghoum-Laid fait partie de la wilaya de Mila qui appartient aux hautes plaines Constantinoise, son territoire s'étend sur une superficie de 2583km^2 , il correspond à des grandes étendues de terres entrecoupées de reliefs isolés (Djebel Grouz et Djebel Toukouia) dont 501,5ha sont urbanisés. Elle est distance de 54km de Constantine, de 55km de Mila et 76km de Sétif [82]. La commune de Chelghoum-Laid est dotée d'un réseau routier assez important, ce réseau est composé essentiellement de:

- ✓ L'autoroute Est-Ouest qui passe de la côte Nord du chef-lieu, et la traverse de l'Est à l'Ouest sur 22,40km ;
- ✓ La route nationale RN100 qui traverse la commune du Sud vers le Nord, en passant par le chef-lieu, et rejoint l'autoroute Est-Ouest par un échangeur ;
- ✓ La route nationale RN5, traverse la commune de l'Est vers l'Ouest, en passant par le chef-lieu, et qui mène vers Constantine. Les routes nationales s'étendent sur 44,86km ;
- ✓ Les chemins de wilaya CW115 et CW48 sur 7,81km ;
- ✓ Une ligne de voie ferrée traverse la commune à la limite Sud et passe par la gare de Mechta El Arbi. Cette ligne fera objet d'un dédoublement ;
- ✓ Plusieurs chemins communales relient les agglomérations et s'étendent sur 107,70km.

La région est marquée par des altitudes qui varient entre 700m et 900m.

La situation géographique est définie par les coordonnées suivantes :

- ✓ Latitude $36^{\circ} 10' 0''$ Nord ;
- ✓ Longitude $6^{\circ} 10' 0''$ Est.



Figure II.1 : Carte des limites administratives montrant les limites du secteur d'étude (Chelghoum-Laid) échelle 1/2000. [83]

II.2.2. Situation administratives

La ville de Chelghoum-Laid Composée d'un chef-lieu de commune, d'une agglomération secondaire très importante Boukarana et de plusieurs regroupements ruraux, la commune de Chelghoum-Laid est limitée [82] :

- ✓ Au Nord par les communes d'Ain Melouk et Benyahia ;
- ✓ A l'Est par les communes d'Oued Athmania, Teleghma et Oued Seguen ;
- ✓ Au Sud par les communes de Ouled khelouf et Mechira ;
- ✓ A l'Ouest par la commune de Tadjenanet.

Ces communes représentent dans la figure suivant :

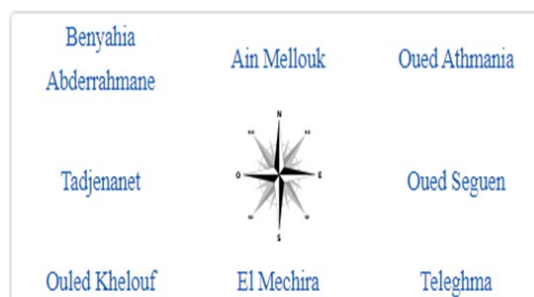


Figure II.2 : Communes limitrophes de Chelghoum-Laid. [84]

Ce centre a été promu chef-lieu de daïra lors du premier découpage administratif de 1974, dépendant de la wilaya de Constantine. En 1984, la daïra de Chelghoum-Laid est annexée administrativement à la wilaya de Mila. Elle était composée de 9 communes: Benyahia –Ain Melouk –Oued Athmania –Oued Seguen –Tadjenanet –Teleghma –Ouled Khelouf –Mechira et Chelghoum-Laid. Actuellement, elle est composée de trois communes seulement il s'agit de : Ain Melouk au Nord et Oued Athmania à l'Est de la commune.

II.2.3. Situation géomorphologique et géologique

La région de Chelghoum-Laid est située dans les hautes plaines constantinoises. Elle présente une certaine unité géographique et géologique qui lui confère la forme d'un vaste bassin presque plat (altitude moyenne : 770m), dont le pourtour se relève en un encadrement montagneux représenté par les massifs calcaires Djebel Tafrent (1295m) (hors commune) au Sud-Ouest et Djebel Grouz (1187m) au Nord-Est et par les anticlinaux mio pliocènes des Djebel Toukouia (1192m) à l'Est.

Ce bassin correspond à un fond d'ancien bac mio pliocène couvert par un colmatage quaternaire superficiellement encrouté. Il est drainé par les Oueds Rhumel et Dekri, qui l'ont très peu incisé parce qu'ils sont bloqués en aval par la rive calcaire de Hammam Oued Athmania, que le Rhumel scie en gorge (barrage). [82]

II.2.4. Situation hydrographique

Le réseau hydrographique dans la commune Chelghoum-Laid est représenté par deux cours d'eau :

- ✓ Oued Dekri au Nord du chef-lieu qui prend naissance dans les communes de Benyahia Abderrahmane et Bouhatem ;
- ✓ Oueds Rhumel au Sud-Est du chef-lieu qui prend naissance dans les communes de Tadjenanet et Belaa.

Ces deux cours d'eau se recentrent à l'Est de la ville de Chelghoum-Laid et forment un confluent, ils constituent les principaux Oueds qui alimentent le barrage de Hammam Grouz.

D'importantes crues peuvent survenir pendant les fortes précipitations de la période hivernale, ce qui donne lieu à la formation de vastes surfaces d'eau au milieu des plaines, quant aux

eaux souterraines, elles restent mal connues et attestées par la présence de nombreux puits non contrôlés, notamment dans la partie sud de la ville près d'Oued Rhumel. Ainsi, du point de vue hydrographique la région de Chelghoum-Laid se situe dans le sous bassin versant N°3 du grand bassin versant Oued Rhumel. [82]

II.2.5. Situation climatologique

Le climat est rude est nettement continentale. Il est caractérisé par des étés très chauds et des hivers froids. En plaine le total des précipitations ne dépasse pas le 400mm. L'altitude de 700 à 1400m joue de plus localement son rôle.

Quelques chiffres donneront une idée précise des conditions climatiques [82] :

II.2.5.1. Pluviométrie

L'on constate une diminution des hauteurs de chutes de pluie du Nord vers le Sud.

- ✓ Au Nord de la cuvette, le relief est encore accentué, les précipitations sont plus importantes : Chelghoum-Laid reçoit 466mm ;
- ✓ Au Sud de la voie ferrée et davantage au Sud de la ligne de partage des eaux entre bassin du Rhumel et bassin fermé, les chiffres diminuent, en effet il ne tombe que 325mm d'eau.

Le tableau suivant donne la répartition mensuelle moyenne des pluies en mm :

Tableau II.1 : Précipitation mensuelle moyenne. [82]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Hauteurs (mm)	21	29	34	33	36	27	31	31	42	15	9	10

La variation d'hauteur de la précipitation est représentée sur la figure II.3.

Figure II.3 : Variation mensuelle d'hauteur de la précipitation.

Les chutes de pluie se produisant surtout à la fin de l'automne et au printemps avec une sécheresse durant les mois de juillet et août.

Nous constatons que l'année se divise en deux grandes périodes :

- ❖ **La période humide :** c'est la période qui s'étale du mois d'octobre au mois de mai ;
- ❖ **La période sèche :** c'est celle qui s'étale du mois de juin au mois de septembre, elle est caractérisée par de faibles précipitations.

II.2.5.2. Températures

Les écarts très importants sont une caractéristique du climat de la région

Le tableau suivant donne à ce sujet quelques indications :

Tableau II.2 : Température mensuelle moyenne. [82]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(C°)	28	20	9	5,5	5,2	5,5	8	11,5	22	29	33	33

La variation mensuelle de la température est représentée sur la figure II.4.

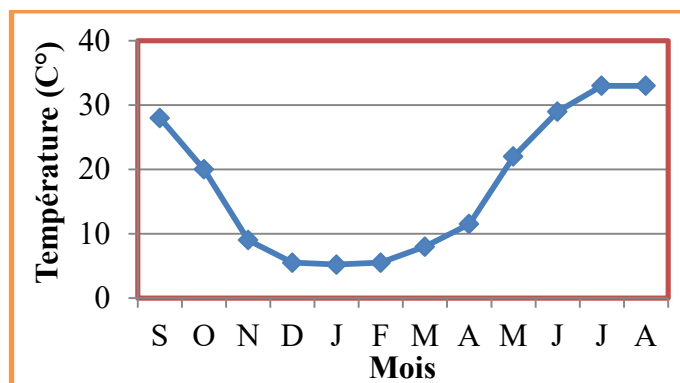


Figure II.4 : Variation mensuelle de la température.

II.2.5.3. Humidité

La sécheresse de l'atmosphère est une caractéristique du climat des hautes plaines. Ces chiffres se référant à l'humidité relative à 13h. C'est la valeur de celle-ci que correspond la sensation d'humidité ou sécheresse de l'air.

Le tableau suivant donne la répartition mensuelle moyenne d'humidité.

Tableau II.3 : Humidité mensuelle moyenne. [82]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité moyenne	36	45	65	66	66	57	52	40	43	34	26	26

La variation mensuelle d'humidité est représentée sur la figure II.5.

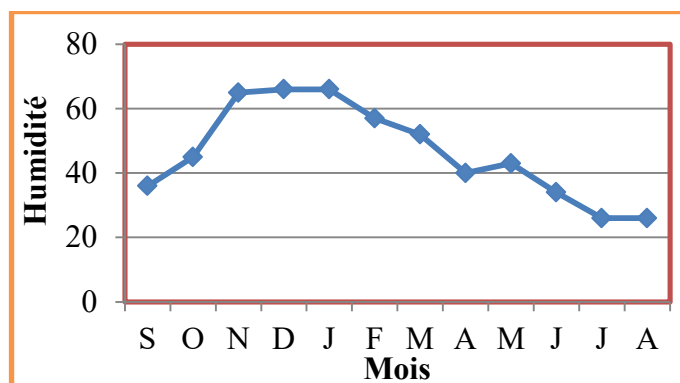


Figure II.5 : Variation d'humidité mensuelle.

II.2.5.4. Neige

La durée d'enneigement moyen est de 4 jours par an à Chelghoum-Laid.

II.2.5.5. Les vents dominants

La région de Chelghoum-Laid est exposée aux vents dominants froids et porteur de pluie, qui arrivent au Nord-Ouest et à degré moindre du Nord-Est, et aux vents chauds d'été venant du Sud-Est. Lorsque les constructions, notamment celles des tinées à l'habitation sont mal orientées, l'influence de ces vents dominants sur ces dernières est assez gênante.

II.2.6. Reliefs

Les différents reliefs du territoire communal s'établissent environ dans les proportions suivantes [82] :

Plaines 80% ; vallées 10% ; montagnes 10%.

- ❖ **Les vallées** : La plus importante des vallées est celle du Rhumel. Ce couloir naturel longe une vallée légèrement encaissée et traverse d'Ouest en Est la région en son centre. Par contre, la vallée de l'Oued Dekri est de moindre importance. Ce réseau hydrographique assure l'envoi des eaux de surface vers le barrage de Grouz. L'occupation de ce site vert constitue un atout inestimable pour une région dénudée.
- ❖ **Plaines** : Un paysage à relief plat, très peu vallonné donne l'aspect de grandes étendues vouées avec des rendements acceptables au Nord et devenant médiocres vers le Sud. Le relief et les espaces plats offrent des potentialités sans limite pour l'extension de la ville. Sud-Est un massif forestier implanté grâce à d'anciennes compagnies de boisement peut servir à un parc détente et de loisirs.
- ❖ **Montagnes** : Le Djebel Grouz culmine à 1888m le relief calcaire se dresse au milieu d'un paysage de plaines, ces calcaires ont donné l'ouverture de carrières d'agréats exploités dans le revêtement routier et autres.

II.2.7. Situation géotechnique

Ce sont des sols fins argileux peu plastiques, fortement surconsolidés, peu à moyennement compressibles et légèrement sensibles au gonflement, à partir d'essais in situ. [82]

II.2.8. Sismicité

Le facteur sismique est assez conséquent dans la Wilaya de Mila qui est située dans une zone de sismicité moyenne dans la carte des zones sismiques de l'Algérie. [82]

➤ Remarque :

L'importance de la commune de Chelghoum-Laid du point de vue de la population est aussi constatée au niveau de la wilaya. En effet le tableau indique clairement que

17,1% de la population de la wilaya, résident dans la daïra de Chelghoum-Laid, donc cette estimation place la commune de Chelghoum-Laid du point de vue de la population à la première place, avant le chef-lieu de wilaya Mila.

Tableau II.4 : Population de la Wilaya de Mila par Daïra. [85]

Daïra	% Population de la daïra par rapport à la wilaya
Chelghoum-Laid	17,1
Mila	10,4
Tadjenanet	9,6
Teleghma	9,6
Beinen	7,8
Ferdjioua	7,4
Grarem	6,9
Oued Endja	6,9
Tassadane	5,6
Sidi Merouane	4,9
Rouached	4,9
Bouhatem	4,3
A.B. Harriche	3,7
Total wilaya	100

II.3. Diagnostic d'un réseau d'AEP

Etant donné la multitude de causes qui peuvent engendrer des dysfonctionnements sur un réseau, il est recommandé de structurer le diagnostic en ensembles cohérents qui puissent faciliter la lecture du diagnostic ainsi que la prise de décision.

On parle généralement de trois parties [4] :

- ✓ Le diagnostic physique (ou structurel ou patrimonial) ;
- ✓ Le diagnostic fonctionnel (ou conjoncturel ou opérationnel) ;
- ✓ Le diagnostic de l'environnement de la conduite.

II.3.1. Diagnostic physique

Le diagnostic physique consiste à évaluer l'état de la structure du réseau et rechercher

Les informations sur la constitution du réseau. Les données dont il s'agit sont celles qui ne changent pas, par exemple le Diamètre, le matériau ou qui changent très lentement dans le temps comme l'âge de la conduite ou sa rugosité. Ces données ne dépendent que du réseau de conduites elles-mêmes, et n'ont pas des ouvrages hydrauliques connectés ni des clients alimentés.

L'inventaire du patrimoine a pour but de rassembler et de conserver les données décrivant le réseau et son évolution afin de constituer un support pour la gestion du réseau. Cet inventaire rassemble les caractéristiques des canalisations, les installations de prélèvement, de traitement et de stockage, des appareils de mesure et des équipements du réseau. Réalisée sur un support informatique, cette base de données peut être liée aux plans réalisés sous logiciel de SIG, ce qui permet de faire apparaître des informations concernant un tronçon sur le plan selon les besoins.

II.3.2. Diagnostic fonctionnel

Les données fonctionnelles sont des données qui changent très rapidement, parfois plusieurs fois dans la journée, en fonction de l'état de service du réseau et des ouvrages hydrauliques, de traitement ainsi que du comportement des abonnés.

On distingue trois sortes de données fonctionnelles :

- Les données hydrauliques telles les débits, les vitesses, les pressions, les pertes de charges ;
- Les données de la qualité de l'eau telles que le PH, la turbidité, le taux de chlore résiduel ;
- Les données clientèles telles que les plaintes des clients.

II.3.3. Diagnostic de l'environnement

Il s'agit de l'environnement immédiat de la conduite, c'est-à-dire l'espace compris entre la chaussée et le fond de fouille. Ce diagnostic couvre les différents facteurs qui influent sur l'installation de canalisations, par exemple la profondeur de fouille, la nature du terrain, la qualité du lit de pose, l'importance des charges roulantes, la présence de courants vagabonds, la qualité des butées d'amarrage, etc. La présence d'hydrocarbures ou de solvants dans le sol peut entraîner une certaine détérioration des tuyaux. L'activité sismique peut également augmenter les contraintes exercées sur un tuyau et provoquer des variations de pression.

Par conséquent, le diagnostic environnemental du réseau d'alimentation en eau potable est effectué afin que le réseau soit placé dans des conditions favorables pour assurer le bon fonctionnement des tuyaux enterrés.

II.4. Système d'alimentation en eau potable de centre-ville Chelghoum-Laid

II.4.1. Ressources en eau

Pendant la période passée le centre-ville Chelghoum-Laid est alimenté par une batterie de forages repartis résumés dans le tableau ci-dessous.

Elle bénéficie également d'un apport conséquent à partir du barrage de Béni Haroun.

Tableau II.5 : Les principales ressources en eau de centre-ville Chelghoum-Laid. [82]

Forage	Destination	Débit d'exploitation l/s	Observation	Localisation
SP1bis Ain Beida	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	35	Actuellement à l'arrêt (2020)	Champ captant d'Ain Beida
Messdoura	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	18	Actuellement à l'arrêt (2020)	Sud de Chelghoum- Laid
Chikh Rouhou	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	13	Actuellement à l'arrêt (2020)	
Meriout 1	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	7	Actuellement à l'arrêt (2020)	Plaine Ouest de Chelghoum Laid
Meriout 2	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	7	Actuellement à l'arrêt (2020)	
Meriout 3	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	12	Actuellement à l'arrêt (2020)	
SP4	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	3	Actuellement à l'arrêt (2020)	La station centrale
SP4bis	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	3	Actuellement à l'arrêt (2020)	
DE3bis	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	20	Actuellement à l'arrêt (2020)	ENAD
Contribution du Barrage	AEP centre-ville Chelghoum- Laid	180	C'est le débit d'exploitation actuellement	Mila

- Voici les images de quelques ces forages :



Figure II.6 : Forage Meriout 1. [82]

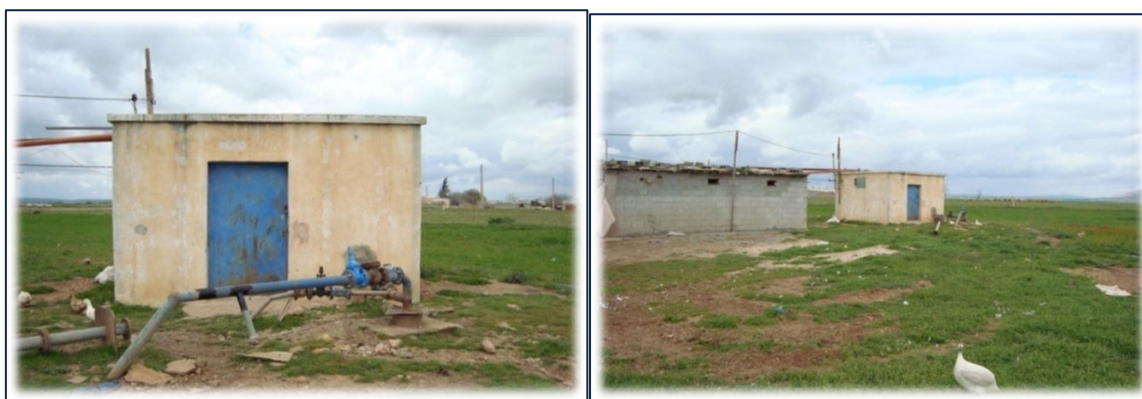


Figure II.7 : Forage Meriout 2. [82]



Figure II.8 : SP1bis Ain Beida. [82]

Actuellement La ville de Chelghoum-Laid est alimentée à partir du barrage de Béni Haroun destiné à pourvoir en eau les agglomérations se trouvant au Sud de la wilaya de Mila à cause de l'état des forages :

Le champ captant d'Ain Beida

Au niveau du champ captant d'Ain Beida, le forage SP1bis est hors service pour cause de rabattement de la nappe.

Le champ captant de la station centrale

Les deux puits SP4 et SP4bis desservant la station centrale ne sont plus en service (puits à sec). La station centrale est abandonnée et se trouve dans un état de délabrement avancé.

Le champ de captage ENAD

Au niveau du champ de captage ENAD, le forage DE3bis est hors service.

II.4.2. Présentation du système d'adduction

II.4.2.1. Situation antérieure

II.4.2.1.1. Moyens de production

En dehors des forages, il existe deux stations de pompage qui pourvoient en eau le centre-ville de Chelghoum-Laid. [82]

➤ **La station centrale**

Destinée initialement à refouler les eaux des puits SP4 et SP4bis vers les châteaux d'eau du centre-ville, la station de reprise n'est plus en service depuis que les puits sont à sec, cette dernière se trouve dans un état de dégradation avancé et n'est plus récupérable.

➤ **La station EGZI**

Située à proximité de la zone industrielle, au voisinage du château d'eau 500m³, cette station dispose d'une bache de stockage de 2000m³. La cuve recevait initialement les eaux du forage DE3bis, ce dernier a été réaffecté pour les besoins industriels (ENAD). La station est actuellement à l'arrêt pour des problèmes d'entretien des groupes électropompes. La bache est alimentée à partir de Béni Haroun. Un groupe électropompe de type immergé a été placé à l'intérieur de la bache pour refouler les eaux à destination du château d'eau 1500m³ moyennant une conduite en PVC de 160mm de diamètre. La station EGZI est encore en assez bon état et peut être récupérée moyennant le renouvellement des équipements détériorés notamment les groupes électropompes à axe horizontal.

II.4.2.1.2. Moyens de transport

➤ Adduction Ain El Beida – Chelghoum-Laid

Cette adduction réalisée en 1962, en fonte de 250mm de diamètre prend naissance à partir du forage SP1bis et refoule vers le château d'eau 2000m³, implanté au centre de la ville. Le tronçon intermédiaire a été remplacé en amiante ciment classe 20 de diamètre 250mm sur un linéaire de l'ordre de 1200m, car assez détérioré.

Cette adduction implantée au centre de la ville moyennant une conduite composée de trois tronçons :

- ✓ Un tronçon en PEHD de 250mm de diamètre de 500ml de long issue du forage SP1bis ;
- ✓ Le second tronçon en DN250mm en fonte s'étale sur une longueur de 1400m ;
- ✓ Le dernier tronçon en amiante ciment en Ø250mm donne sur le château d'eau 2000m³ situé au centre de la ville, il est également raccordé avec la conduite DN250mm en AC qui dessert le château d'eau 1500m³, et qui provenait de la station centrale, depuis que cette dernière est à l'arrêt.

Cette conduite initialement en fonte réalisée en 1962 a fait l'objet de plusieurs interventions en raison des détériorations qu'elle a subit d'où le remplacement du premier tronçon en PEHD, puis du 3^{ème} tronçon en amiante ciment (sachant que le tronçon intermédiaire a fait l'objet d'une rénovation par le passé).

➤ Adduction station centrale – Chelghoum-Laid

Cette adduction qui alimentait auparavant par refoulement les deux châteaux d'eau

R 2000m³ et R 1500m³ par des conduites respectivement en fonte de diamètre 250mm et en amiante ciment classe 20 de diamètre 250mm.

La conduite en fonte réalisée en 1962 est actuellement hors service, car assez détériorée.

La conduite en amiante ciment qui alimente le château d'eau 1500m³ sert comme conduite de distribution.

La station centrale n'est plus en service, faute de ressources (puits à sec).

➤ **Adduction champ captant Meriout – Chelghoum-Laid**

L'adduction issue des 03 forages Meriout, réalisée en 2005, de 200mm en fonte, aboutit au château d'eau 2000m³ implanté au niveau de la pépinière. Le château d'eau n'étant pas en service, la conduite est directement raccordée au réseau du POS N°4.

Cette situation devrait se régler dès la mise en service du château d'eau.

➤ **Adduction forage Messdoura – Chelghoum-Laid**

Cette adduction est composée de deux conduites en série :

- ✓ Le premier tronçon en PEHD de 200mm de diamètre de 1000m de longueur ;
- ✓ Le second de même diamètre est en PVC, jusqu'au droit de raccordement avec la conduite en amiante ciment desservant les réservoirs 2000 et 1500m³.

➤ **Adduction forage Chikh Rouhou – Chelghoum-Laid**

La conduite de refoulement issue du forage Chikh Rouhou de 200mm de diamètre en PVC PN10, sert à alimenter le château d'eau 1500m³. [82]

II.4.2.2. Situation actuelle

Actuellement l'adduction du système d'alimentation en eau potable de centre de Chelghoum-Laid est assurée par le réservoir de la capacité de stockage 5000m³ à partir du barrage de Béni Haroun. [82]

Tableau II.6 : Classification par diamètre et type d'adduction. [82]

DN (mm)	Adduction par gravitaire en PEHD	Adduction par refoulement en PEHD	TOTAL
250	0	32	32
315	1249	1983	3232
400	0	2797	2797
TOTAL	1249	4812	6061
EN%	20,61	79,39	100

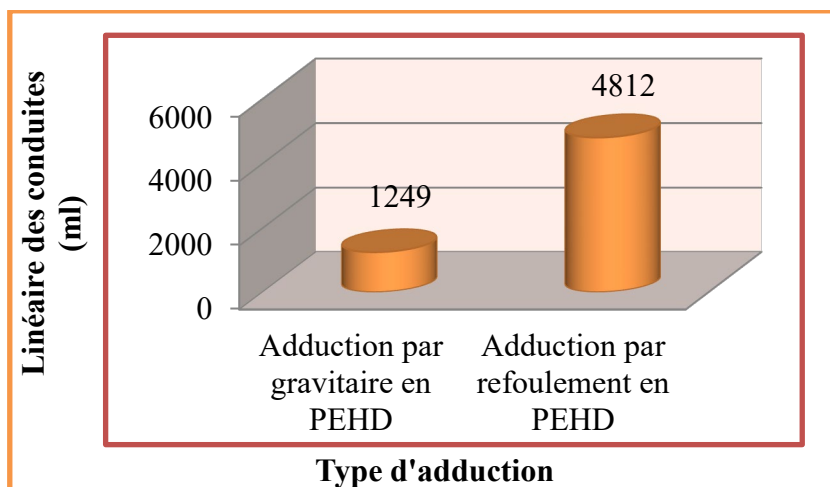


Figure II.9 : Linéaire des conduites par type d'adduction.

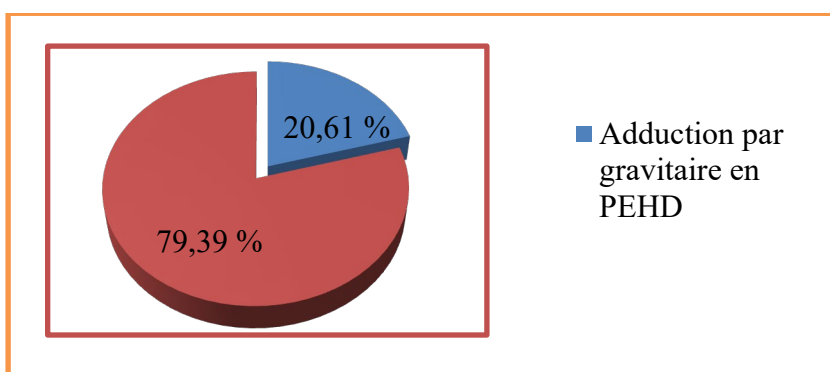


Figure II.10 : Graphique représente le pourcentage de linéaire des conduites par type d'adduction.

Ce réseau est constitué de canalisation en PEHD (100%). On distingue deux types d'adduction :

- Adduction par gravitaire 20,61% ;
- Adduction par refoulement 79,39%.

II.4.3. Présentation du système de stockage

Le stockage dans le centre-ville de Chelghoum-Laid est donc assuré actuellement par :

❖ Le réservoir de capacité 2000m³, situé au centre-ville (Boulevard Bounaas)



Figure II.11 : Vue générale du réservoir 2000m³ Boulevard Bounaas. [82]

✓ **Caractéristique du réservoir :**

Capacité : 2000m³.

Année de Réalisation : 1958.

Localisation : Centre-ville (Boulevard Bounaas).

La hauteur de la tour : 34m.

Forme de la cuve : Tronconique a pour hauteur 6m.

Source d'alimentation : Le barrage de Béni Haroun.

Etat :

- ✓ L'ouvrage du point de vue génie civil est apparemment en bon état, pas de fuites apparentes. L'ouvrage a fait l'objet d'une expertise par le CTC, en 1996 selon l'étude initiale et a été jugé en bon état ;
- ✓ L'éclairage à l'intérieur de la tour est défaillant ;
- ✓ La tuyauterie en Acier, se trouve dans un état de corrosion avancée : conduite de distribution en DN400mm d'où bifurque une conduite en DN100mm destiné exclusivement à la cité HLM, conduite d'arrivée en DN250mm, vidange et trop plein en DN250mm.



Figure II.12 : Les canalisations intérieures. [82]



Figure II.13 : Toute la canalisation et la robinetterie intérieure du réservoir sont totalement corrodées. [82]

Recommandations :

Des travaux d'entretien sont cependant nécessaires : enrobage des parois aux droits affectés et peinture, en effet de légères fissures sont apparentes au niveau des parois de la tour. La canalisation et la robinetterie sont à rénover. Vérifier la résistance du béton par une

auscultation dynamique, pour pouvoir remédier aux anomalies constatées. Si l'essai sera positif (béton résistant) on fixe le procédés de confortement adéquat.

❖ **Le château d'eau 2000m³, dit CPR**



Figure II.14 : Vue générale du château d'eau 2000m³ CPR. [82]

✓ **Caractéristique du réservoir :**

Type : Château d'eau.

Capacité : 2000m³.

Localisation : Centre-ville.

Année de réalisation : Récent.

Source d'alimentation : Le barrage de Béni Haroun.

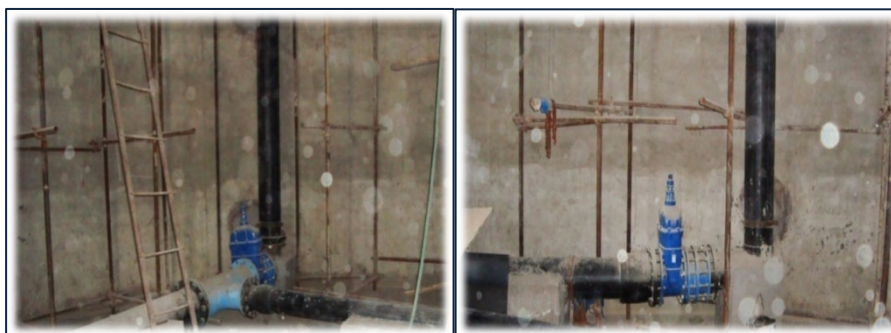


Figure II.15 : La tuyauterie réalisée en PEHD. [82]

❖ Ancien réservoir de capacité 1500m³



Figure II.16 : Vue générale du réservoir 1500m³. [82]

✓ **Caractéristique du réservoir :**

Capacité : 1500m³.

Année de Réalisation : 1^{ère} coloniale.

Localisation : Centre-ville Chelghoum-Laid (1109 logts).

La hauteur de la tour : 30m.

Forme de la cuve : Cylindrique a pour hauteur 8m et 18m de diamètre.

Source d'alimentation: Le barrage de Béni Haroun.

Etat :

- ✓ La cuve présente des fuites au niveau de la jonction parois-dalle de fond et partie inférieure des parois de la cuve ;
- ✓ L'ouvrage présente beaucoup de malfaçons :
 - Dégradation des parois de la tour par éclatement de l'enrobage : ferrailage apparent par endroits.
- ✓ La tuyauterie en acier, se trouve dans un état de corrosion avancée :
 - Conduite de distribution en DN300mm ;
 - Conduite d'arrivée en DN200mm ;

- Vidange et trop plein en DN200mm.
- ✓ La canalisation et la robinetterie sont à rénover entièrement.



Figure II.17 : Traces d'infiltration du réservoir 1500m³. [82]



Figure II.18 : Joint entre la cuve et la tour. [82]



Figure II.19 : Fissure superficielle dans le corps de la Tour. [82]



Figure II.20 : Trace d'infiltration d'eau entre la tour et la base de la cuve du réservoir 1500m³.
[82]



Figure II.21 : Salle de manœuvre Traces de fuite, canalisations corrodées. [82]



Figure II.22 : Salle de manœuvre canalisation et accessoires mal entretenus corrosion et fuites au niveau des joints. [82]



Figure II.23 : Montage et raccordement non professionnel. [82]

Ce réservoir a fait l'objet d'une expertise par le CTH en décembre 2011, la structure a été jugée bonne, nécessite cependant d'après l'organisme de contrôle, des travaux de réhabilitation portant essentiellement sur :

- ✓ L'étanchéité de la cuve ;
- ✓ La reprise de l'enrobage avec un enduit en mortier de ciment des parois de la tour ainsi que la cuve.
- ❖ **Le Château d'eau 2000m³ de capacité avec une tour de 32m, localisé au niveau de la cité Ben Boulaid.**
- ❖ **Le château d'eau 500m³ avec une hauteur de 15m. La cuve de forme cylindrique de 6m de hauteur est surélevée sur des poteaux.**
 - ✓ Ce réservoir est réservé exclusivement pour les besoins de la zone industrielle ;
 - ✓ L'ouvrage, mis à part quelques fissures superficielles est apparemment en bon état. Les colonnes d'eau en acier noir sont en assez bon état, nécessitent cependant des travaux de peinture pour une meilleure longévité ;
 - ✓ Le robinet de vidange est détérioré (fuites apparentes) ;
 - ✓ Tuyau de drainage des eaux pluviales, au niveau de l'acrotère de la coupole, détérioré à reprendre pour éviter le suintement sur les parois ;
 - ✓ L'alimentation du réservoir est assuré à partir d'une bache de 2000m³ de capacité, situé au pied de la tour moyennant un groupe électropompe immergé placé directement dans la bache, et ceci après l'abandon de la station de pompage de l'EGZI.

Il importe de signaler que la station EGZI peut être réhabilitée, en effet seuls les groupes électropompes de type mono bloc à axe horizontal sont détériorés qu'il ya lieu de remplacer, avec de menus retouches.

❖ **Le réservoir de capacité 2000m³**

✓ **Caractéristique du réservoir :**

Capacité : 2000m³.

Année de Réalisation : Récent.

Localisation : Ville-pépinière.

La hauteur de la tour : 32m.

La hauteur de la cuve : 8m.

Forme de la cuve : Tronconique a pour hauteur 8m.

Source d'alimentation : Le barrage de Béni Haroun.

Etat :

- ✓ Le réservoir est pratiquement achevé (reste quelques opérations de second œuvre portant sur la peinture et le nettoyage) ;
- ✓ La tuyauterie réalisée en PEHD est en très bon état :
 - Conduite de distribution en Ø400mm ;
 - Conduite d'arrivée en Ø315mm ;
 - Vidange et trop plein en Ø110mm :

Le diamètre de vidange est jugé insuffisant en rapport avec le volume du réservoir, notamment en cas de vidange inopinée, suite à un incident quelconque.

- ✓ Conduite de trop plein en Ø200mm :

Cette conduite est raccordée à la conduite de distribution ce qui est contraire aux normes, à ce sujet, et pour y remédier, il y'a lieu d'interposer une vanne avec la conduite de distribution et de raccorder la conduite de trop plein avec la vidange ou de prévoir une sortie d'évacuation indépendante. [82]

II.4.4. Présentation du système de distribution

Les canalisations du système de distribution de centre-ville Chelghoum-Laid couvrent une gamme de diamètre de 40 à 400mm. Les linéaires par nature de matériaux et diamètres sont reportés dans le tableau II.7

Tableau II.7 : Classification par diamètre et type de matériaux (ml). [82]

DN (mm)	A.C	Acier	Fonte	PVC	PEHD	A.G	TOTAL
40				2149,73			2149,73
50			329,41	5518,44		155,61	6003,46
60						1257,77	1257,77
63				2845,78		555,53	3401,31
70			430,89				430,89
75				720,52			720,52
80	1569,95		2741,77			1277,16	5588,88
90				1810,65		334,35	2145
100	5962,75		2121,21			1808,80	9892,76
110	45,17		167,19	2749,62	495,06		3457,04
125			1058,73	1801,41			2860,14
150	2936,53	138,11	1562,42				4637,06
160				2492,60	774,16		3266,76
200	708,19	3401,73	1463,74	259,70	1001,22		6834,58
250	3144,47		2286,42				5430,89
300	2693,89	1933,67					4627,56
315					2486,22		2486,22
400	1363,28				340,08		1703,36
TOTAL	18424,23	5473,51	12161,78	20348,45	5096,74	5389,22	66893,93
En%	27,54	8,18	18,18	30,42	7,62	8,06	100

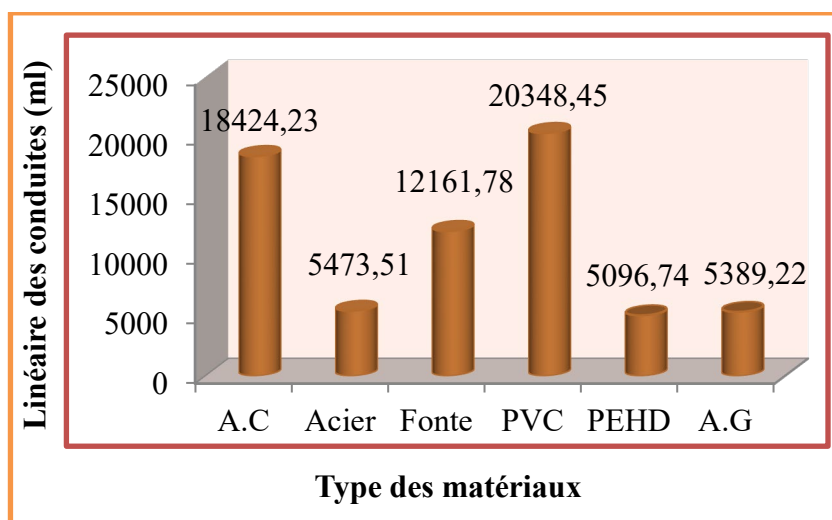


Figure II.24 : Linéaire des conduites par type des matériaux.

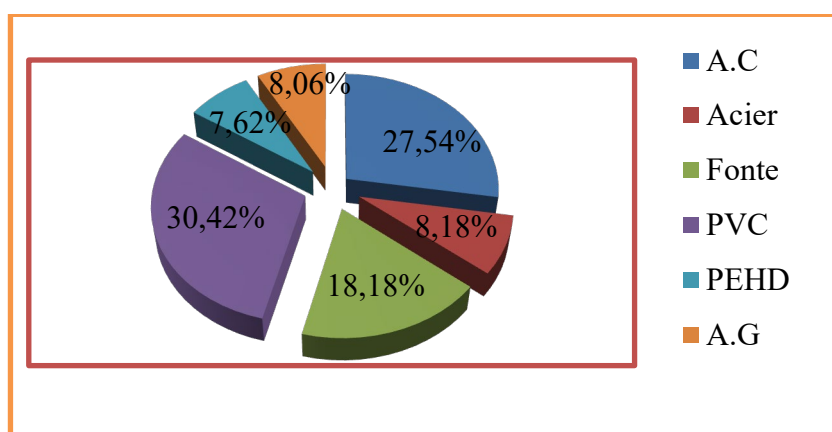


Figure II.25 : Graphique représente le pourcentage de linéaire des conduites par nature des matériaux.

La majorité du réseau est constituée de canalisations en PVC (30,42%) et en amiante ciment (27,54%). La fonte est encore assez présente (18,18%). L'acier présent un faible pourcentage (8,18%) ainsi que l'acier galvanisé (8,06%). Le PEHD est peu utilisé, elle atteint aujourd'hui (7,62%) du linéaire.

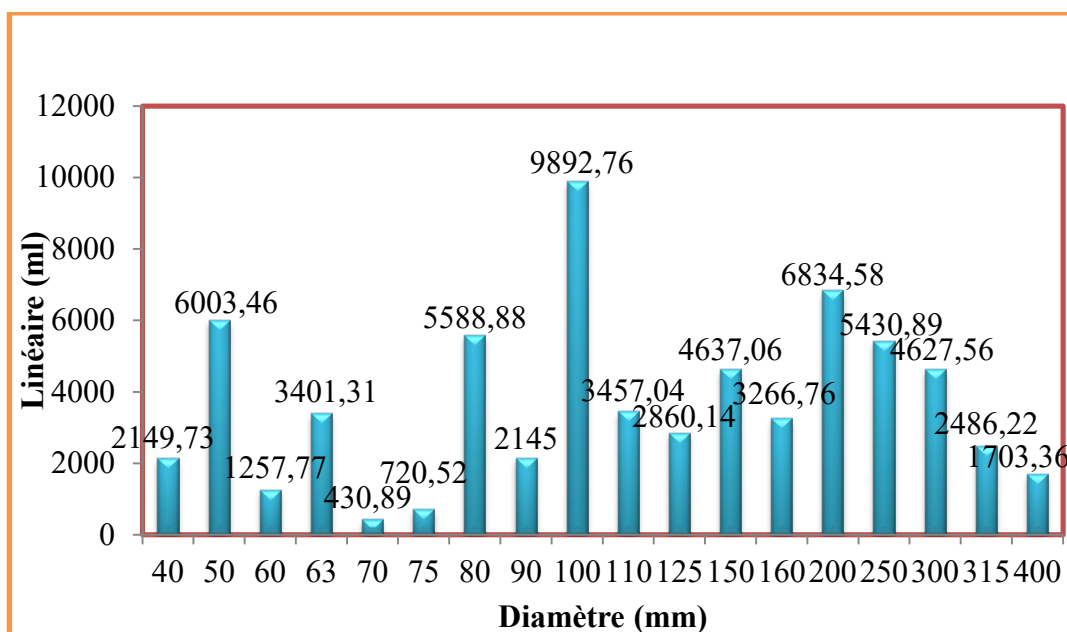


Figure II.26 : L'histogramme du linéaire selon les diamètres des conduites.

La figure II.26 définit l'état réel du linéaire en fonction des diamètres des conduites. Le diamètre DN100mm, 200mm, 50mm, 250mm, 80mm, 150mm et 300mm occupent la plupart du linéaire avec 43015,19ml.

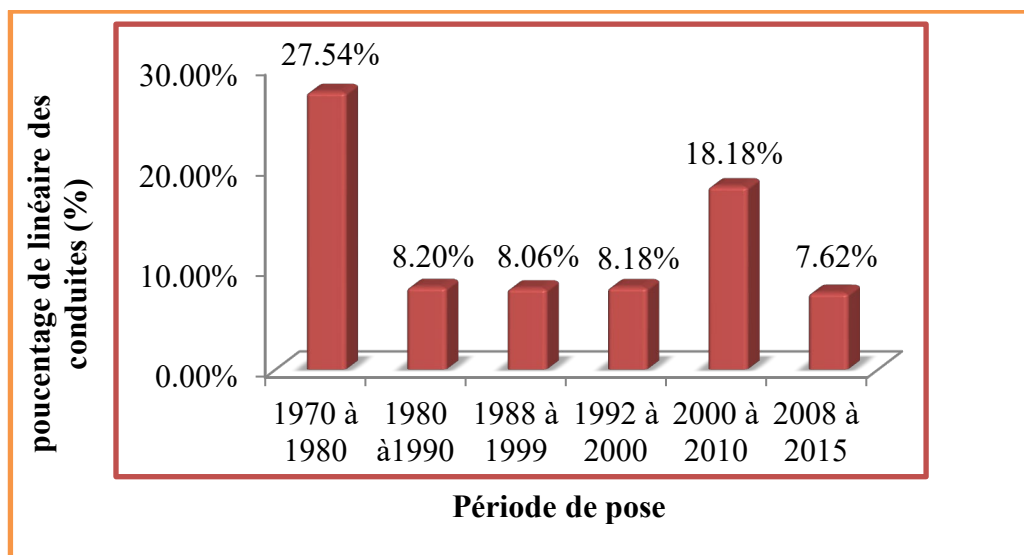


Figure II.27 : Pourcentage de linéaire des conduites par période de pose.

Suivant la figure ci-dessus :

- 30,42% du linéaire du réseau de distribution a été posé entre 1980-1990 ;
- 27,54% du linéaire du réseau de distribution a été posé entre 1970-1980 ;
- 18,18% du linéaire du réseau de distribution a été posé entre 2000-2010 ;
- 8,18% du linéaire du réseau de distribution a été posé entre 1992-2000 ;
- 8,06% du linéaire du réseau de distribution a été posé entre 1988-1999 ;
- 7,62% du linéaire du réseau de distribution a été posé entre 2008-2015.

Notre réseau de distribution est composé de quatre secteurs, les linéaires de chaque secteur sont reportés dans le tableau II.8.

Tableau II.8 : Linéaires et pourcentages de chaque secteur. [82]

Les secteurs	secteur I	secteur II	secteur III	secteur IV	Total
Linéaire de chaque secteur (ml)	8240,83	22361,72	7715,95	28575,43	66893,93
Pourcentage de Linéaire de chaque secteur (%)	12.32	33.43	11.53	42.72	100

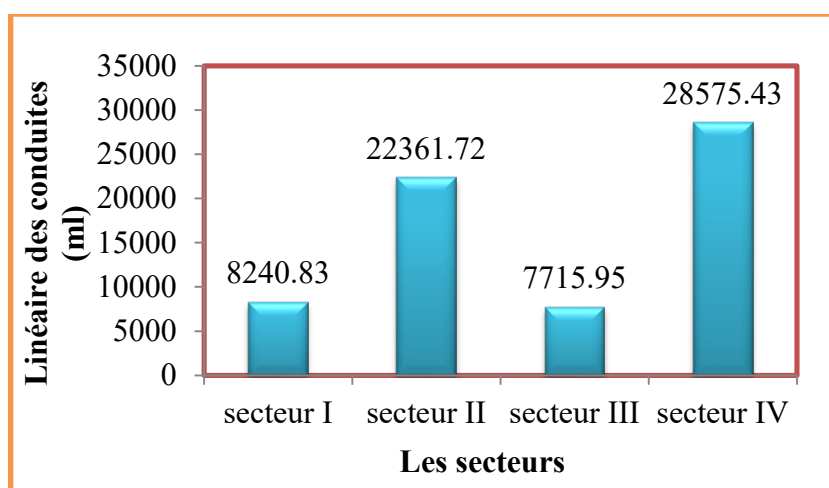


Figure II.28 : Linéaire des conduites pour chaque secteur.

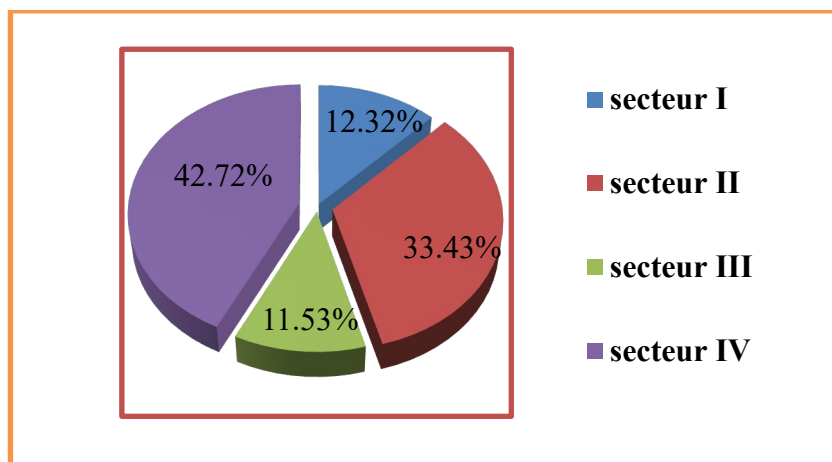


Figure II.29 : Pourcentage de linéaire des conduites pour chaque secteur.

Les informations de chaque secteur sont définies ci-dessous :

▪ **Le secteur I**

Tableau II.9 : Type des matériaux et son linéaire (ml) du secteur I. [82]

Type des matériaux	PEHD	Acier	PVC	A.C	Total
Linéaire (ml)	1769,04	4955,7	575	941,09	8240,83

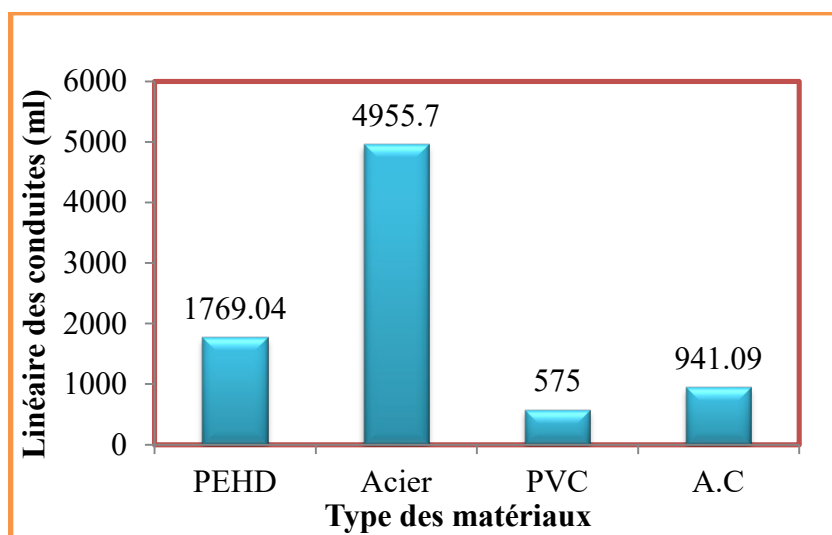


Figure II.30 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur I.

▪ Le secteur II

Tableau II.10 : Type des matériaux et son linéaire (ml) du secteur II. [82]

Type des matériaux	PEHD	A.C	PVC	A.G	TOTAL
Linéaire (ml)	1907,18	7098,35	10687,27	2668,92	22361,72

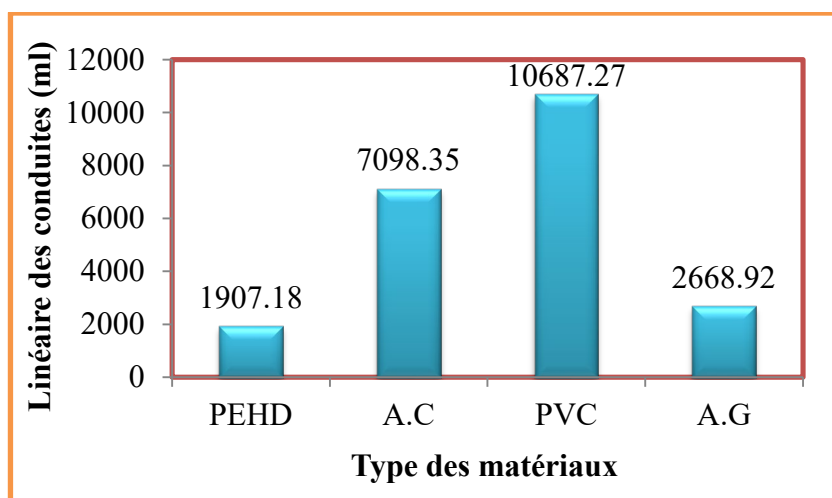


Figure II.31 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur II.

▪ Le secteur III

Tableau II.11 : Type de matériaux et son linéaire (ml) du secteur III. [82]

Type des matériaux	PEHD	Acier	A.C	PVC	A.G	Fonte	Total
Linéaire (ml)	495,06	199,66	3677,5	1243,74	1353,72	746,27	7715,95

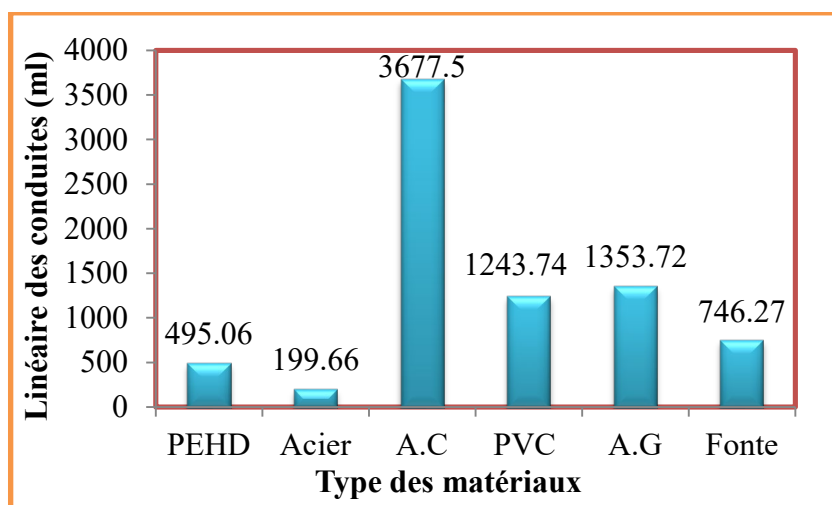


Figure II.32 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur III.

▪ Le secteur IV

Tableau II.12 : Type de matériaux et son linéaire (ml) du secteur IV. [82]

Type de matériaux	PEHD	Acier	A.C	PVC	A.G	Fonte	Total
Linéaire (ml)	925,46	318,15	6707,29	7842,44	1366,58	11415,51	28575,43

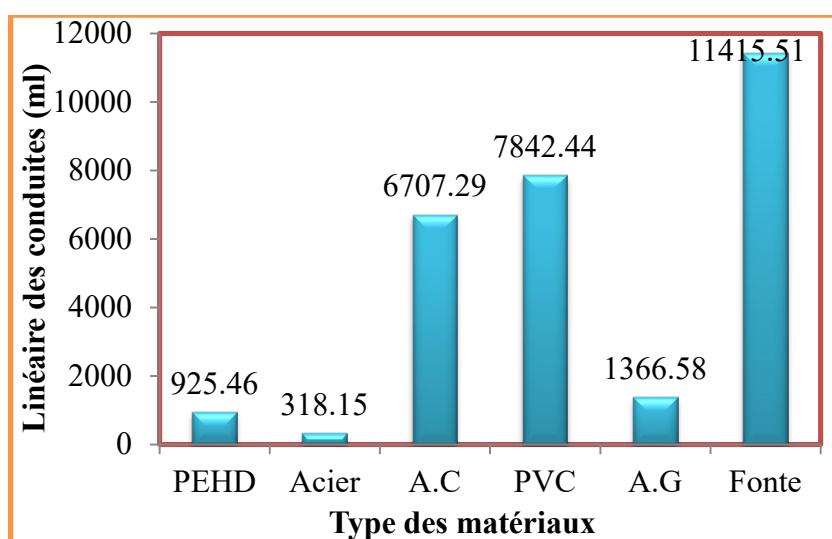


Figure II.33 : Linéaire des conduites par type des matériaux pour le secteur IV.

II.4.5. Analyse du fonctionnement du réseau

Les causes à l'origine de ce fonctionnement du réseau découlent d'une multiplicité de facteurs qui se combinent ou interfèrent [86] :

II.4.5.1. Matériaux et construction

La plupart du réseau de distribution de centre-ville Chelghoum-Laid est constitué par des canalisations en amiante ciment et en PVC. Ces deux matériaux ne sont plus utilisés par les services d'hydraulique à cause de leurs effets négatifs sur la santé humaine. Suivi des matériaux acier et l'acier galvanisé qui sont sensibles à la corrosion et d'autant plus que le réseau de distribution des eaux s'écartant notablement des caractéristiques souhaitables d'équilibre physico-chimique.

II.4.5.2. Fuites

Le but de la réalisation d'un diagnostic et la réhabilitation du système d'AEP de la ville est d'améliorer le rendement et la qualité de l'eau distribuée, s'affranchir d'une distribution alternée et passer à une distribution continue (24/24h), sachant que la problématique majeure des réseaux d'eau potable Algériens réside manifestement dans les fuites sur les réseaux. Ces fuites représentent parfois plus de 80% des volumes produits.

Vue la proportion de ces pertes, un volet important sur ce diagnostic est porté et orienté vers la recherche et la détection des fuites.

Le volet détection de fuites découle des résultats du diagnostic hydraulique du réseau. Ce dernier est la base, voire, le noyau de toute étude de diagnostic ou de schéma directeur d'un réseau d'eau potable.

Les actions de réduction des pertes d'eau portent généralement en priorité sur la recherche de fuite du réseau et sur le comptage.

II.4.5.2.1. Recherche systématique des fuites

La fuite engendre des vibrations acoustiques, ces derniers ont une fréquence audible variable de 100 à 3500Hz, et se propagent avec une atténuation plus ou moins rapide le long de la conduite et dans le sol.

La méthodologie de la recherche de fuites systématique se fait par les étapes suivantes:

a. Analyse

- Cartographie des pressions pour l'identification des zones à forte pression ;
- Des zones à consommation excessive ;
- Historique des fuites visibles et invisibles pour mettre en évidence les Conduites les plus fuyardes.

b. Identification

- Définition de zones selon les critères de priorité établis à partir de l'analyse ;
- Sectorisation pour prioriser, entre les différents secteurs, les actions de Recherche ;
- Localisation et réparation des fuites semi-visible et visible.

c. Sectorisation

Pour faciliter la recherche et la localisation des fuites et ainsi hiérarchiser les actions à mettre en œuvre, ils préconisent la sectorisation du réseau d'alimentation en eau potable, c'est-à-dire la division du réseau en sous réseaux homogènes.

De la conception, de la sectorisation au calcul des débits des secteurs, en passant par l'estimation de la pression et l'évaluation de la consommation nocturne, le guide propose des méthodes et des indicateurs pour ensuite calculer les pertes d'eau dans les réseaux.

d. Pré-localisation des fuites

- Le STEP TEST est une opération qui permet de prioriser les actions de recherche de fuites sur les tronçons les plus fuyards ;
- Mesures des débits nocturnes (1h à 4h) secteur par secteur par fermetures successives de vannes avec des intervalles de temps réguliers ;
- Sectorisation géographique du réseau en zones étanches.

e. Localisation de fuites

Cherche des fuites par écoute au sol.

Les méthodes employées depuis très longtemps pour rechercher des fuites consistent à écouter et analyser les bruits captés au niveau de la conduite ou du sol.

➤ **Amplificateurs mécaniques**

Ils sont composés d'une tige métallique servant de capteur d'une membrane vibrante et d'une cloche métallique formant caisse de résonance reliée à une paire d'écouteurs, ces écouteurs isolant partiellement les bruits transmis par l'air.

➤ **Amplificateurs électriques**

Ces appareils sont identiques aux précédents dans leur principe, mais le capteur est constitué d'un microphone. Ce sont des appareils les plus utilisés actuellement.

La détection est assurée à l'aide des amplificateurs électroniques composés de trois éléments principaux:

- Un capteur (microphone) ;
- Un récepteur (traitement du signal) ;
- Un signal de sortie.

II.4.5.2.2. Résultat de la recherche de fuites

Sur le réseau de la ville, 31 fuites ont été identifiées au niveau de la partie basse du réseau. Les difficultés de mise en charge du réseau et l'absence d'étanchéité des vannes de sectionnement, n'ont pas permis de localiser les fuites sur les parties hautes du réseau de distribution.

La répartition des fuites identifiées est reprise ci-dessous [86]:

- ✓ 18 fuites sur prise en charge de branchement ;
- ✓ 7 fuites sur branchement ;
- ✓ 6 fuites sur conduite.

La majorité des fuites ont été détectées sur les prises en charge des branchements. Le tableau ci-dessous montre une répartition des fuites :

Tableau II.13 : Répartition des fuites. [86]

Partie de réseau	Prise en charge de branchement	Branchement	Conduite
Nombre de fuite	18	7	6

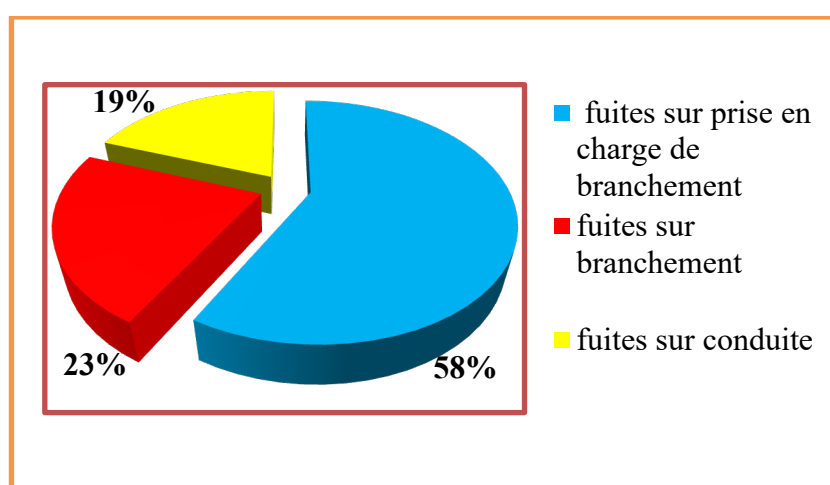


Figure II.34 : La répartition des fuites sur le réseau de centre-ville Chelghoum-laid.

Le taux de pertes est un indicateur couramment utilisé pour rendre compte de l'état de fonctionnement d'un réseau.

On le définit comme le rapport entre le volume perdu en fuites le long du réseau et des branchements et le volume mis en distribution. Or selon que le service est continu ou non, le taux de pertes est susceptible de varier dans de fortes proportions. Pour s'en convaincre il suffit de considérer l'exemple ci-après.

On supposera un secteur de distribution alimenté par un réservoir qui assure un service entre 6h et 12h, soit une période de 6 heures par jour [Figure II.35-A]. Le graphe montre le débit Q sortant du réservoir. Ce débit comprend une composante Q_f correspondant au débit de fuite, qu'on supposera sensiblement constante.

Le volume consommé correspond à l'aire colorisée en bleu et celui perdu en fuites à l'aire hachurée ; la somme des 2 aires représentant le volume mis en distribution.

La période de distribution étant limitée dans le temps, les consommateurs seront enclins à prélever l'eau dès qu'elle arrive en remplissant des réserves.

Le taux de pertes tel que figuré sur le graphique est de l'ordre de 40%, reflétant un système en mauvais état.

Admettons maintenant que l'exploitant dispose d'une capacité de production suffisante pour augmenter le volume mis en distribution et assurer un service continu. Si cette situation perdure les consommateurs modifieront leur comportement et la consommation sera modulée sur la journée (Figure II.35-B).

A priori les volumes consommés ne devraient pas varier sensiblement par rapport au cas de figure précédent. En revanche le volume de pertes augmentera considérablement, le débit de fuites se maintenant tout au long de la journée.

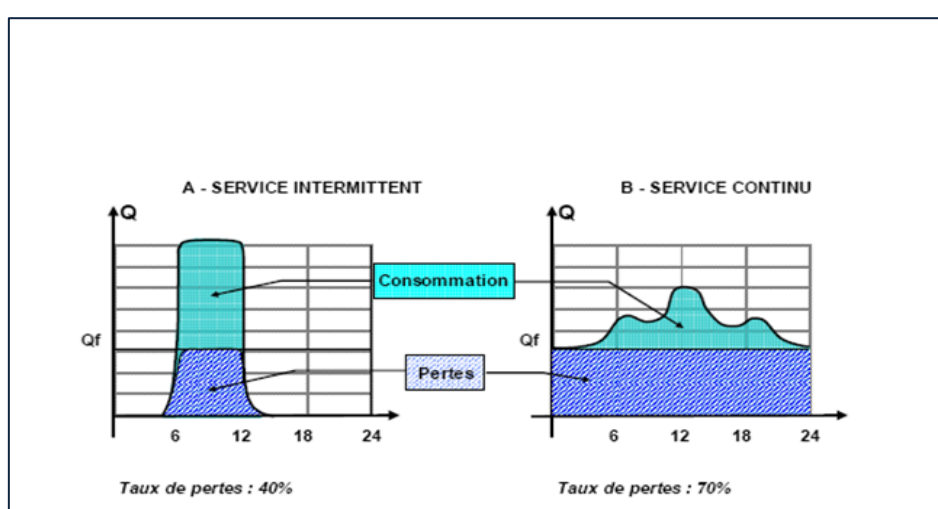


Figure II.35 : Service intermittent et service continu—graphe interprétatif. [86]

Il en résultera un accroissement du taux de pertes qui atteindra environ 70% et du volume mis en distribution. [86]

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la démarche qui a été retenue en fonction des objectifs d'amélioration d'état du réseau mais aussi des données et du temps disponible.

Le diagnostic physique sera établi pour l'ensemble du réseau. Il sera mis en œuvre grâce à une analyse multicritères.

L'ensemble du réseau est bien trop complexe pour faire l'objet d'un diagnostic fonctionnel dans le cadre d'un projet de fin d'études. On se limitera donc à appliquer la démarche sur une zone pilote qui nous ont été choisie, à savoir le réseau de distribution de centre-ville Chelghoum-Laid qui sera analysé en vue d'évaluer ses capacités à assurer le service attendu quand au diagnostic de l'environnement des conduites, il ne pourra pas se faire à cause de l'absence généralisée de données structurées.

Chapitre III

*Méthodologie d'évaluation de la
gestion des réseaux des services
d'eau potable par l'utilisation de
l'AMC*

III.1. Introduction

La gestion de la maintenance des réseaux d'eau potable est sans doute l'une des questions urbaines fondamentales à l'heure actuelle qui va être soumise à de nombreux enjeux de plus en plus compliqués selon beaucoup d'experts. ([87]; [88])

Des nombreux projets de recherche ont été développés ces dernières années afin de faciliter les tâches des gestionnaires lors de la mise en place des opérations d'intervention. ([89]; [90]; [91]; [92]; [93]). On peut citer : Poinard, Le Gauffre et al qui ont utilisé le modèle de Markov pour prédire les besoins de renouvellement en tenant compte les facteurs climatiques ainsi que l'historique de renouvellement et de casse [94]. Certains d'autre (Ex : Nafi) sont basés sur les approches d'optimisation comme l'algorithme génétique pour planifier les priorités et le programme du renouvellement [89]. D'autres proposent un modèle qui optimise les dates de renouvellement basées sur les modèles semi-paramétriques pour calculer la probabilité de chaque défaillance et afin d'estimer le coût associé aux dommages subis suite aux défaillances. (Alexandre et Elnaboulsi; Blindu ; Le Gauffre, Baur et al), proposent d'utiliser les méthodes d'analyse multicritère, pour la hiérarchisation des actions de la maintenance et le choix des techniques de réhabilitation ([95]; [91]; [96]). On peut noter aussi le projet Européen CARE-W (Computer Aided Rehabilitation of Water networks) qui comprend cinq modules reliés à une base de données des outils et des modules spécifiques de gestion dont l'objet est de construire un modèle de réhabilitation des réseaux d'eau potable. [92]

Plusieurs travaux ont analysé la gestion du service d'eau potable des villes Algériennes. En 2000, le conseil national économique et social considère le service d'eau potable comme étant le moins efficace de tous les services publics. Depuis 2001, la gestion des services d'eau potables des communes est confiée progressivement à L'Algérienne Des Eaux. Cette dernière doit faire face à une situation complexe dans la gestion afin de satisfaire les clients. Conscient de la situation, l'état à déployer des moyens étalés sur plusieurs plans. En matière d'orientation stratégique de gestion durable des services d'eau, la loi 05-12 de 2005 incite les acteurs de l'eau à mettre en place les mécanismes nécessaires à son application. [97]

Malgré le taux important de raccordement de la population au réseau public, l'alimentation en eau potable des grandes villes posent toujours de nombreux problèmes. Une desserte globale

n'est pas assurée de façon continue. Les ménages recevaient de l'eau qu'un à deux jours par semaine et quelques heures seulement par fréquence [98]. Des piquages illicites sont réalisés sur le réseau d'alimentation en eau potable.

Pour cela, dans ce chapitre, nous présenterons la mise en œuvre de la méthodologie pour évaluer la performance et identifier les secteurs prioritaires.

III.2. Méthodologie adoptée pour l'évaluation de la gestion des services d'eau potable

La méthodologie d'évaluation de la gestion des services d'eau potable utilisée est composée de la phase construction et de la phase évaluation. [97]

La phase construction a pour but d'identifier les objectifs liés à la gestion du service d'eau potable en Algérie. Cette étape est une tâche qui nécessite beaucoup de temps afin de la réaliser. Mais elle est d'une importance primordiale car elle permet d'aboutir à un consensus sur la construction d'objectifs et d'indicateurs de performances adaptés au contexte actuel de la gestion du service d'eau potable Algérien et admis par tous.

Selon Brugman, «l'évaluation de la durabilité de la gestion des ressources en eau nécessite un cadre approprié d'indicateurs, qui peut idéalement, décrire et communiquer les conditions actuelles, favoriser la réflexion critique sur les mesures correctives nécessaires et faciliter la participation des diverses parties prenantes dans les processus décisionnels». [99]

La phase évaluation consiste à développer des méthodes d'agrégation qui permettent de remonter de la valeur des indicateurs jusqu'à l'évaluation globale de la performance du dispositif. Donc cette phase nécessite la collecte d'une base de données issue des campagnes de mesure nécessaire au calcul des indicateurs précédente. Les valeurs sont transposées sur des échelles de performance pour obtenir les notes de performance de chaque indicateur.

La performance des critères est déduite par pondération et agrégation des notes de performances des indicateurs. L'agrégation de la performance des critères permet l'obtention de la performance de l'objectif. La méthodologie développée a pour objet d'être intégrée dans un outil d'aide à la décision. L'aide à la décision, fournie à travers cet outil, apporterait aux gestionnaires de l'ADE une clairvoyance et une lucidité dans la mise en œuvre de dispositif technique et organisationnel de leur service en vue d'améliorer, de façon globale, la qualité du service rendu aux consommateurs.

L'organigramme d'analyse multicritère est représenté sur la figure III.1 :

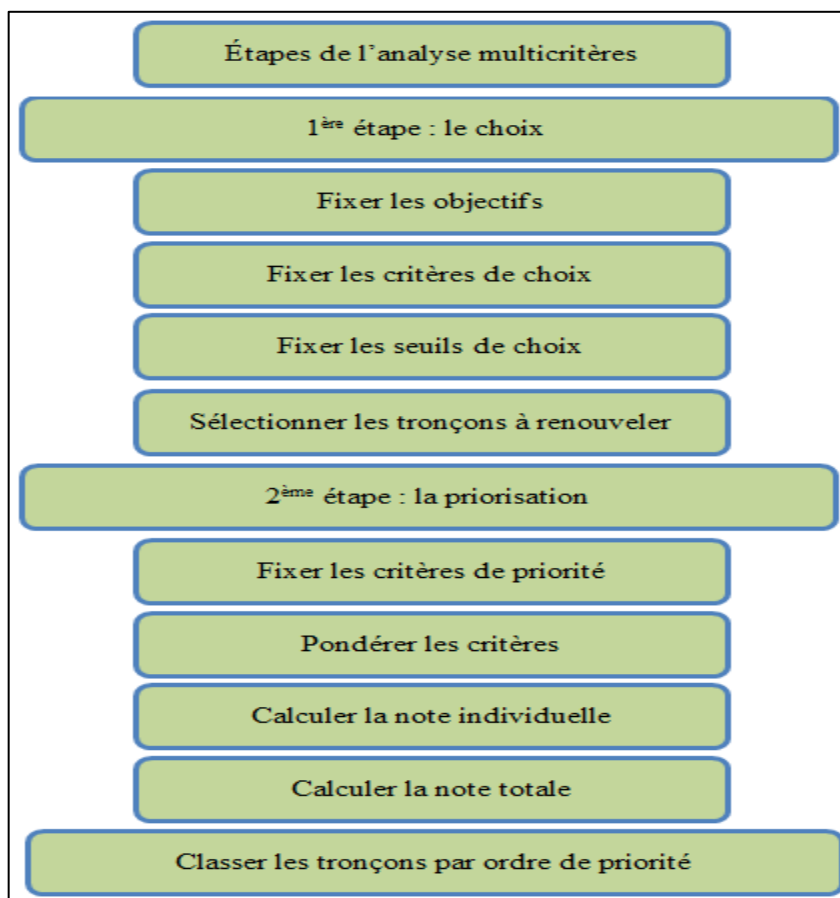


Figure III.1 : Organigramme d'analyse multicritère. [4]

III.2.1. Frontières du système

La gestion de l'eau en Algérie pose un problème épineux aux autorités. Les ressources disponibles sont en deçà des besoins. Elles proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. L'utilisation de l'eau est liée aux activités économiques. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de la dite gestion. [100]

La vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux consommateurs. Elle se fait par un système de canaux et de

conduites. D'une manière générale, le système de distribution souffre des cassures incessantes. Dans les vieux quartiers, les cassures sont dues soit aux travaux de canalisation (téléphone, gaz, assainissement) soit à la corrosion des conduites. Dans les nouveaux quartiers des ZHUN (Zones d'Habitat Urbain Nouvelles), la situation est plus préoccupante. Les conduites sont en PVC et au niveau des coudes, les cassures sont fréquentes. La pression excessive provoque aussi des cassures par "coup de bélier". Dans toute l'Algérie notamment les grands centres urbains, l'approvisionnement se fait par grand quartier. Chacun attend son tour. Les capacités de stockage ne suffisent pas à approvisionner tous les consommateurs en même temps. En général, ces derniers ne reçoivent l'eau que durant deux à quatre heures de suite par jour. Pour cela, ils stockent l'eau dans les foyers soit dans des petits réservoirs soit dans des récipients. La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes internationales. Les instruments de gestion de l'eau ne sont pas efficaces. [101]

III.2.2. Phase de construction

L'identification des objectifs prioritaires, sous objectifs, critères, sous critères et indicateurs de performance du service d'eau potable Algérien a été menée sur la base des papiers relatifs à la problématique de l'eau en Algérie. A cela, s'ajoute les différents rapports gouvernementaux (Conseil National Economique et Social; Ministère des Ressources en Eau; Objectifs Millénaires pour le Développement; Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement). Au niveau international, nous avons profité des travaux plus techniques traitant l'identification et l'utilisation des indicateurs de durabilité. [4]

III.2.2.1. Identification d'objectif prioritaire

Toutes les entreprises, peu importe leur taille, sont des organisations. Il existe de nombreuses définitions des organisations, mais on retiendra la suivante : «une organisation est la coordination rationnelle d'un certain nombre de personnes et de moyens en vue d'atteindre les objectifs qu'elle s'est fixée».

Autrement dit, une organisation regroupe de personnes, des idées, des capitaux, pour atteindre un objectif.

La question qui se pose alors est celle de ces objectifs : quels buts les entreprises cherchent-elles à atteindre ?

Il n'y a pas de réponse unique et il s'agit d'ailleurs d'un vif débat entre spécialistes. Les objectifs diffèrent selon le regard des différents acteurs.

L'approche des économistes : l'objectif est la maximisation du profit.

Le regard des gestionnaires : maximisation du profit ou de la taille de l'entreprise.

Le point de vue de la société : les objectifs des entreprises devaient répondre aux attentes de la société.

L'un des objectifs prioritaires auxquels les services d'eau potable en Algérie doivent répondre, est «satisfaire le client (l'abonné)». [102]

III.2.2.1.1. Satisfaire le client

Certains chercheurs en psychologie et en comportement du consommateur définissent la satisfaction comme suit : «la satisfaction peut être comprise en marketing comme le sentiment de plaisir ou de déplaisir qui naît de la comparaison entre des attentes préalables et une expérience de consommation».

Daniel Ray cite la définition de Howard et Sheth qui définissent la satisfaction comme étant «l'impression d'être convenablement ou non récompensé par les sacrifices supportés lors d'une situation d'achat».

Selon Kotler, Dubois, Keller et Manceau : «la satisfaction est comme l'impression positive ou négative ressentie par un client vis-à-vis d'une expérience d'achat et/ou de consommation, elle résulte d'une comparaison entre ses attentes à l'égard du produit et sa performance perçue».

La satisfaction est donc un jugement ou une évaluation qui intègre d'une part la qualité perçue (expérience de consommation) et d'autre part les attentes préalables qui sont déterminées.

Dans la littérature, le concept de satisfaction a été souvent confondu à trois autres construits que sont l'émotion, l'attitude et la qualité du service. Ainsi, avant de passer en revue les déterminants de la satisfaction, on le distinguera de ces trois construits. [103]

«Satisfaire le client» (Figure III.2) est l'un des objectifs prioritaires pour lequel l'opérateur active pour sa mise en œuvre. D'une part, cet objectif englobe la distribution en eau en

quantité suffisante et de bonne qualité, d'autre part, un service rendu au client de meilleure qualité représenté par le service en continu.

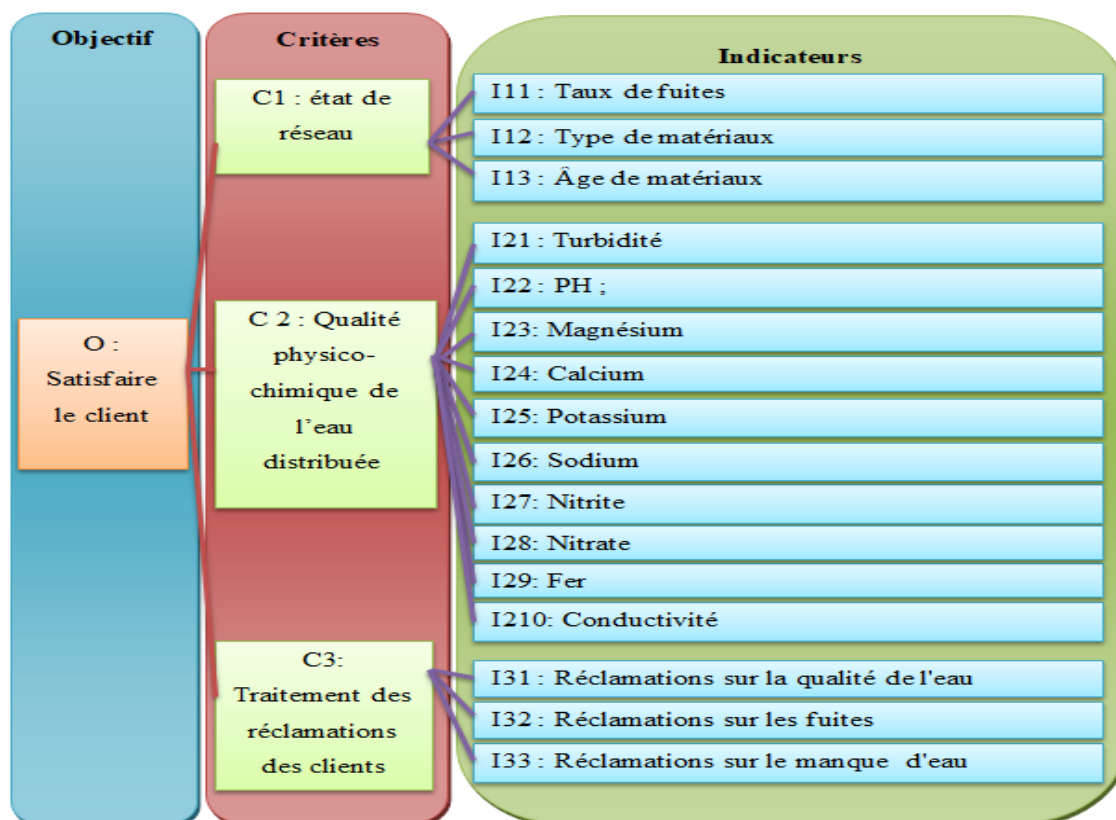


Figure III.2 : Structure hiérarchique de l'objectif prioritaire analysé «Satisfaire le client».

III.2.2.2. Identification des critères associés à l'objectif prioritaire «Satisfaire le client»

III.2.2.2.1. Critère 1 «État de réseau»

Pour prévenir tout désagrément et garantir en continu l'alimentation en eau potable et de bonne qualité, il est indispensable «d'assurer un bon état du réseau et sa gestion». Ce point est obtenu par l'accomplissement d'une tâche qui est celle de la surveillance de l'état du réseau. [4]

L'évaluation de la performance du critère 1 passe par l'évaluation de 3 indicateurs :

- ✚ Taux de fuites ;
- ✚ Types de matériaux ;
- ✚ Âge de matériaux.

III.2.2.2.2. Critère 2 «Qualité physico-chimique de l'eau distribuée»

L'eau douce constitue un élément indispensable pour la vie des hommes, des animaux et des plantes. Elle peut aussi être source de maladies du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles, par des excréta et divers déchets organiques. L'usage de l'eau à des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. L'eau distribuée par réseau constitue un des produits alimentaires les plus contrôlés. Ses analyses sont réalisées depuis son origine jusqu'au robinet. L'eau de distribution doit répondre aux exigences de qualité. Ainsi, elle ne doit contenir aucun micro-organisme, aucun parasite ni aucune substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes; elle doit également être conforme vis-à-vis d'un ensemble de normes de potabilité. L'eau potable en Algérie provient soit de sources souterraines, soit d'eaux de surface. La plupart des Algériens consomment de l'eau potable qui leur est fournie par des réseaux publics de distribution qui doivent satisfaire à des exigences de qualité fixées par des normes nationales. [104]

La mauvaise qualité physico-chimique est signe de présence de pollution. L'estimation de la qualité physico-chimique d'une eau s'effectue par la mesure d'un ensemble de paramètres de différentes natures. Des résultats singuliers dans le contrôle de ces paramètres permettent de déceler et d'évaluer les niveaux de pollutions. La pollution de l'eau est fonction des substances dissoutes qu'elle contient et, dont la plupart, ne sont décelables qu'à travers l'analyse. [3]

Exemples :

- Si la turbidité de l'eau est supérieure à 0,4NFU, l'action du chlore est ralentie, voire même annulée;
- Dans le réseau, la mesure du PH est importante du fait qu'une eau agressive a tendance à attaquer les matériaux qu'elle rencontre. Les conséquences sont importantes sur la dissolution de ciments, sur l'attaque des métaux ferreux ou l'attaque des métaux toxiques tels que le plomb ;
- La corrosion des réseaux favorise une dégradation de la qualité bactériologique de l'eau en raison de l'accumulation de produits de corrosion. Cette accumulation

constitue des sites de prolifération et de consommation de désinfectant (chlore). De plus, les bactéries et micro-organismes qui se développent dans les produits de corrosion sont souvent difficiles à éliminer par les traitements de désinfection.

L'évaluation de la performance du deuxième critère passe par l'évaluation de dix indicateurs :

- ✚ Turbidité;
- ✚ PH;
- ✚ Magnésium;
- ✚ Calcium;
- ✚ Potassium;
- ✚ Sodium;
- ✚ Nitrite;
- ✚ Nitrate;
- ✚ Fer;
- ✚ Conductivité.

➤ **Remarque :** Les critères ci-dessus sont pris en considération à travers l'exploitation des bulletins d'analyses de laboratoire de l'Algérienne Des Eaux unité de Mila.

III.2.2.2.3. Critère 3 «Traitement des réclamations du client»

Le traitement d'une réclamation est un acte majeur de l'entreprise qui mérite d'être préétabli et suivi.

Traiter une réclamation peut, le plus souvent, être assimilé à une véritable vente : il s'agit de reconquérir la confiance du client, de sauvegarder de bonnes relations et le niveau d'affaires.

Définissons tout d'abord une réclamation. Ce terme peut être compris de manière restrictive ou extensive.

Il s'agit, dans le premier cas, d'un acte formel du client qui signale une anomalie dans le produit, le service ou son environnement et demande une correction voire une compensation;

dans le deuxième cas, de toute évocation même informelle d'une anomalie ou la manifestation d'une insatisfaction. [105]

Il s'agit pour l'entreprise, quelle que soit sa taille, de [106] :

- Traiter la réclamation afin de restaurer la confiance du client et sauvegarder de bonnes relations ;
- Comprendre les causes, tirer les leçons de la réclamation afin de s'améliorer et de fidéliser le client.

Le traitement des réclamations doit permettre [106] :

- Une réaction rapide par la mise en place des mesures d'urgence pour répondre au mécontentement du réclamant ;
- Un suivi et une analyse des réclamations par produits, par origine géographique, par type de clients;
- Une veille concurrentielle grâce aux retours d'informations des clients concernant le niveau de prestation proposé par la concurrence.

Après analyse et exploitation des différentes réclamations enregistrées aux niveaux des différents services de l'Algérienne Des Eaux de la ville de Mila, trois catégories de réclamations ont été identifiées :

- ✚ Les réclamations sur la qualité de l'eau ;
- ✚ Les réclamations sur les fuites ;
- ✚ Les réclamations sur le manque d'eau

III.2.2.3. Identification des indicateurs associés à l'objectif prioritaire «Satisfaire le client»

III.2.2.3.1. Indicateurs associés au critère 1 «État de réseau»

III.2.2.3.1.1. Indicateur I11 «Taux de fuites»

Les fuites d'eau occasionnent des pertes d'eau potable très importantes.

Le volume des pertes d'eau dépend de l'âge et de l'état du réseau, de la compétence et de l'efficacité du service de maintenance du réseau (rapidité de détection des fuites, efficacité

d'exécution des travaux, moyens humains, équipement en matériels adéquats, organisation, etc.).

Les pertes d'eau sont dues aux fuites. Elles peuvent être occasionnées par les fortes pressions de l'eau sur les conduites. Il n'existe pas de solution universelle au problème de pertes d'eau sur les réseaux potable. Il est nécessaire d'analyser le patrimoine du réseau et son exploitation afin de mettre en œuvre des actions pertinentes et adaptées.

Du fait de son contexte climatique, l'Algérie ne dispose pas de ressources en eau abondantes. Cette situation contraignante fait que les pertes d'eau sur les réseaux sont à prendre en charge afin de les réduire. La réduction des pertes d'eau dans les systèmes d'alimentation en eau potable est un enjeu considérable dans un contexte de tension sur les quantités d'eau mobilisables. [3]

La consultation de la littérature relève, en général, des fuites importantes au niveau des réseaux d'alimentation en eau potable. A cet effet, le gouvernement Algérien a pris des dispositions afin de réduire le taux des fuites. ([107]; [108]). La réduction du taux de fuites engendrera une réduction des volumes de pertes en eau sur le réseau. Ce critère représente, pour les gestionnaires du service d'eau potable, un enjeu majeur qui s'inscrit pleinement dans La politique de développement durable en Algérie. La réduction des pertes en eau au niveau des réseaux constitue un gisement de ressource en eau. Par conséquent, une réduction des volumes prélevés sur la ressource, la réalisation des économies d'énergie liées à la production, etc. [3]

III.2.2.3.1.2. Indicateur I12 «Types de matériaux»

Le choix du matériau doit tenir compte de plusieurs caractéristiques, comme la qualité et la nature, l'environnement de la conduite, le régime hydraulique, la configuration du réseau, etc. Tous les types de conduites peuvent offrir une bonne performance à court terme, mais les conditions qui garantissent une performance satisfaisante à long terme varient selon le type de conduite. Les matériaux pour les canalisations du réseau d'eau potable doivent être conformes aux normes et réglementations en vigueur vis-à-vis de résistance au phénomène de corrosion. Avec le temps, cette résistance diminue et peut faciliter certains types de défaillances. [91]

III.2.2.3.1.3. Indicateur I13 «Âge de matériaux»

L'âge de la canalisation mérite un commentaire spécial. En effet en termes strictement technique l'âge ne doit pas être considéré comme un facteur de désordre ou un critère de renouvellement. Il pourrait en devenir un, si aucun autre facteurs/critère ne se manifeste véritablement. Il est connu que ce ne sont pas les plus ancienne conduites qui éprouvent le plus de problèmes. En revanche, il ne faut pas oublier que le calcul de l'amortissement de coût des conduites repose sur leurs durées de vie estimées. FNDAE HS 10, [109] cité en Blindu. [91]

Pour le réseau de centre-ville Chelghoum-Laid, le temps d'amortissement joue un rôle important dans le choix des canalisations à réhabiliter. Donc il sera pris en compte dans l'obtention des classes d'âges.

En général l'âge des canalisations n'est pas réparti uniformément, à cause de la fluctuation de la demande pour de nouvelles infrastructures au cours des années. Sur le secteur de centre-ville Chelghoum-Laid on connaît l'année de pose des conduites du réseau d'eau potable selon leurs types de matériaux, une estimation de l'âge des conduites a été faite à partir des données, fournies par l'ADE Mila [110] :

- Amiante ciment : entre 1970-1980 ;
- Le PVC : entre 1980-1990 ;
- L'acier galvanisé : entre 1988-1999 ;
- L'acier : entre 1992-2000 ;
- La fonte : entre 2000-2010 ;
- Le PEHD : entre 2008-2015.

Ces périodes ont servis comme base pour classer les conduites en fonction de leurs âges.

III.2.2.3.2. Indicateurs associés au critère 2 «Qualité physico-chimique de l'eau distribuée»

III.2.2.3.2.1. Indicateur I21 «Turbidité»

La «turbidité» est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente. Elle est donc un des facteurs de couleur de l'eau.

La turbidité est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou d'étriques. Ainsi, plus une eau est chargée en biomasse phytoplancton que ou en particules sédimentaires, plus elle est turbide.

Les conséquences de la turbidité concernent la pénétration de la lumière et des ultra-violets dans l'eau, et donc la photosynthèse et le développement des bactéries (généralement danger pour la santé). Par ailleurs, la couleur de l'eau affecte aussi sa température et donc sa teneur en oxygène, son évaporation et sa salinité. [111]

L'OMS établit que la «turbidité» de l'eau potable ne devrait pas être plus de 5NTU (Nephelometric Turbidity Units), et elle est excellente si elle est inférieure à 1NTU.

Pour ce qui est de la norme Algérienne, la concentration de la «turbidité» est fixée à 5NTU. [112]

III.2.2.3.2.2. Indicateur I22 «PH»

Abréviation du terme potentiel hydrogène, le PH est un paramètre qui permet de définir si un milieu est acide ou basique; il peut être compris entre 0 et 14. Le PH de l'eau pure à 25°C est égal à 7, c'est cette valeur qui a été choisie comme référence d'un milieu neutre. Une solution de «PH» plus élevé que 7 sont appelées «alcalines ou de base»; plus son PH augmente, plus elle est basique. Une solution de «PH» inférieur à 7 sont appelés «acides»; plus son PH diminue, plus elle est acide. [113]

L'acidité de l'eau ne pose en soi aucun problème vis-à-vis de la santé du consommateur. Toutefois, l'eau acide distribuée par un réseau de canalisations peut constituer indirectement une menace pour la santé du consommateur mal informé ou imprudent. L'eau acide est en effet agressive (corrosive) et peut libérer les métaux constitutifs des canalisations (en

particulier intérieures aux habitations), à savoir le fer, le cuivre, le plomb, le nickel, le chrome et le zinc. [114]

Pour ce qui de la norme Algérienne, le domaine de valeurs idéales du «PH» pour l'eau potable varie de 6,5 à 9. [112]

III.2.2.3.2.3. Indicateur I23 et Indicateur I24 «Magnésium (Mg)» et «Calcium (Ca)»

Le «calcium» est un élément très répandu dans la nature. On le trouve dans presque toutes les eaux naturelles. Il est très important pour les enfants, mais aussi pour les femmes enceintes et les personnes âgées, à des concentrations autour de 50mg/l. L'Union Européenne a établi une directive stipulant un niveau de concentration du «calcium» à 100mg/l. La norme Algérienne fixe la concentration de «calcium» à 200mg/l. [112]

Des quantités élevées de calcium dans l'eau du robinet ne présentent aucun risque pour la santé, elles peuvent néanmoins altérer le goût de l'eau et favoriser l'apparition de tartre dans les appareils électro-ménagers. [115]

Le «magnésium» existe en abondance dans la nature à de nombreux bienfaits pour la santé humaine, est un activateur de certaines réactions chimiques qui se passent dans l'organisme. Il intervient dans beaucoup de systèmes différentes, notamment dans la production d'énergie et à la transmission des messages nerveux. Il joue un rôle important dans les échanges entre les cellules et leur milieu. Il intervient à plusieurs niveaux dans les mécanismes immunitaires, les réactions inflammatoires et les allergies [116]. Les adultes ont besoin d'environ 350mg par jour. L'Union Européenne recommande un taux de «magnésium» de 30mg/l. Le niveau maximal acceptable est de 50mg/l; il est lié à l'effet puissant du «magnésium» sur la dureté de l'eau. La norme Algérienne fixe la concentration du «magnésium» à 150mg/l. [112]

La mesure du «calcium» et du «magnésium» contenus dans l'eau permet l'obtention de la dureté de l'eau. La dureté est calculée à partir de l'équation ($Dureté = 2,497 * Ca + 4,118 * Mg$). Les recommandations pour la dureté sont basées sur des critères esthétiques, plutôt que de santé.

Une eau très dure ne présente aucun risque pour la santé mais peut entraîner des désagréments tels que l'entartage des tuyauteries et des appareils électroménagers, ou encore la nécessité d'utiliser davantage de produits détergents pour le nettoyage. Une eau très douce, à l'inverse,

peut avoir un effet corrosif sur les canalisations et conduire à la présence, dans l'eau, de particules métalliques issues des conduites. C'est pourquoi une eau trop douce est paradoxalement appelée «eau agressive». [117]

La norme Algérienne fixe la dureté à 500mg/l. [112]

III.2.2.3.2.4. Indicateur I25 et Indicateur I26 «Potassium (K) et Sodium (Na)»

Le «potassium» est un élément naturellement présente dans l'eau mais peut également provenir de l'activité humains (exemples : mines de sel, industrie du verre, engrais). A l'image du magnésium, il assure, entre autres, le bon fonctionnement du système nerveux. C'est l'élément qui nous permet, par exemple, de contracter nos muscles et de combattre les crampes. Pour un adulte, il est recommandé de consommer 3 à 5g de potassium par jour. [115]

Pour ce qui est de la norme Algérienne, la concentration de «potassium» est fixée à 12mg/l. [112]

Le «sodium» est un sel minéral qui a pour rôle de maintenir l'hydratation équilibrée de notre corps. Il est présent à des teneurs variables dans tous les types d'eaux, qu'elles souterraines ou de surface. Un adulte doit en consommer près de 3g par jour au total. [115]

Pour ce qui est de la norme Algérienne, la concentration de «sodium» est fixée à 200mg/l. [112]

III.2.2.3.2.5. Indicateur I27 et Indicateur I28 «Nitrites (NO₂) et Nitrates (NO₃)»

Les nitrates (NO₃⁻) sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les micro-organismes dans les plantes, le sol ou l'eau et dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre. [118]

Les sources de nitrates dans l'eau (en particulier les eaux souterraines) comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, le fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles. ([119]; [120])

En cas d'eau à teneur élevée en «nitrates», il y a peu de risques graves pour la santé. Le plus grave est la formation de la méthémoglobinémie. Les «nitrates» deviennent toxiques lorsqu'ils

se transforment en «nitrites». Ce processus peut se produire dans la salive et dans l'estomac. Les acides gastriques des enfants sont moins puissants que ceux des adultes, et donc peuvent conduire à la présence accrue de bactéries réduisant les «nitrates». Sous son action, les «nitrates» sont réduits en «nitrites» dans le sang. Ils se combinent alors à l'hémoglobine pour former un élément appelé méthémoglobine. Cette dernière n'est pas aussi efficace que l'hémoglobine pour transporter le sang dans les tissus du corps et un manque d'oxygène se crée. Si un enfant est affecté par la méthémoglobine, la peau autour de sa bouche et ses extrémités va virer au bleu, et l'enfant aura le souffle court. Une méthémoglobinémie aigue peut impliquer des lésions cérébrales puis la mort. La majorité des cas de méthémoglobinémie sont apparus suite à des niveaux de «nitrates» de plus de 100mg/l. Les adultes en bonne santé peuvent ingérer de grandes quantités de «nitrates» sans ressentir d'effets importants. Les «nitrates» consommés quotidiennement sont rejetés par les urines. Toutefois, une exposition prolongée à de hauts niveaux de «nitrates» peut provoquer des problèmes d'estomac et un risque accru de cancer de la vessie. [4]

Pour ce qui est de la norme Algérienne, la concentration de «nitrates» est fixée à 50mg/l et celle de «nitrites» à 0,2mg/l. [112]

III.2.2.3.2.6. Indicateur I29 et Indicateur I210 «Fer (Fe) et Conductivité»

Le «fer» entre dans la composition naturelle de nombreuses roches. Avec le manganèse, il fait partie des éléments métalliques les plus abondants dans la nature. Le fer est un élément indispensable au bon fonctionnement de l'organisme : Il intervient dans la formation de l'hémoglobine, protéine chargée de transporter l'oxygène dans le sang en moyenne, nous avons besoin d'environ 10mg de fer par jour. Il n'est pas nécessairement nocif pour la santé. Cependant, il pourrait entraîner une coloration brunâtre ou rougeâtre de l'eau et laisser des taches sur le linge. [115]

Pour ce qui est de la norme Algérienne, la concentration de «fer» est fixée à 0,3mg/l. [112]

La «conductivité» traduit la capacité d'une matière à faire passer le courant électrique. En fonction de sa concentration en sels minéraux, l'eau est plus ou moins conductrice.

Plus précisément dans le domaine de l'eau :

La «conductivité» électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique; cette notion est inversement proportionnelle à celle de résistivité électrique. Elle est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux et non les matières organiques) dissous dans l'eau, donne une indication sur la minéralisation globale de l'eau. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée. Elle exprimé en micro siemens/cm. [121]

Pour ce qui est de la norme Algérienne, la concentration de la «conductivité» est fixée à 2800mg/l. [112]

III.2.2.3.3. Indicateurs associés au critère 3 «Traitement des réclamations des clients»

III.2.2.3.3.1. Indicateur I31 «Les réclamations sur la qualité de l'eau»

Ces réclamations sont faites suite à une suspicion sur la qualité de l'eau. Cette suspicion de la qualité est appréhendée par un goût suspect, une mauvaise odeur ou encore une couleur pas habituelle de l'eau. Dans ces cas, des diagnostics ont été organisés aux domiciles en question dans les plus brefs délais.

Dans le centre-ville Chelghoum-Laid, plusieurs réclamations ont été exprimées au sujet de la qualité de l'eau. Des résultats sont communiqués dès que l'Algérienne Des Eaux ait connaissance de la cause de ce dysfonctionnement.

III.2.2.3.3.2. Indicateur I32 «Les réclamations sur les fuites»

Dans le réseau de distribution, l'eau potable circule sous pression dans des conduites enterrées de différents diamètres qui, à la suite de mouvements de terrain, d'événements climatiques extrêmes ou simplement par usure, se mettent à fuir. [122]

En effet, la perte d'eau dans un réseau de distribution peut être définie comme la différence entre les volumes produits et les volumes consommés par les usagers. Les pertes peuvent provenir des fuites sur le réseau, des erreurs de comptage des volumes ou des pertes liées aux processus commerciaux. [123]

On distingue [123] :

- ✓ D'une part, les pertes réelles qui sont des volumes d'eau perdue à travers tous les types de fuites et débordements de réservoirs ;

- ✓ Et d'autre part, les pertes apparentes qui ne sont pas liées à des fuites physiques ; ce sont par exemple : l'imprécision des compteurs, les fraudes, les erreurs dans le processus de traitement des données. etc.

Réduire les fuites permet d'éviter des prélèvements sur la ressource et des traitements inutiles de l'eau.

III.2.2.3.3. Indicateur I33 «Les réclamations sur manque de l'eau»

Votre eau est acheminée chez vous par le réseau de distribution via un système de tuyaux d'eau potable. La pression de l'eau est la force qu'exerce l'eau sur la tuyauterie. Elle est exprimée en bar. Vous ne pouvez pas agir sur la pression de l'eau avant votre compteur, c'est la compagnie qui fixe cette pression qui est d'environ 3bar. [124]

Si dans une habitation un problème de manque de pression surgit à toutes les arrivées (douche, baignoire, lavabo) cela veut dire que le problème est ailleurs en dehors de la maison. Soit c'est le réseau et c'est à la compagnie des eaux de s'en occuper. Soit il y a un limiteur ou un réducteur de pression à l'entrée de l'installation domestique et c'est lui le coupable. [4]

III.2.3. Phase d'évaluation de la performance

La méthodologie proposée pour évaluer la performance du service d'eau potable nécessite le passage par plusieurs étapes :

- **Le choix de la méthode d'agrégation** : dans cette étude, le choix a été adopté sur une agrégation qui réunit les indicateurs en critères, puis l'agrégation des critères en évaluation des performances des objectifs. Elle permettra de calculer la performance des différents éléments ;
- **Le choix de la méthode de pondération** : dans cette étude, le choix a été adopté sur la méthode (AHP) Processus d'Analyse Hiérarchique. La méthode permet de donner un poids à chaque élément ;
- **Le calcul de la performance des indicateurs** : initialement, une première étape réside dans la traduction des données brutes collectées sur le système en une note de performance. Ce passage nécessite la construction de certaines fonctions de performance. L'échelle de performance est finie, quantitative, comprise entre 0 et 1. Elle est commune à l'ensemble des indicateurs. Cette échelle de mesure a été choisie pour obtenir une plage de

variation suffisante. Cette plage de variation est nécessaire pour faciliter une distinction détaillée de l'évolution de la performance du système. Ce choix s'accorde avec le fait que la méthode d'évaluation des performances adoptée est basée sur l'algorithme de la méthode Analytical Hierarchy Process (AHP). [125]

Pour transformer la mesure initiale de l'indicateur en une note de performance, des fonctions de performance ont été construites en utilisant des normes, ou, à défaut, des recommandations d'experts nationaux dans le domaine de l'eau.

III.2.3.1. Méthode d'agrégation choisie

La méthode d'agrégation choisie est l'agrégation complète fondée sur le principe d'un critère unique de synthèse. Nous avons opté pour la méthode de l'addition linéaire (dite méthode de la somme pondérée) pour sa clarté et sa simplicité de réalisation. [126]

Exemple, la performance du critère C_i est évaluée par l'équation suivante :

$$P_{C_i} = \sum_{j=1}^n P_{I_{ij}} \times W_{I_{ij}}$$

P_{C_i} : valeur de performance du critère C_i .

n : nombre d'indicateurs intervenant dans le critère C_i .

$P_{I_{ij}}$: valeur de performance de l'indicateur I_j du critère C_i .

$W_{I_{ij}}$: valeur du coefficient de pondération de l'indicateur I_j du critère C_i .

III.2.3.2. Méthode de pondération

Dans notre étude, le calcul des coefficients de pondérations va se faire en appliquant le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP). Ce modèle, pragmatique, détermine la valeur des coefficients (W_{ij}).

Le processus d'analyse hiérarchique est considéré comme une procédure globale permettant de modéliser un problème de décision, dans la gestion des projets, pour en réduire la complexité et de lui trouver une solution en faisant appel au concept de comparaison par paire. Elle permet l'obtention d'une seule note globale de l'objectif ceci par l'intégration à la

fois l'importance des indicateurs et critères. Son application repose sur les principes fondamentaux suivant [125] :

1. Définir le problème et déterminer son but ;
2. Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique du haut puis les niveaux intermédiaires. Le niveau le plus bas contient les indicateurs ;
3. Construire un ensemble de matrices de comparaison, par paire, pour chacun des niveaux avec une matrice pour chaque élément. Pour comparer les éléments, il convient de se poser une question. La façon dont la question est posée est importante. Pour remplir la matrice des comparaisons binaires, nous utilisons des chiffres pour représenter l'importance relative d'un élément par rapport à un autre en fonction de la propriété. Le tableau III.1 contient l'échelle numérique utilisée pour procéder aux comparaisons binaires ;

La comparaison entre tous les indicateurs donne la matrice suivante :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1i} & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ii} & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ a_{j1} & \cdots & a_{ji} & a_{jj} & \cdots & a_{jn} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{ni} & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} ; \text{ avec } a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \text{ et } a_{ii} = 1$$

4. Il existe (N X N) jugements nécessaires au développement de l'ensemble des matrices à l'étape 3. Les réciproques sont automatiquement attribuées à chaque comparaison par paire. N est la taille de la matrice ;
5. Déterminer les priorités et leurs synthèses. Nous additionnons d'abord les valeurs de chaque colonne de la matrice. Ensuite, nous divisons toutes les entrées de chaque colonne par le total de cette colonne pour obtenir une matrice normalisée qui permet des comparaisons significatives entre les éléments. Pour finir, nous calculons la moyenne des lignes en additionnant les valeurs figurant sur chaque ligne de la matrice normalisée et en divisant ces lignes par le nombre d'entrées qu'elles comportent. Ces opérations débouchent sur un vecteur

de priorités globales. L'importance relative des différents critères est exprimée par les valeurs du vecteur propre normalisé à 1 ;

6. Cohérence des jugements. Un grand avantage de la méthode est qu'elle permet de calculer un indice de cohérence qui permet d'évaluer les calculs effectués. En d'autres termes, il permet de vérifier si les valeurs de l'échelle (1-9) attribuées par le décideur sont cohérentes ou non. Il fournit une mesure de la probabilité que la matrice a été complétée purement au hasard. On définit les vecteurs suivants :

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 & \dots & \lambda'_i & \dots & \lambda'_n \end{bmatrix} \text{ et } \begin{bmatrix} \lambda_1 & \dots & \lambda_i & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} \text{ tel que :}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \dots \\ \lambda'_i \\ \dots \\ \lambda'_n \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n w_k \times \begin{bmatrix} a_{1k} \\ \dots \\ a_{ik} \\ \dots \\ a_{nk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \dots \\ a_{1i} \\ \dots \\ a_{1n} \end{bmatrix} w_1 + \dots + \begin{bmatrix} a_{li} \\ \dots \\ a_{ii} \\ \dots \\ a_{ni} \end{bmatrix} w_i + \dots + \begin{bmatrix} a_{ln} \\ \dots \\ a_{in} \\ \dots \\ a_{nn} \end{bmatrix} w_n$$

$$\text{Et : } \lambda'_i = \frac{\lambda'_i}{w_i} \quad \text{Puis : } \lambda_{\max} = \left[\sum_{i=1}^n \lambda'_i \right] / n$$

La consistance est déterminée en utilisant la valeur propre, $\lambda_{\max}$, pour calculer l'indice de cohérence, CI comme suit : $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$

La cohérence du jugement peut être vérifiée en prenant le rapport de cohérence : $CR = \frac{CI}{RI}$

Les valeurs de RI sont mentionnées dans le tableau III.2. Le CR est acceptable, s'il ne dépasse pas 0,10. Si c'est plus, la matrice de jugement est incompatible. Pour obtenir une matrice cohérente, les jugements doivent être revus et améliorés ;

7. Les étapes 3 à 6 sont effectuées à tous les niveaux de la hiérarchie.

Tableau III.1 : Échelle de comparaison par paire des préférences de la méthode AHP. [74]

Intensité d'importance	Définition
1	Importance égale de deux éléments.
3	Faible préférence (l'élément i par rapport à l'élément j).
5	Forte préférence (l'élément i par rapport à l'élément j).
7	Très forte préférence (l'élément i par rapport à l'élément j).
9	Préférence absolue (l'élément i par rapport à l'élément j).
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (l'élément i par rapport à l'élément j).
1/3	Faible préférence (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/5	Forte préférence (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/7	Très forte préférence (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/9	Préférence absolue (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (l'élément j par rapport à l'élément i).

Tableau III.2 : Les valeurs de coefficient de cohérence aléatoire RI. [74]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

III.2.3.3. Calcul de la performance des indicateurs associés à l'objectif «Satisfaire le client»

Le principe de l'évaluation de la performance est d'évaluer l'ensemble des indicateurs sur une échelle définie et commune à l'ensemble des critères.

L'échelle de mesure est finie, quantitative, comprise entre 0 et 1. Plus la performance du système sur un critère augmente, plus la valeur sur l'échelle est élevée. Cette échelle de mesure a été choisie pour obtenir une plage de variation suffisante. Cette plage de variation est nécessaire pour faciliter une distinction détaillée de l'évolution de la performance du système. Ce choix s'accorde avec le fait que la méthode d'évaluation des performances adoptée est basée sur l'algorithme de la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process). [74] cité en Al Harbi, [125]

Pour transformer la mesure initiale en une note de performance de l'indicateur comprise entre 0 et 1, nous avons utilisé des fonctions de performance en utilisant des normes, ou, à défaut, des recommandations d'experts nationaux dans le domaine de l'eau. Ces fonctions ne sont pas les mêmes pour tous les indicateurs.

La mesure de la performance de l'objectif prioritaire «satisfaire le client» est obtenue à partir de l'évaluation de la performance d'un ensemble de 16 d'indicateurs. Ce qui nécessite l'utilisation d'un ensemble de fonction de performance. Dans ce qui suit, nous allons présenter les fonctions de performance établie pour chaque indicateur.

III.2.3.3.1. Calcul de la performance des indicateurs associés au critère 1

III.2.3.3.1.1. Calcul de la performance indicateur I11 «Taux de fuites»

Pour calculer la performance de cet indicateur on a réalisé une échelle de performance, le tableau III.3.

Tableau III.3 : Échelle performance de l'indicateur «Taux de fuite».

Taux de fuites	0	20	40	60	80	100
Performance	1	0,86	0,56	0,4	0,3	0

La courbe de performance de «taux de fuite» est représentée sur la figure III.3. La relation suit bien la loi linéaire avec un coefficient de détermination très significatif.

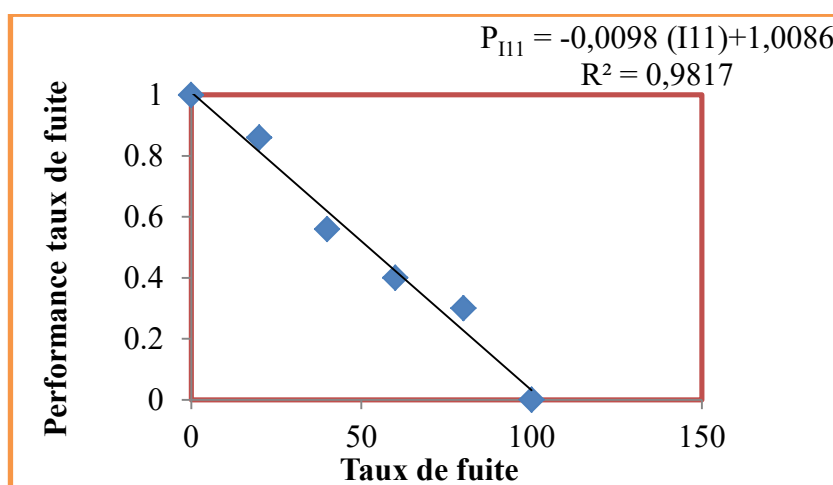


Figure III.3 : Fonction de performance de l'indicateur «Taux de fuites».

D'après le groupement BCEOM/G2C [86], le taux de fuite de centre-ville Chelghoum-Laid est : 70%.

Après l'application de la fonction de performance de l'indicateur «taux de fuites» :

$$P_{I11} = -0,0098 (I11) + 1,0086$$

Donc, La performance de l'indicateur I11 est de : **0,3226**.

Calcul de l'erreur (RMSE)

La racine de la moyenne des erreurs quadratique notée RMSE est un meilleur indicateur de la performance des modèles parce qu'il reflète la moyenne des écarts entre l'observé et le simulé ([126] ; [127]).

Il est donné par:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_{sim} - O_{obs})^2}{n}}$$

Avec:

RMSE : indiquent l'ampleur de l'erreur moyenne.

n: Nombre de données durant la période de comparaison.

O_{sim}: Valeur Simulée (calculé par le modèle).

O_{obs}: Valeur observée pendant la période de calage.

Le modèle est optimisé si la valeur du RMSE est proche de zéro.

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le taux de fuite précisément avec $R^2 = 0,98$ et $RMSE = 0,045$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,98$) révèle que la relation entre la performance et le taux de fuite est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.3.1.2. Calcul de la performance indicateur I12 «Type de matériaux»

Pour calculer la performance de cet indicateur on a réalisé une échelle de performance, le tableau III.4.

Tableau III.4 : Échelle performance de l'indicateur «Type de matériaux».

Type de matériaux	PEHD	Fonte	Acier	A.G	PVC	A.C
Performance	0,95	0,65	0,45	0,35	0,25	0,15

La courbe de performance de «type de matériaux» est représentée sur la figure III.4. La relation suit bien la loi linéaire avec un coefficient de détermination très significatif.

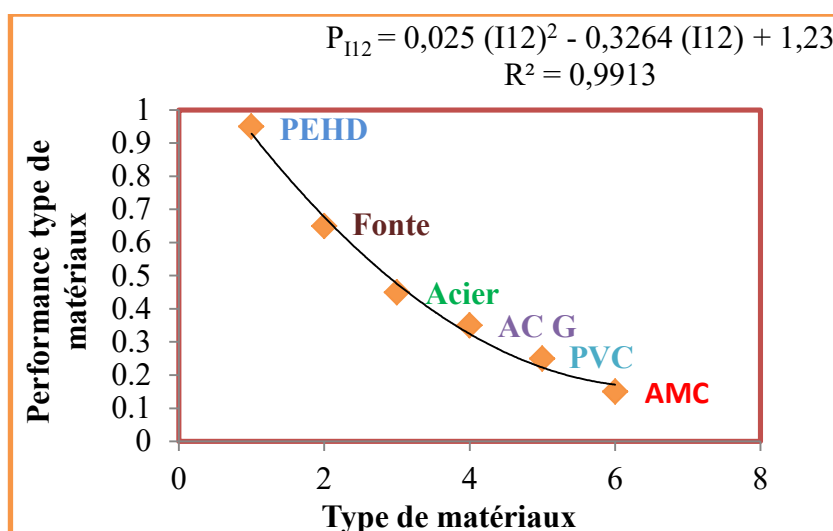


Figure III.4 : Fonction de performance de l'indicateur «Type de matériaux».

On utilise la fonction de performance de l'indicateur «type de matériaux», on peut déterminer la performance de chaque type de matériau. Les valeurs sont représentées dans le tableau III.5.

Tableau III.5 : Linéaire de chaque «Type de matériaux».

Type de matériaux	PEHD	Fonte	Acier	A.G	PVC	A.C	Totale
Linéaire des conduites (ml)	5096,74	12161,78	5473,51	5389,22	20348,45	18424,23	66893,93

Enfin, pour déterminer la performance globale de l'indicateur «type de matériaux». On va utiliser le linéaire des conduites: la performance globale de l'indicateur I12 est de : **0,3729**.

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le type de matériaux précisément avec $R^2 = 0,99$ et $RMSE = 0,024$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,99$) révèle que la relation entre la performance et le type de matériaux est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.3.1.3. Calcul de la performance indicateur I13 «Âge de matériaux»

L'intervalle de pose des différents types des conduites sont représentés dans le tableau III.6.

Tableau III.6 : Date de pose et linéaire de chaque «Type de matériaux».

Matériaux	A.C	PVC	A.G	Acier	Fonte	PEHD
Date de pose	1970-1980	1980-1990	1988-1999	1992-2000	2000-2010	2008-2015
Linéaire des conduites (ml)	18424,23	20348,45	5389,22	5473,51	12161,78	5096,74

Pour évaluer la performance de cet indicateur nous réalisons une échelle de performance pour chaque matériau dans le tableau III.7.

Tableau III.7 : Échelle de performance des matériaux.

Performance	0,86-0,94	0,86-0,72	0,72-0,51	0,51-0,35	0,35-0,1
Durée de vie (ans)	0-10	10-20	20-25	25-35	35-50
Âge	Âge1	Âge2	Âge3	Âge4	Âge5
État	Bon	Assez bon	Moyen	Mauvais	Très mauvais

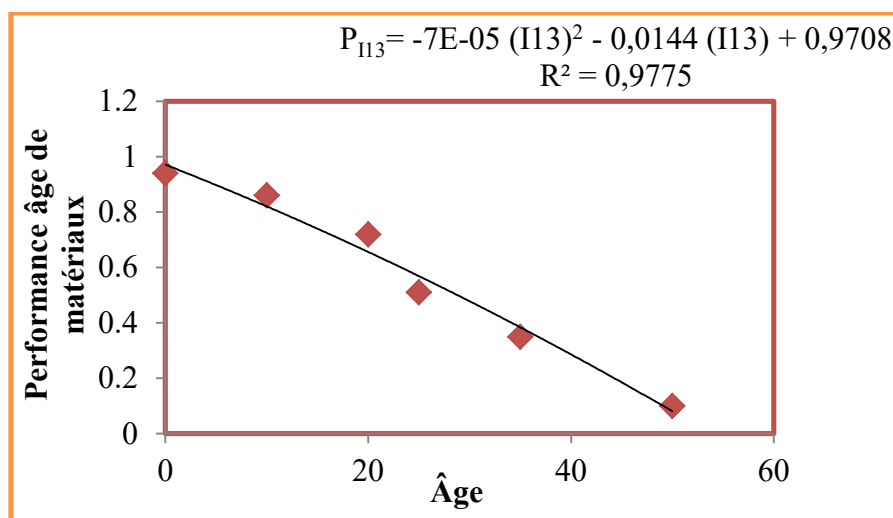


Figure III.5 : Échelle de performance de l'indicateur «Âge de matériaux».

On calcul par la suit la performance de chaque matériau. La performance est représentée dans le tableau III.8.

Tableau III.8 : Performance de l'indicateur «Âge de matériaux».

Le matériau	A.C	PVC	A.G	Acier	Fonte	PEHD
Performance	0,1818	0,3488	0,4860	0,5520	0,7900	0,8720

Enfin, pour déterminer la performance globale de l'indicateur «l'âge de matériaux». On va utiliser le linéaire des conduites: la performance globale de l'indicateur I13 est de : **0,4506**.

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire l'âge de matériaux précisément avec $R^2 = 0,97$ et $RMSE = 0,044$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,97$) révèle que la relation entre la performance et l'âge de matériaux est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.3.2. Calcul de la performance des indicateurs associés au critère 2

Pour le critère 2 nous avons obtenu les données à partir de Algérienne Des Eau unité de Mila; les résultats des analyses d'eau sont présentés dans Tableau III.9.

Tableau III.9 : Résultats des analyses physico-chimiques. [110]

Date d'analyse	Turbidité NTU	PH	Mg ⁺² mg/l	Ca ⁺² mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Fe mg/l	Na ⁺ mg/l	K mg/l	Conductivité μ s /cm
3/05/2018	0,84	7,83	41,33	62,52	0	8,50	0,059	115	8	1363
13/11/2018	2,72	7,5	33,53	81,76	0	5,18	0,024	115	7	1190
19/05/2019	0,89	7,28	44,71	68,13	0,001	10,17	0,032	90	6	1116
18/06/2019	0,51	7,34	36,93	64,92	0,001	8,86	0,052	90	6	1116

III.2.3.3.2.1. Calcul de la performance indicateur I21 «Turbidité»

L'échelle de performance de l'indicateur turbidité est représentée dans le tableau III.10.

Tableau III.10 : Échelle de performance de «Turbidité».

Turbidité (NTU)	0	1	2	3	4	5	5<T
Performance	1	0,95	0,84	0,55	0,38	0,1	0

La fonction représentative de l'échelle de performance de la turbidité est représentée sur la figure III.6. La fonction suit bien la loi linéaire avec un coefficient de détermination très significatif.

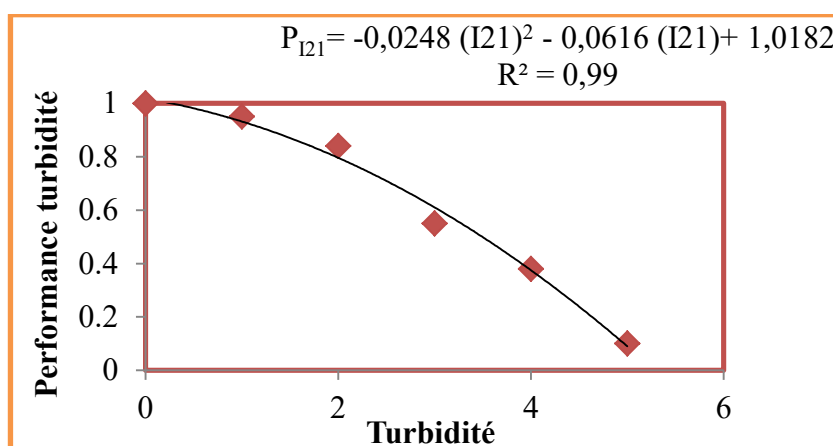


Figure III.6 : Fonction de performance de l'indicateur «Turbidité».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats représentés dans le tableau III.11.

Tableau III.11 : Performance de l'indicateur «Turbidité».

Date d'analyse	Turbidité (NTU)	Performance
3/05/2018	0,84	0,9490
13/11/2018	2,72	0,6672
19/05/2019	0,89	0,9437
18/06/2019	0,51	0,9803

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire la turbidité précisément avec $R^2 = 0,99$ et $RMSE = 0,032$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,99$) révèle que la relation entre la performance et la turbidité est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.3.2.2. Calcul de la performance indicateur I22 «PH»

L'échelle de performance de l'indicateur PH est comme indiqué dans les tableaux III.12(a), III.12(b) et III.12(c):

Tableau III.12 (a) : Échelle de performance de l'indicateur «PH». (Eau agressive $0 < PH < 6,5$)

État	Eau agressive (mauvaise)		
PH	0	4	6,5
Performance	0	0,25	0,82

Tableau III.12 (b) : Échelle de performance de l'indicateur «PH». (Eau normal $6,5 < PH < 9$).

État	Eau normal dans la norme (bonne)			
PH	6,5	7	7,5	9
Performance	0,82	1	0,94	0,58

Tableau III.12 (c) : Échelle de performance de l'indicateur «PH». (Eau entartrant $9 < PH < 14$).

État	Eau entartrant (mauvaise)		
PH	9	11	14
Performance	0,58	0,27	0

La relation représentative de l'échelle de performance de PH est illustrée sur les figures III.7 (a), III.7 (b) et III.7 (c) :

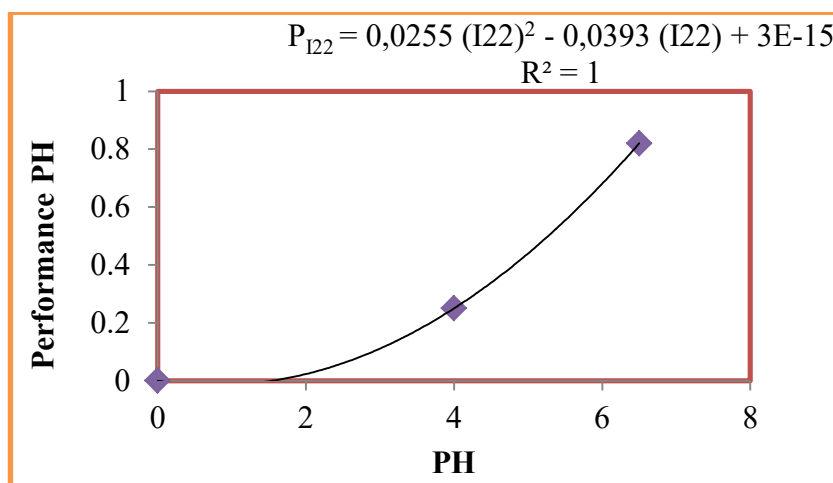


Figure III.7 (a) : Fonction de performance de l'indicateur «PH». (Eau agressive $0 < PH < 6,5$).

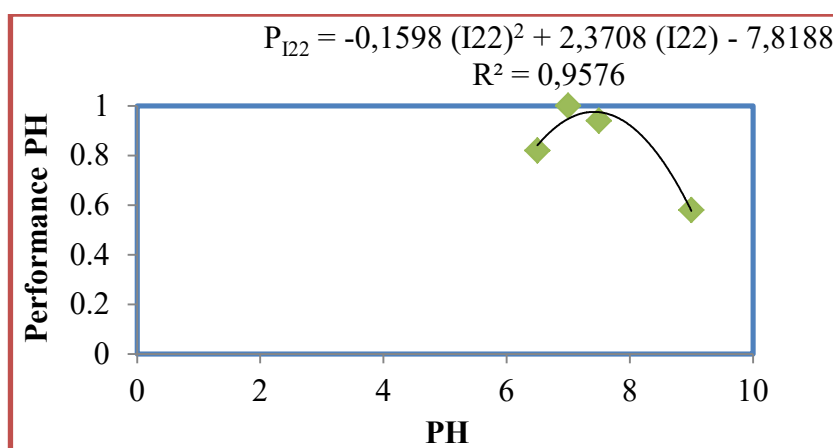


Figure III.7 (b) : Fonction de performance de l'indicateur «PH». (Eau normal $6,5 < PH < 9$).

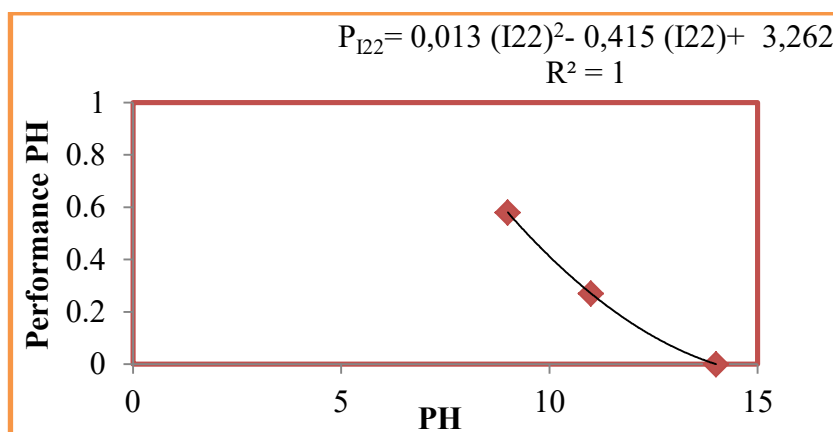


Figure III.7 (c) : Fonction de performance de l'indicateur «PH». (Eau entartrant $9 < PH < 14$).

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats représentés dans le tableau III.13 :

Tableau III.13 : Performance de l'indicateur «PH».

Date d'analyse	PH	Performance
3/05/2018	7,83	0,9474
13/11/2018	7,5	0,9734
19/05/2019	7,28	0,9715
18/06/2019	7,34	0,9736

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le PH précisément avec $R^2 = 0,95$ et $RMSE = 0,033$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,95$) révèle que la relation entre la performance et le PH est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.3.2.3. Calcul de la performance Indicateur I23 «Magnésium»

L'échelle de performance de l'indicateur magnésium est comme indiqué dans le tableau III.14.

Tableau III.14 : Échelle de performance de l'indicateur «Magnésium».

Magnésium (mg/l)	0	30	100	150	150<
Performance	0,3	1	0,65	0,1	0

La relation représentative de l'échelle de performance de magnésium est illustrée sur la figure III.8. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

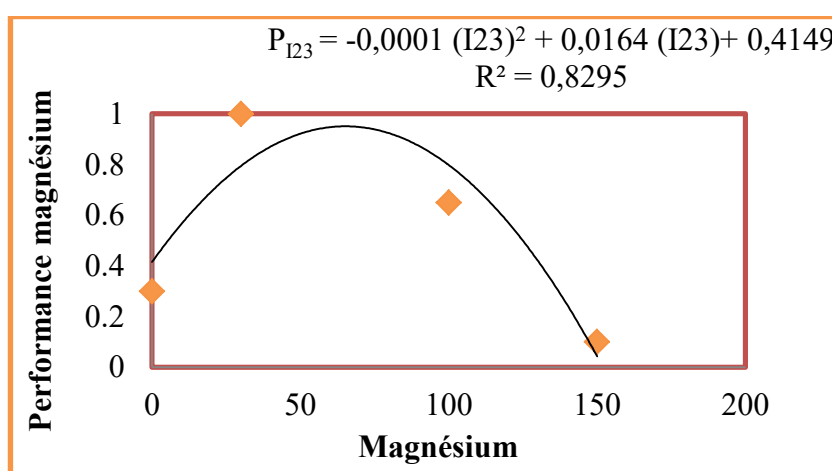


Figure III.8 : Fonction de performance de l'indicateur «Magnésium».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.15 : Performance de l'indicateur «Magnésium».

Date d'analyse	Magnésium (mg/l)	Performance
3/05/2018	41,33	0,9219
13/11/2018	33,53	0,8524
19/05/2019	44,71	0,9482
18/06/2019	36,93	0,8842

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisée pour prédire le magnésium précisément avec $R^2 = 0,82$ et $RMSE = 0,41$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,82$) révèle que la relation entre la performance et le magnésium a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.2.4. Calcul de la performance Indicateur I24 «Calcium»

L'échelle de performance de l'indicateur magnésium est comme indiqué dans le tableau III.16.

Tableau III.16 : Échelle de performance de l'indicateur «Calcium».

Calcium (mg/l)	0	50	100	200	200<
Performance	0,3	1	0,7	0,2	0

La relation représentative de l'échelle de performance de calcium est illustrée sur la figure III.9. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

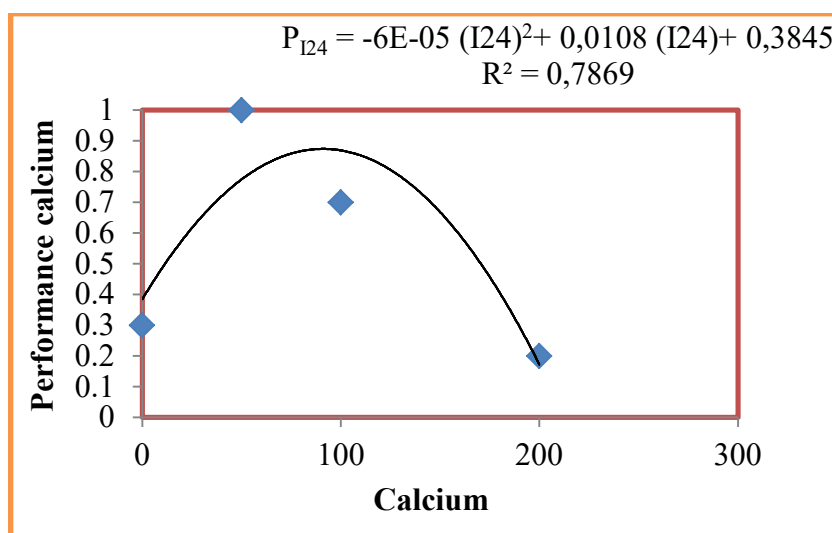


Figure III.9 : Fonction de performance de l'indicateur «Calcium».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.17 : Performance de l'indicateur «Calcium».

Date d'analyse	Calcium (mg/l)	Performance
3/05/2018	62,52	0,7747
13/11/2018	81,76	0,8005
19/05/2019	68,13	0,7868
18/06/2019	64,92	0,7803

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le calcium précisément avec $R^2 = 0,78$ et $RMSE = 0,14$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,78$) révèle que la relation entre la performance et le calcium a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.2.5. Calcul de la performance Indicateur I25 «Potassium»

L'échelle de performance de l'indicateur potassium est comme indiqué dans le tableau III.18.

Tableau III.18 : Échelle de performance de l'indicateur «Potassium».

Potassium	0	6	8	9	10	11	12	12<
Performance	0,43	0,78	1	0,9	0,58	0,33	0,1	0

La relation représentative de l'échelle de performance de potassium est illustrée sur la figure III.10. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

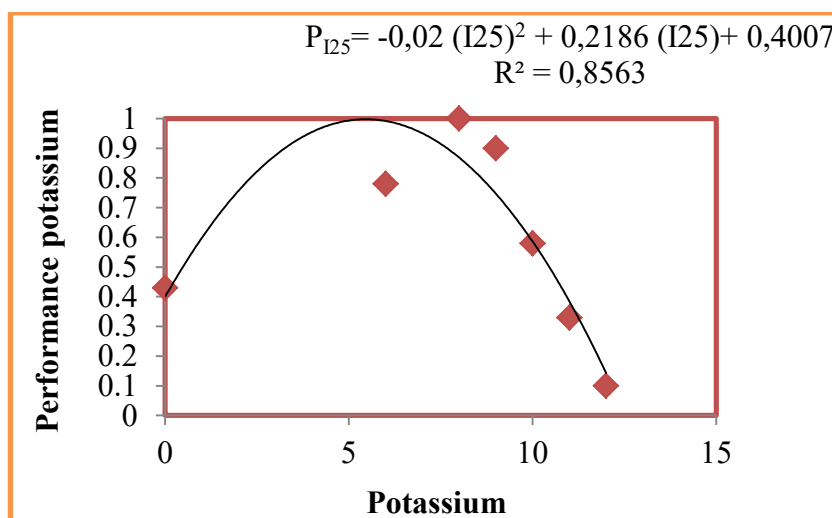


Figure III.10 : Fonction de performance de l'indicateur «Potassium».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.19 : Performance de l'indicateur «Potassium».

Date d'analyse	Potassium (mg/l)	Performance
3/05/2018	8	0,8695
13/11/2018	7	0,9509
19/05/2019	6	0,9923
18/06/2019	6	0,9923

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le potassium précisément avec $R^2 = 0,85$ et $RMSE = 0,11$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,85$) révèle que la relation entre la performance et le potassium a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.2.6. Calcul de la performance Indicateur I26 «Sodium»

L'échelle de performance de l'indicateur nitrate est comme indiqué dans le tableau III.20.

Tableau III.20 : Échelle de performance de l'indicateur «Sodium».

Sodium (mg/l)	0	12	19	80	120	160	200	200<
Performance	0,56	0,9	1	0,8	0,45	0,3	0,1	0

La relation représentative de l'échelle de performance de sodium est illustrée sur la figure III.11. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

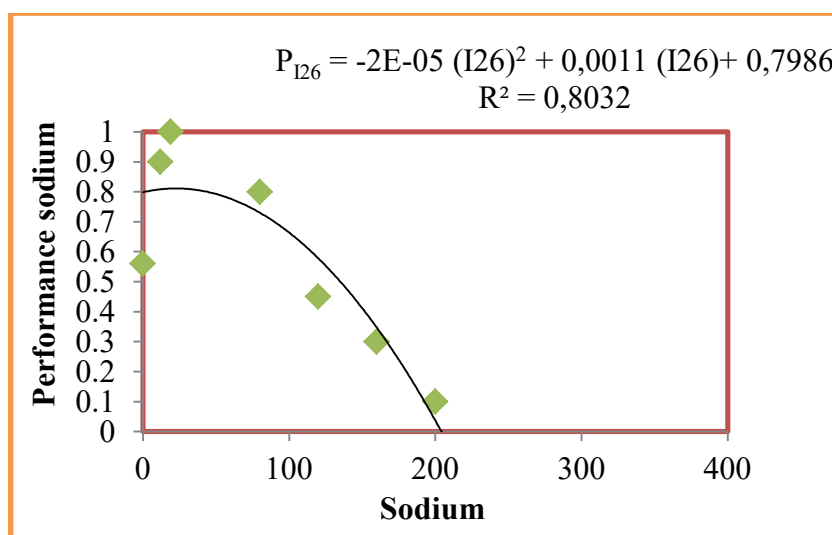


Figure III.11 : Fonction de performance de l'indicateur «Sodium».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.21 : Performance de l'indicateur «Sodium».

Date d'analyse	Sodium (mg/l)	Performance
3/05/2018	115	0,6485
13/11/2018	115	0,6485
19/05/2019	90	0,7260
18/06/2019	90	0,7260

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le sodium précisément avec $R^2 = 0,80$ et $RMSE = 0,16$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,80$) révèle que la relation entre la performance et le sodium a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.2.7. Calcul de la performance Indicateur I27 «Nitrites»

L'échelle de performance de l'indicateur nitrite est comme indiqué dans le tableau III.22.

Tableau III.22 : Échelle de performance de l'indicateur «Nitrites».

Nitrites (mg/l)	0	0,05	0,1	0,2	0,2<
Performance	0,54	0,85	1	0,4	0

La relation représentative de l'échelle de performance de nitrite est illustrée sur la figure III.12. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

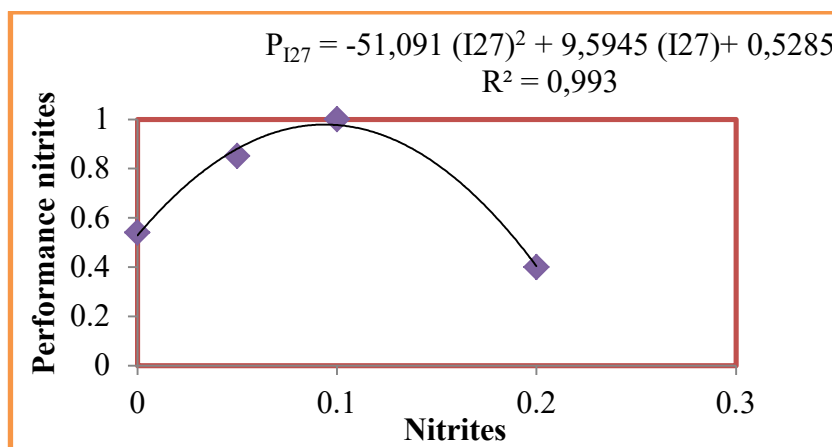


Figure III.12 : Fonction de performance de l'indicateur «Nitrites».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.23 : Performance de l'indicateur «Nitrites».

Date d'analyse	Nitrites (mg/l)	Performance
3/05/2018	0	0,5285
13/11/2018	0	0,5285
19/05/2019	0,001	0,5380
18/06/2019	0,001	0,5380

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le nitrite précisément avec $R^2 = 0,99$ et $RMSE = 0,18$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,99$) révèle que la relation entre la performance et le nitrite a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.2.8. Calcul de la performance Indicateur I28 «Nitrates»

L'échelle de performance de l'indicateur nitrate est comme indiqué dans le tableau III.24.

Tableau III.24 : Échelle de performance de l'indicateur «Nitrates».

Nitrates (mg/l)	0	10	25	50	50<
Performance	0,56	0,75	1	0,4	0

La relation représentative de l'échelle de performance de nitrate est illustrée sur la figure III.13. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

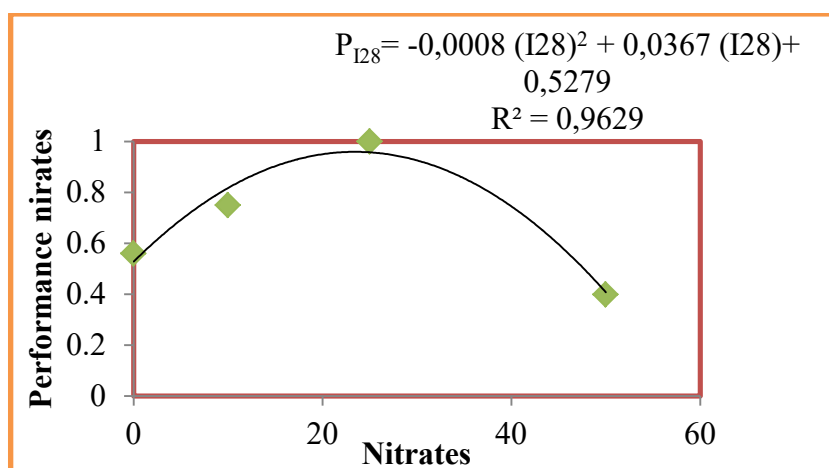


Figure III.13 : Fonction de performance de l'indicateur «Nitrates».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.25 : Performance de l'indicateur «Nitrates».

Date d'analyse	Nitrates (mg/l)	Performance
3/05/2018	8,50	0,7821
13/11/2018	5,18	0,6965
19/05/2019	10,17	0,8184
18/06/2019	8,86	0,7903

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire le nitrate précisément avec $R^2 = 0,96$ et $RMSE = 0,16$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,96$) révèle que la relation entre la performance et le nitrate a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.2.9. Calcul de la performance Indicateur I29 «Fer»

L'échelle de performance de l'indicateur fer est comme indiqué dans le tableau III.26.

Tableau III.26 : Échelle de performance de l'indicateur «Fer».

Fer (mg/l)	0	0,03	0,12	0,3	0,3<
Performance	0,58	0,8	1	0,2	0

La relation représentative de l'échelle de performance de fer est illustrée sur la figure III.14. La figure suit bien la fonction polynomiale avec un coefficient de détermination très significatif.

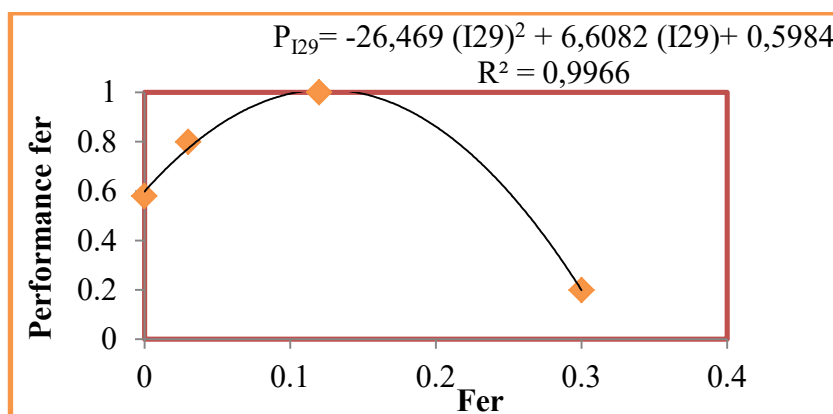


Figure III.14 : Fonction de performance de l'indicateur «Fer».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.27 : Performance de l'indicateur «Fer».

Date d'analyse	Fer (mg/l)	Performance
3/05/2018	0,059	0,8961
13/11/2018	0,024	0,7418
19/05/2019	0,032	0,7828
18/06/2019	0,052	0,8705

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisée pour prédire le fer précisément avec $R^2 = 0,99$ et $RMSE = 0,09$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,99$) révèle que la relation entre la performance et le fer est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.3.2.10. Calcul de la performance Indicateur I210 «Conductivité»

L'échelle de performance de l'indicateur conductivité est comme indiqué dans le tableau III.28.

Tableau III.28 : Échelle de performance de l'indicateur «Conductivité».

Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	200	300	400	1250	2000	2500	2800	2800<
Performance	0,56	0,85	1	0,78	0,4	0,3	0,25	0

La relation représentative de l'échelle de performance de potassium est illustrée sur la figure III.15. La figure suit bien la fonction exponentielle avec un coefficient de détermination très significatif.

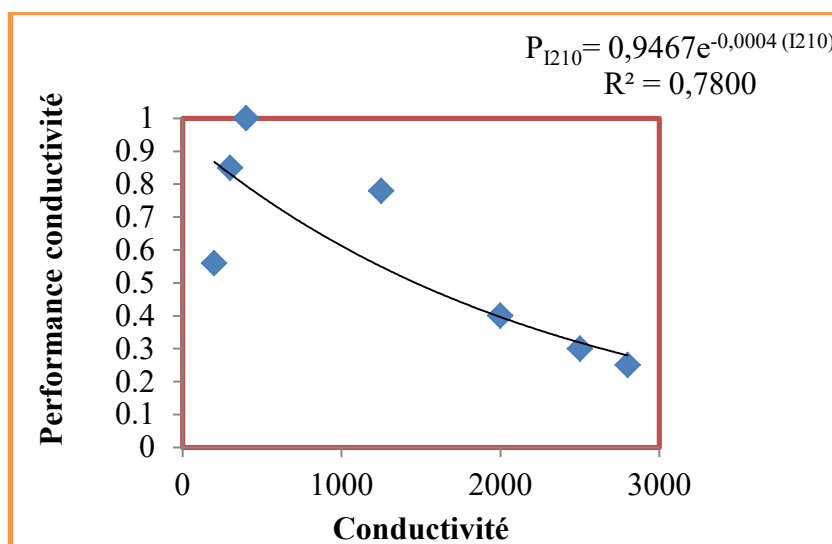


Figure III.15 : Fonction de performance de l'indicateur «Conductivité».

Après l'application numérique de la fonction de performance on a les résultats suivants :

Tableau III.29 : Performance de l'indicateur «Conductivité».

Date d'analyse	Conductivité ($\mu\text{s} / \text{cm}$)	Performance
3/05/2018	1363	0,5488
13/11/2018	1190	0,5882
19/05/2019	1116	0,6058
18/06/2019	1116	0,6058

On a constaté que la performance simulée est proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire la conductivité précisément avec $R^2 = 0,78$ et $\text{RMSE} = 0,18$

Le coefficient de corrélation ($R^2=0,78$) révèle que la relation entre la performance et la conductivité a une bonne corrélation. La valeur de RMSE montre que la relation est significative.

III.2.3.3.3. Calcul de la performance des indicateurs associés au critère 3

Au début, nous avons transformé la mesure initiale de chaque indicateur en une note. Elle symbolise la réponse donnée à chaque réclamation.

Dans ce cas, il ne peut y avoir que deux valeurs de la performance : 1 pour une réclamation traitée et 0 pour une réclamation non traitée.

Par la suite, nous avons appliqué la formule de calcul de la performance de chaque indicateur associé au critère 3 qui est la suivante :

$$P_{IZ} = \frac{\text{lenombrederéclamationstraitésdurantl'année}}{\text{lenombrederéclamationsrécuesdurantl'année}} \times 100$$

Avec :

Z : les indicateurs liés au critère 3 (I31, I32, I33).

A chaque fois que le nombre de réclamation traitée est important la performance de l'indicateur est meilleure.

Le Tableau III.30 présente l'état des réclamations de centre-ville Chelghoum-Laid pour les années précédentes.

Tableau III.30 : État des réclamations de centre-ville Chelghoum-Laid pour les années précédents. [110]

Types Réclamations	Réclamations sur la qualité de l'eau	Réclamations sur les fuites	Réclamations sur le manque d'eau
Réclamations Reçues	26	597	621
Réclamations traitée	12	312	342

Tableau III.31 : Échelle de performance de critère 3 «Traitement des réclamations».

Pourcentage de traitement de réclamation (%)	0	25	50	75	100
Performance	0	0,25	0,50	0,75	1

La relation représentative de l'échelle de performance de Traitement des réclamations est illustrée sur la figure III.16. La figure suit bien la fonction linéaire avec un coefficient de détermination très significatif.

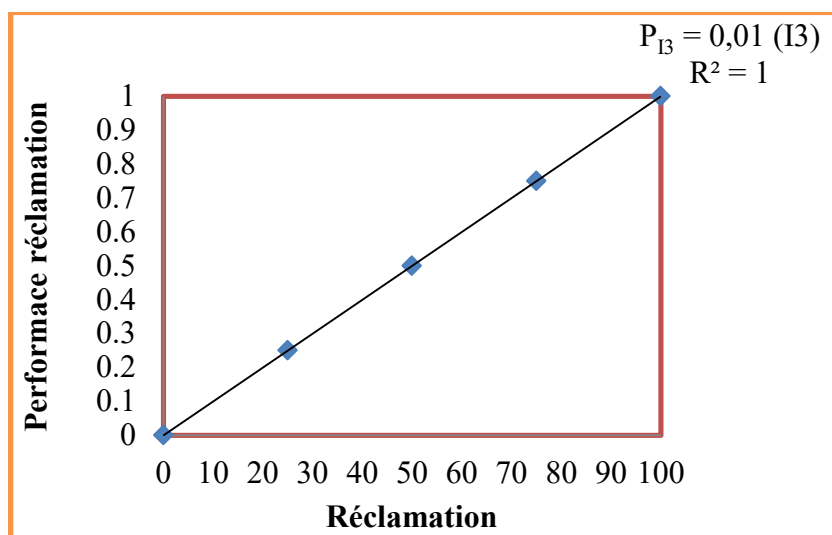


Figure III.16 : Fonction de performance des indicateurs associés au critère 3.

La performance des indicateurs associés au troisième critère est représentée dans le tableau III.32.

Tableau III.32 : Performance des indicateurs associés au critère 3.

Indicateurs	Pourcentage (%)	Performance
Réclamations sur la qualité de l'eau	46,15	0,4615
Réclamations sur les fuites	52,26	0,5226
Réclamations sur le manque d'eau	55,07	0,5507

On a constaté que la performance simulée est extrêmement proche des valeurs mesurées. Le résultat de la validation a également montré que l'équation pourrait être utilisé pour prédire les réclamations précisément avec $R^2 = 1$ et $RMSE = 0$

Le coefficient de corrélation ($R^2=1$) révèle que la relation entre la performance et les réclamations est fortement corrélée. La valeur de RMSE montre que la relation est hautement significative.

III.2.3.4. La performance de l'objectif prioritaire «Satisfaire le client» :

Pour ce qui est de l'objectif prioritaire «satisfaire le client», nous avons exploité et adopté la définition utilisée par Coulibaly et Rodriguez sur l'échelle de performance [128], Ils ont divisé l'échelle de la performance de l'objectif à analyser en cinq parties égales. Le but est de donner une signification aux valeurs obtenues par rapport à la performance de l'objectif prioritaire analysé; comme indiqué dans le tableau suivant:

Tableau III.33 : L'échelle de la performance de l'objectif prioritaire «Satisfaire le client». [128]

l'échelle de la performance	Signification
0 à 0,2	Très mauvaise performance
0,2 à 0,4	Mauvaise performance
0,4 à 0,6	Performance acceptable
0,6 à 0,8	Bonne performance
0,8 à 1	Très bonne performance

III.3.1. Application de la méthode développée AHP

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'évaluation sera faite sur la mesure de la performance de l'objectif prioritaire «satisfaire le client». Cette évaluation s'appliquera sur le service d'eau potable de centre-ville Chelghoum-Laid géré par l'Algérienne Des Eaux. La performance de l'objectif prioritaire est obtenue à partir de l'évaluation de la performance de trois critères, ces trois derniers dépendent d'un ensemble de 16 indicateurs. Seuls les indicateurs disponibles et mesurables sur le site d'étude sont pris en compte. Pour cela, nous allons exploiter les données recueillies par les différents services publics, de la ville de Mila.

III.3.1.1. Application de la méthode AHP pour évaluer la performance du réseau d'AEP de centre-ville Chelghoum-Laid

❖ Pour le critère 1

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.34 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère 1.

Indicateur	I11	I12	I13
I11	1	2	3
I12	0,5	1	2
I13	0,33	0,5	1
Somme	1,833	3,5	6

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.35 : Résultats du calcul des valeurs liés au critère 1.

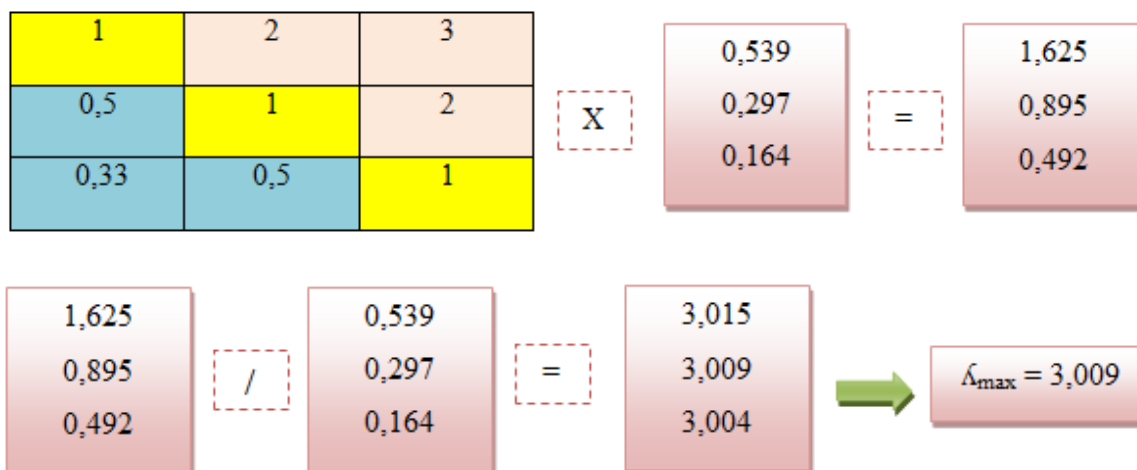
0,545	0,571	0,500
0,273	0,286	0,333
0,182	0,143	0,167

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.36 : Poids liés au critère 1.

Indicateur	Poids
I11	0,539
I12	0,297
I13	0,164
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:



Calcul de CR:

$n = 3$
$\lambda_{\max} = 3,009$
$CI = (\lambda_{\max} - 3) / 2 = 0,005$
$RI = 0,58$
$CR = CI / RI = 0,008 < 0,1$

Il est évident que puisque $CR = 0,008$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

❖ Pour le critère 2

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.37 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère 2.

Indicateur	I21	I22	I23	I24	I25	I26	I27	I28	I29	I210
I21	1	2	3	3	5	5	7	7	9	9
I22	0,5	1	2	2	3	3	5	5	7	7
I23	0,33	0,5	1	2	6	6	5	5	7	7
I24	0,33	0,5	0,5	1	4	4	6	6	3	3
I25	0,20	0,33	0,17	0,25	1	2	6	6	3	3
I26	0,20	0,33	0,17	0,25	0,5	1	4	4	3	3
I27	0,14	0,20	0,20	0,17	0,17	0,25	1	2	4	4
I28	0,14	0,20	0,20	0,17	0,17	0,25	0,5	1	2	2
I29	0,11	0,14	0,14	0,33	0,33	0,33	0,25	0,5	1	2
I210	0,11	0,14	0,14	0,33	0,33	0,33	0,25	0,5	0,5	1
Somme	3,075	5,352	7,519	9,50	20,50	22,167	35,00	37,00	39,50	41,00

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.38 : Résultats du calcul des valeurs liés au critère 2.

0.325	0.374	0.399	0.316	0.244	0.226	0.200	0.189	0.228	0.220
0.163	0.187	0.266	0.211	0.146	0.135	0.143	0.135	0.177	0.171
0.108	0.093	0.133	0.211	0.293	0.271	0.143	0.135	0.177	0.171
0.108	0.093	0.066	0.105	0.195	0.180	0.171	0.162	0.076	0.073
0.065	0.062	0.022	0.026	0.049	0.090	0.171	0.162	0.076	0.073
0.065	0.062	0.022	0.026	0.024	0.045	0.114	0.108	0.076	0.073
0.046	0.037	0.027	0.018	0.008	0.011	0.029	0.054	0.101	0.098
0.046	0.037	0.027	0.018	0.008	0.011	0.014	0.027	0.051	0.049
0.036	0.027	0.019	0.035	0.016	0.015	0.007	0.014	0.025	0.049
0.036	0.027	0.019	0.035	0.016	0.015	0.007	0.014	0.013	0.024

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

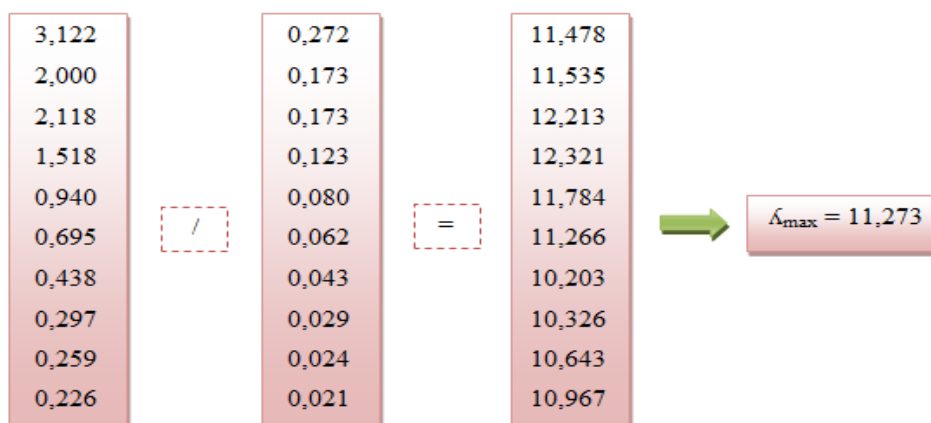
Tableau III.39 : Poids liés au critère 2.

Indicateur	Poids
I21	0,272
I22	0,173
I23	0,173
I24	0,123
I25	0,080
I26	0,062
I27	0,043
I28	0,029
I29	0,024
I210	0,021
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:

1	2	3	3	5	5	7	7	9	9
0,5	1	2	2	3,00	3,00	5,00	5,00	7,00	7,00
0,33	0,50	1	2	6,00	6,00	5,00	5,00	7,00	7,00
0,33	0,50	0,50	1	4,00	4,00	6,00	6,00	3,00	3,00
0,20	0,33	0,17	0,25	1	2,00	6,00	6,00	3,00	3,00
0,20	0,33	0,17	0,25	0,50	1	4,00	4,00	3,00	3,00
0,14	0,20	0,20	0,17	0,17	0,25	1	2,00	4,00	4,00
0,14	0,20	0,20	0,17	0,17	0,25	0,50	1	2,00	2,00
0,11	0,14	0,14	0,33	0,33	0,33	0,25	0,50	1	2,00
0,11	0,14	0,14	0,33	0,33	0,33	0,25	0,50	0,50	1

0,272	3,122
0,173	2,000
0,173	2,118
0,123	1,518
0,080	0,940
0,062	0,695
0,043	0,438
0,029	0,297
0,024	0,259
0,021	0,226



Calcul de CR:

$n = 10$
 $\lambda_{\max} = 11,273$
 $CI = (\lambda_{\max} - 10) / 9 = 0,141$
 $RI = 1,49$
 $CR = CI / RI = 0,095 < 0,1$

Il est évident que puisque $CR = 0,095$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

❖ Pour le critère 3

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.40 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère 3.

Indicateur	I31	I32	I33
I31	1	2	3
I32	0,5	1	4
I33	0,33	0,25	1
Somme	1,833	3,250	8

- Après avoir calculé la somme des colonnes.

- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.41 : Résultats du calcul des valeurs liés au critère 3.

0,545	0,615	0,375
0,273	0,308	0,500
0,182	0,077	0,125

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.42 : Poids liés au critère 3.

Indicateur	Poids
I31	0,512
I32	0,360
I33	0,128
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:

1	2	3		
0,5	1	4	X	0,512 0,360 0,128
0,33	0,25	1		=
				1,616 1,128 0,389

1,616 1,128 0,387	/	0,512 0,360 0,128	=	3,157 3,131 3,038	→	$\lambda_{\max} = 3,109$
-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------------------

Calcul de CR:

$$\begin{aligned} n &= 3 \\ \lambda_{\max} &= 3,109 \\ CI &= (\lambda_{\max} - 3) / 2 = 0,054 \\ RI &= 0,58 \\ CR &= CI / RI = 0,094 < 0,1 \end{aligned}$$

Il est évident que puisque $CR = 0,094$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

❖ Pour l'objectif «Satisfaire le client»

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.43 : Matrice des préférences entre le critère 1, 2 et 3 liés à l'objectif «Satisfaire le client».

Indicateur	C1	C2	C3
C1	1	3	5
C2	0,33	1	3
C3	0,20	0,33	1
Somme	1,533	4,333	9

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.44 : Résultats du calcul des valeurs liés à l'objectif «Satisfaire le client».

0,652	0,692	0,556
0,217	0,231	0,333
0,130	0,077	0,111

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.45 : Poids liés à l'objectif «Satisfaire le client».

Critère	Poids
C1	0,633
C2	0,260
C3	0,106
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:

1	3	5
0,33	1	3
0,20	0,33	1

X

0,633
0,260
0,106

=

1,946
1,790
0,320

1,946	0,633	3,072
1,790	0,260	3,033
0,320	0,106	3,011

/

=

$\lambda_{\max} = 3,039$

Calcul de CR:

$n = 3$
$\lambda_{\max} = 3,039$
$CI = (\lambda_{\max} - 3) / 2 = 0,019$
$RI = 0,58$
$CR = CI / RI = 0,033 < 0,1$

Il est évident que puisque $CR = 0,033$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Après l'application de la formule : $P_{Ci} = \sum_{j=1}^n P_{Iij} \times W_{Iij}$; nous avons résumé les résultats

dans le tableau suivant :

Tableau III.46 : Performance des trois critères et l'objectif «Satisfaire le client».

	Performance
Critère 1	0,3584
Critère 2	0,8566
Critère 3	0,4949
L'objectif «satisfaire le client»	0,5020

➤ **Remarque** : la performance de critère 2 c'est la moyenne entre les performances des quatre années.

3/05/2018 ➡ 0,8650.

13/11/2018 ➡ 0,7852.

19/05/2019 ➡ 0,8881.

18/06/2019 ➡ 0,8883.

L'application de la méthode AHP nous a permis d'obtenir les valeurs de performances associées à chaque indicateur, critères et l'objectif (Figure III.17).

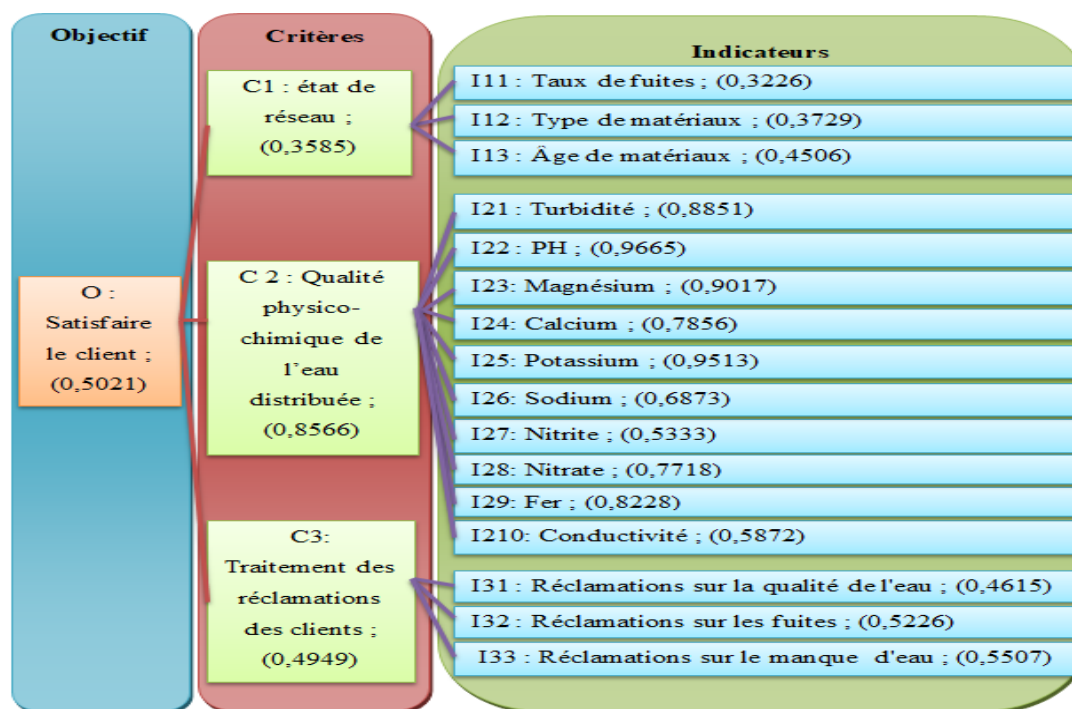


Figure III.17 : Structure hiérarchique pondérée de l'objectif prioritaire étudié.

Évaluation de l'objectif

Nous effectuerons l'évaluation de la performance de l'objectif prioritaire «satisfaire le client».

Les résultats de l'évaluation des indicateurs et critères sont récapitulée dans les figures ci-dessous.

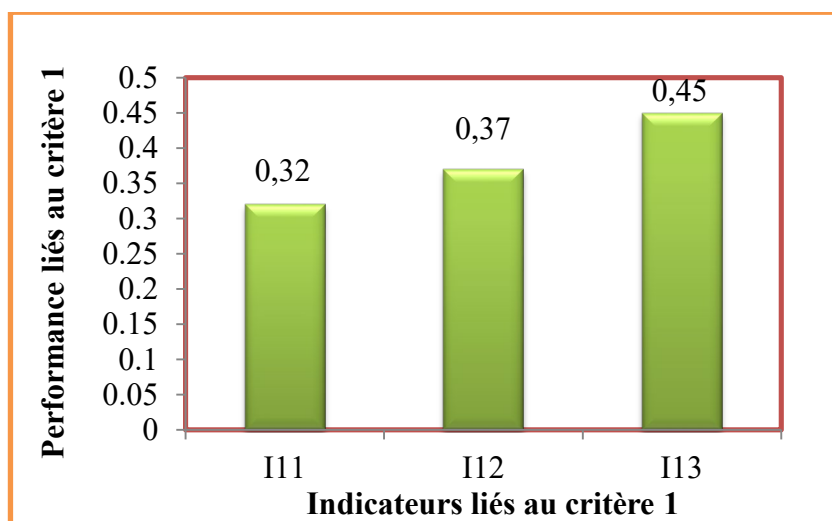


Figure III.18 : Performance des indicateurs liés au critère 1.

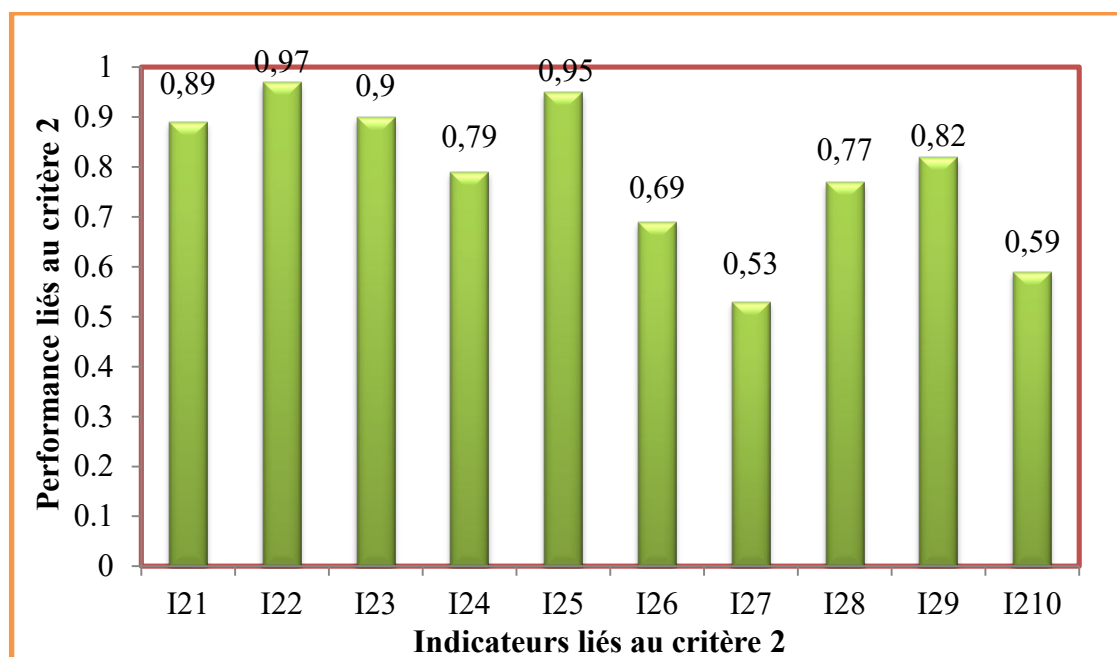


Figure III.19 : Performance des indicateurs liés au critère 2.

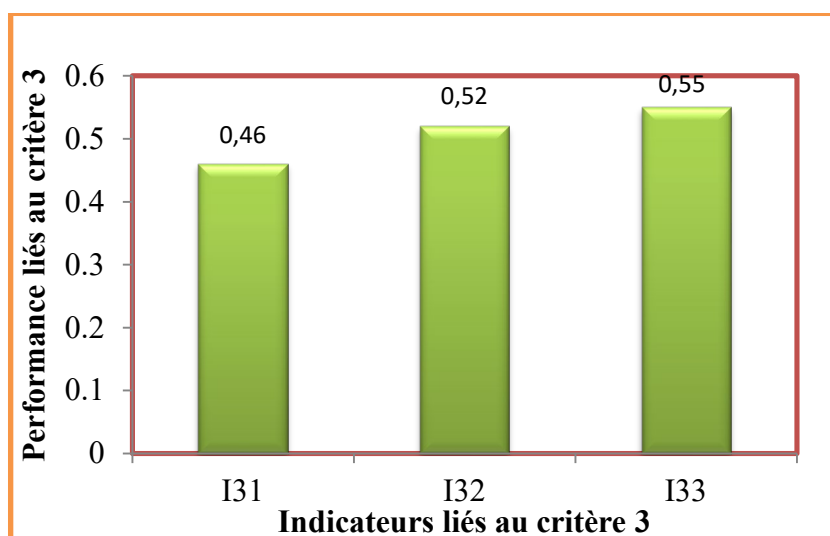


Figure III.20 : Performance des indicateurs liés au critère 3.

L'agrégation des performances des indicateurs nous a permis de de situer la performance de chaque critère. Enfin, l'agrégation des critères nous donne la performance globale de l'objectif prioritaire étudié. La performance obtenue sur l'objectif étudié est représentée dans les figures (III.21 et III.22).

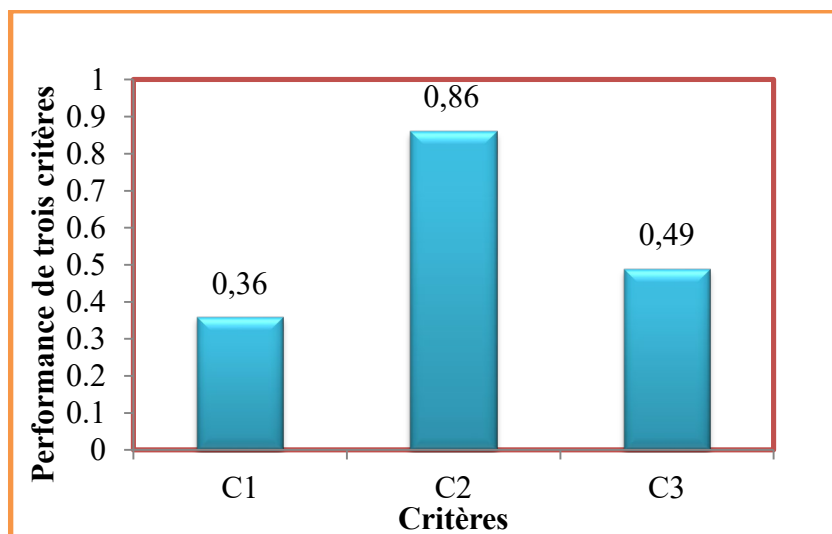


Figure III.21 : Performance de trois critères.

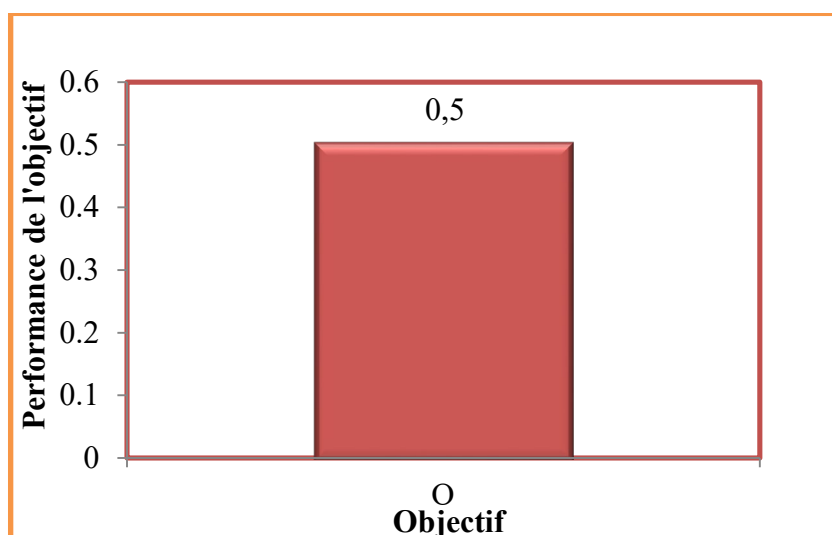


Figure III.22 : Performance de l'objectif étudié.

La performance obtenue sur l'objectif étudié, 50%, est moyenne.

Malgré ce résultat obtenu, main il ne reflète pas l'équilibre entre les indicateurs étudiés, nous trouvons donc des indicateurs de mauvaise qualité et de qualité moyenne, alors qu'il existe des indicateurs de haute qualité.

Compte tenu du fait que le budget présenté par l'état pour améliorer le fonctionnement du réseau de distribution d'eau potable est souvent insuffisant. Quelle est la solution appropriée pour surmonter cette crise ?

Dans ce cas, nous devons diviser le réseau d'eau en secteurs afin de connaître la performance de chaque secteur, et donc nous pouvons organiser les secteurs en fonction du pourcentage de leurs dommages afin de pouvoir le renouveler.

III.3.1.2. Application de la méthode AHP pour identifier les secteurs prioritaires

❖ Pour le secteur I

Tableau III.47 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur I.

Type de matériaux	PEHD	Acier	PVC	A.C	Total
Linéaire (ml)	1769,04	4955,7	575	941,09	8240,83

✚ Critère I1 : Taux de fuite

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.3

D'après le groupement BCEOM/G2C [86], le taux de fuite de centre-ville Chelghoum-Laid est : 70%.

Après l'application de la fonction de performance de l'indicateur «taux de fuites» :

$$P_{C11} = -0,0098 (C11) + 1,0086$$

Donc, la performance de critère I1 est de : **0,3226**.

✚ Critère I2 : Types de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.4 et le linéaire des conduites du secteur I.

La performance de critère I2 est de : **0,5091**.

✚ Critère I3 : Âge de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.8 et le linéaire des conduites du secteur I.

Performance de critère I3 :

La performance de critère I3 est de : **0,5642**.

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.48 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur I.

Critère	CI1	CI2	CI3
CI1	1	2	3
CI2	0,5	1	2
CI3	0,33	0,5	1
Somme	1,833	3,5	6

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.49 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur I.

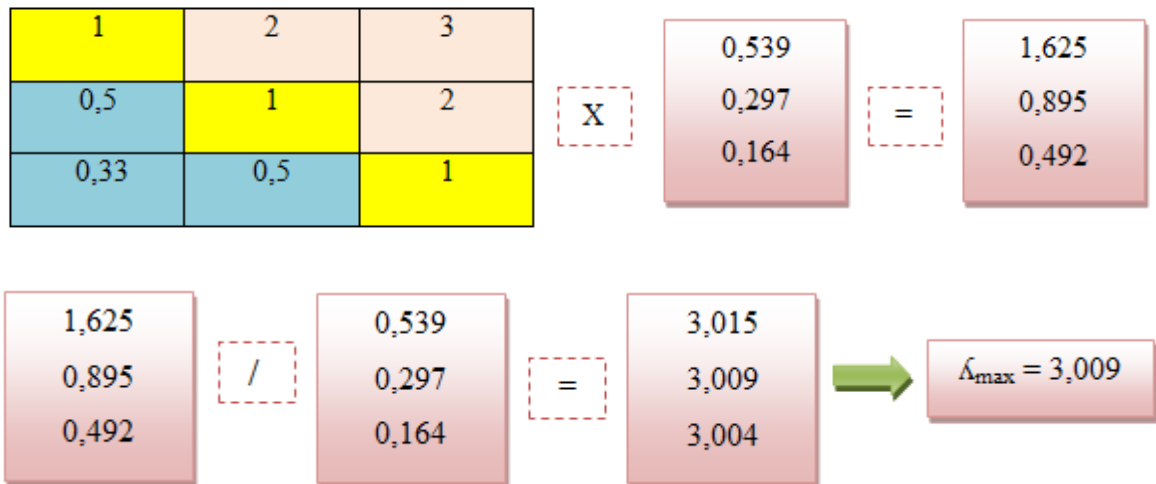
0,545	0,571	0,500
0,273	0,286	0,333
0,182	0,143	0,167

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.50 : Poids liés au secteur I.

Critère	Poids
CI1	0,539
CI2	0,297
CI3	0,164
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:



Calcul de CR :

$n = 3$

$\lambda_{\max} = 3,009$

$CI = (\lambda_{\max} - 3) / 2 = 0,005$

$RI = 0,58$

$CR = CI / RI = 0,008 < 0,1$

Il est évident que puisque $CR = 0,008$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Pour obtenir la valeur de la performance du secteur I. On applique la formule suivante :

$$P_S = \sum_{j=1}^n P_{Iij} \times W_{Iij}$$

A.N:

$$P_{S1} = \sum_{j=1}^3 (0,3226 \times 0,539) + (0,5091 \times 0,297) + (0,5642 \times 0,164) = 0,4176$$

Donc, la performance de secteur I est de : **0,4176**.

❖ Pour le secteur II

Tableau III.51 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur II.

Type de matériaux	PEHD	PVC	A.C	A.G	TOTAL
Linéaire (ml)	1907,18	10687,27	7098,35	2668,92	22361,72

✚ Critère II1 : Taux de fuite

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.3

D'après le groupement BCEOM/G2C [86], le taux de fuite de centre-ville Chelghoum-Laid est : 70%.

Après l'application de la fonction de performance de l'indicateur «taux de fuites» :

$$P_{C21} = -0,0098 (C21) + 1,0086$$

Donc, la performance de critère II1 est de : **0,3226**.

✚ Critère II2 : Types de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.4 et le linéaire des conduites du secteur II.

Performance de critère II2 :

La performance de critère II2 est de : **0,2899**.

✚ Critère II3 : Âge de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.8 et le linéaire des conduites du secteur II.

La performance de critère II3 est de : **0,3568**.

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.52 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur II.

Critère	CII1	CII2	CII3
CII1	1	2	3
CII2	0,5	1	2
CII3	0,33	0,5	1
Somme	1,833	3,5	6

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.53 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur II.

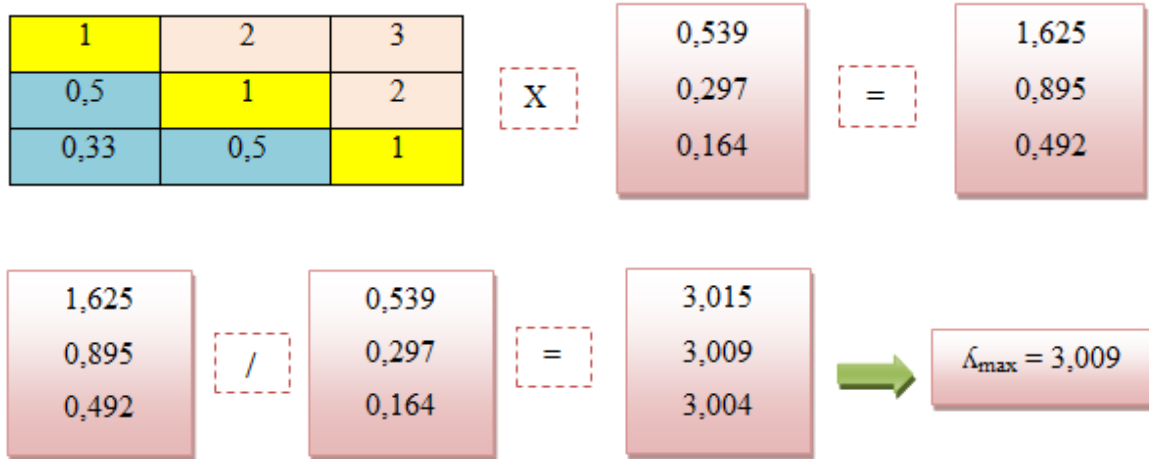
0,545	0,571	0,500
0,273	0,286	0,333
0,182	0,143	0,167

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.54 : Poids liés au secteur II.

Critère	Poids
CII1	0,539
CII2	0,297
CII3	0,164
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:



❖ Pour le secteur III

Tableau III.55 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur III.

Type de matériaux	PEHD	Acier	PVC	A.C	A.G	Fonte	Total
Linéaire (ml)	495,06	199,66	1243,74	3677,5	1353,72	746,27	7715,95

✚ Critère III1 : Taux de fuite

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.3

D'après le groupement BCEOM/G2C [86], le taux de fuite de centre-ville Chelghoum-Laid est : 70%.

Après l'application de la fonction de performance de l'indicateur «taux de fuites» :

$$P_{C31} = -0,0098 (C31) + 1,0086$$

Donc, la performance de critère III1 est de : **0,3226**.

✚ Critère III2 : Types de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.4 et le linéaire des conduites du secteur III.

La performance de critère III2 est de : **0,3087**.

✚ Critère III3 : Âge de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.8 et le linéaire des conduites du secteur III.

La performance de critère III3 est de : **0,3748**.

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.56 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur III.

Critère	CIII1	CIII2	CIII3
CIII1	1	2	3
CIII2	0,5	1	2
CIII3	0,33	0,5	1
Somme	1,833	3,5	6

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.57 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur III.

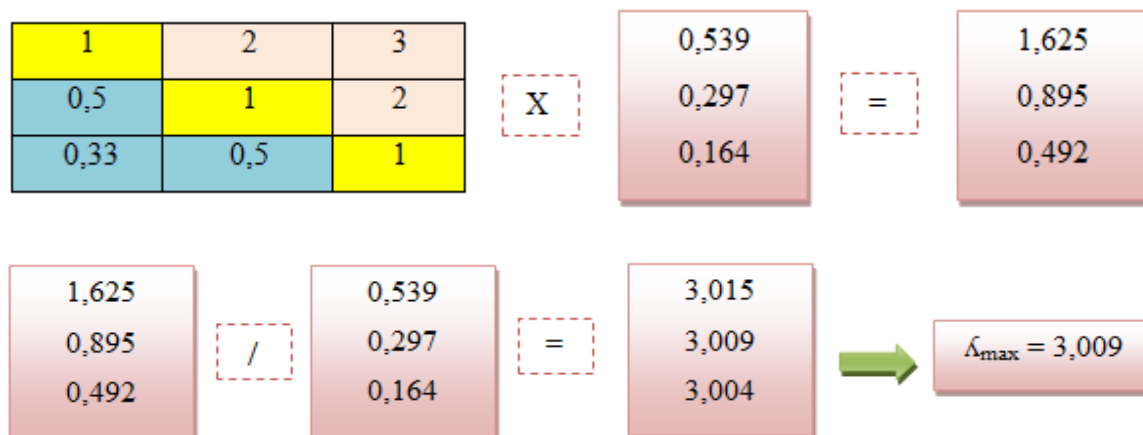
0,545	0,571	0,500
0,273	0,286	0,333
0,182	0,143	0,167

- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.58 : Poids liés au secteur III.

Critère	Poids
CIII1	0,539
CIII2	0,297
CIII3	0,164
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:



Calcul de CR:

$n = 3$

$\lambda_{\max} = 3,009$

$CI = (\lambda_{\max} - 3) / 2 = 0,005$

$RI = 0,58$

$CR = CI / RI = 0,008 < 0,1$

Il est évident que puisque $CR = 0,008$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Pour obtenir la valeur de la performance du secteur III. On applique la formule suivante :

$$P_S = \sum_{j=1}^n P_{Iij} \times W_{Iij}$$

A.N:

$$P_{S3} = \sum_{j=1}^3 (0,3226 \times 0,539) + (0,3087 \times 0,297) + (0,3748 \times 0,164) = 0,3270$$

Donc, la performance de secteur III est de : **0,3270**.

❖ Pour le secteur IV

Tableau III.59 : Types de matériaux et son linéaire (ml) du secteur IV.

Type de matériaux	PEHD	Acier	PVC	A.C	A.G	Fonte	Total
Linéaire (ml)	925,46	318,15	7842,44	6707,29	1366,58	11415,51	28575,43

✚ Critère IV1 : Taux de fuite

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.3

D'après le groupement BCEOM/G2C [86], le taux de fuite de centre-ville Chelghoum-Laid est : 70%.

Après l'application de la fonction de performance de l'indicateur «taux de fuites» :

$$P_{C41} = -0,0098 (C41) + 1,0086$$

Donc, la performance de critère IV1 est de : **0,3226**.

✚ Critère IV2 : Types de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.4 et le linéaire des conduites du secteur IV.

La performance de critère IV2 est de : **0,4160**.

✚ Critère IV3 : Âge de matériaux

Pour calculer la performance de ce critère on utilise l'échelle de performance qui est cité dans le tableau III.8 et le linéaire des conduites du secteur IV.

La performance de critère IV3 est de : **0,5116**.

- Construction de la matrice de comparaison.

Tableau III.60 : Matrice des préférences entre les critères liés au secteur IV.

Critère	CIV1	CIV2	CIV3
CIV1	1	2	3
CIV2	0,5	1	2
CIV3	0,33	0,5	1
Somme	1,833	3,5	6

- Après avoir calculé la somme des colonnes.
- Ensuite, chacune des valeurs dans la colonne est divisée par la somme des valeurs.

Tableau III.61 : Résultats du calcul des valeurs entre les critères liés au secteur IV.

0,545	0,571	0,500
0,273	0,286	0,333
0,182	0,143	0,167

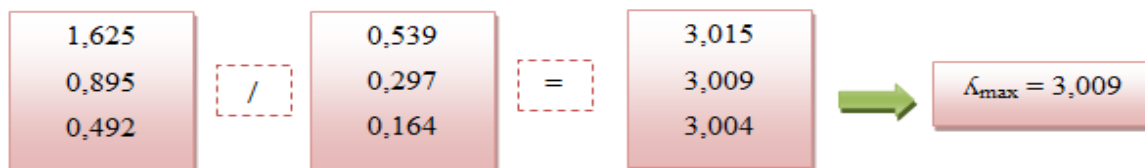
- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Tableau III.62 : Poids liés au secteur IV.

Critère	Poids
CIV1	0,539
CIV2	0,297
CIV3	0,164
Somme	1,000

Calcul de $\lambda_{\max}$:

1	2	3		0,539		1,625
0,5	1	2	X	0,297	=	0,895
0,33	0,5	1		0,164		0,492



Calcul de CR:

$$\begin{aligned} n &= 3 \\ \lambda_{\max} &= 3,009 \\ CI &= (\lambda_{\max} - 3) / 2 = 0,005 \\ RI &= 0,58 \\ CR &= CI / RI = 0,008 < 0,1 \end{aligned}$$

Il est évident que puisque $CR = 0,008$ est inférieur à 0,1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Pour obtenir la valeur de la performance du secteur IV. On applique la formule suivante :

$$P_S = \sum_{j=1}^n P_{Iij} \times W_{Iij}$$

A.N:

$$P_{S4} = \sum_{j=1}^3 (0,3226 \times 0,539) + (0,4160 \times 0,297) + (0,5116 \times 0,164) = 0,3813$$

Donc, la performance de secteur IV est de : **0,3813**.

Les résultats obtenus grâce à l'application de la méthode AHP, qui porte sur la performance de chaque secteur, nous permettent de connaître la disposition des quatre secteurs en termes de dégradation. Par conséquent, le réseau d'AEP du deuxième secteur doit être renouvelé, suivi du troisième, puis du quatrième et enfin du premier secteur.

III.4. Conclusion

Dans la partie application, nous avons recensé les données nécessaires pour l'exploitation de l'outil méthodologique d'aide à la décision en matière de gestion durable des services d'eau potable Algériens. A ce stade, la contribution de l'Algérienne Des Eaux unité de Mila était très bénéfique. Elle nous a permis l'obtention des indicateurs. Ce qui nous a permis une évaluation de la performance des indicateurs, et critères associés à l'objectif prioritaire «satisfaire le client». La performance de l'objectif prioritaire étudiée a enregistré un score de 50 %. Les secteurs prioritaires à l'action de la maintenance ont été identifiés :

- Secteur 2 : 31,85% ;
- Secteur 3 : 32,70% ;
- Secteur 4 : 38,13% ;
- Secteur 1 : 41,76%.

Chapitre IV

Gestion des réseaux

d'AEF

IV.1. Introduction

Le réseau d'eau potable constitue un élément très important dans la vie des sociétés. La fonction de base d'un réseau de distribution d'eau est de satisfaire les besoins des usagers en eau. Cette eau doit être de bonne qualité respectant les normes de potabilité et à une pression et en quantité suffisantes. [92]

Avec le temps, les conduites des réseaux sont soumises à des mécanismes de dégradation progressive due aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement qui se manifestent par une diminution de leur performance et un accroissement des dépenses de la maintenance du service. Cela explique les exigences de la réhabilitation qui sont proposées pour remédier aux dysfonctionnements observés ou pour les réduire. [129]

Les objectifs de la gestion des réseaux sont multiples : éviter toute rupture du service, assurer la qualité du service rendu, par la recherche de la maîtrise des coûts d'investissements, d'exploitation et de la maintenance du système dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. ([130]; [131]; [132]; [133]).

Dans ce chapitre, nous présenterons en général la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable.

IV.2. Gestion des installations de distribution d'eau

IV.2.1. Définition de la gestion

La gestion est une politique, permettant de gérer et d'effectuer des opérations qui permettent la conservation du matériel, et d'assurer la continuité et la qualité de la production. La gestion c'est aussi assurer la maintenance, l'entretien et la bonne exploitation des ouvrages et des équipements avec coût global minimum. [134]

IV.2.2. But de la gestion

La gestion des réseaux d'alimentation en eau potable a pour objet d'assurer [134] :

- ✚ La pérennité des ouvrages par des opérations de conservation ;
- ✚ L'entretien courant des réseaux et des ouvrages mécaniques par la réparation des fuites, des interventions de nettoyage, de dépannage et de maintenance ;
- ✚ L'exploitation par la régulation des débits et la synchronisation, relevage, traitement, stockage et distribution.

C'est presque une évidence de dire que, pour bien gérer un système, il convient de bien le connaître. Cette évidence loin d'être toujours respectée en matière de réseau, est cependant un critère impératif pour l'approche du renouvellement. Cette connaissance doit être basée sur les trois points suivants [135] cité en [91] :

IV.2.3. Connaissance de l'existant

Il est indispensable de bien connaître la position et le linéaire des différentes conduites du réseau, leur matériau et leur âge, de même que la localisation et le type des différents appareils (mesure protection de réseau etc.), Cette connaissance doit être transposée sur des plans de réseau mise à jour régulièrement. Les plans sont habituellement de deux types :

IV.2.3.1. Plans généraux

À échelle relativement petite entre 1/2000 et 1/1000 qui permettent d'avoir l'ensemble du réseau et facilitent la compréhension de son fonctionnement notamment lorsqu'il faut isoler un secteur. Sur ces plans doivent figurer :

- Tous les équipements et appareils liés au fonctionnement du réseau (réservoirs, vannes des sectionnements, appareils de régulation, ...) ;
- Le diamètre et le matériau des conduites ;
- Quelques cotes altimétriques du terrain.

IV.2.3.2. Plans précis à grande échelle

(Au 1/200, 1/500), définis par rue, sur les quels figureront :

- L'emplacement des branchements et la triangulation des robinets de prise en charges ;
- Le positionnement exact du réseau (en 3D) et de ces appareils annoncés (appelés à vidanges et ventouses) ;
- La position des réseaux voisins ;
- Le matériau, le diamètre et l'âge de la conduite et des branchements.

Les éléments indiqués ci-dessus ne sont pas exhaustifs. L'utilisation de l'informatique, notamment, permet aujourd'hui de prendre en compte de nombreux paramètres supplémentaires et d'utiliser facilement les sémiologies (forme et couleur) numériques.

IV.2.4. Information relative au fonctionnement du réseau

Il s'agit là d'un aspect de la connaissance moins habituel que le précédent mais certainement tout aussi important et en outre très complémentaire.

Dès qu'il atteint une certaine importance soit 100000m³ mis en distribution par an, par exemple, le réseau doit être organisé en secteur de distribution et il est impératif de bien connaître les différentes catégories de volume pour l'ensemble du réseau et pour chacun des secteurs, notamment [91] :

- Le volume mis en distribution annuellement ;
- Les volumes comptabilisés pendant la même période ;
- Les divers volumes non comptabilisés (les pertes d'eau, le volume consommé pour les incendies, ...) ;
- Les paramètres hydrauliques de chaque tronçon.

A partir de ces différentes catégories de données et des caractéristique du réseau, seront calculés les rendements (R) et indices habituels, comme les rendements primaires (Rp) et nets (Rn), les indices linéaires de pertes (ILP) en distribution ou en réparation. [136]

Il peut également être intéressant d'avoir une idée des principales lignes piézométriques à différentes périodes, de connaître l'évolution des caractéristiques de l'eau, de même que de réaliser périodiquement des analyses de débit sur les compteurs des différents secteurs de distribution.

IV.2.5. Entretien de réseau

Quels qu'aient pu être les précautions apportées à l'exécution des chantiers et dans la gestion de la distribution, des ruptures et des fuites peuvent se produire. Ces phénomènes sont symptomatiques du vieillissement du réseau. C'est alors que l'on déclenche l'opération classique d'entretien curatif. Celle-ci nécessite d'abord une localisation de la fuite. On fouille dans la zone où l'eau vient en surface, puis on effectue la réparation avec les moyens techniques disponibles (montage de joints lorsque cela est possible, mise en place de colliers de réparations des joints, pose de manchons ...). Une attention particulière doit être portée sur les risques de pollution au cours de ces opérations de réparation. Lors des fuites sur les vannes, les ventouses et les décharges, le choix est plus limité et l'on procède le plus souvent au remplacement systématique de l'appareil en cause. D'autres actions peuvent également être entreprises, Elles résultent alors d'une attitude volontariste dans le domaine de la qualité de l'eau et dans le maintien des capacités hydraulique du réseau. L'entretien préventif conduit à la lutte contre le vieillissement du réseau par des opérations de réhabilitation des ouvrages. Les procédures de réhabilitation sont destinées à remettre en état une conduite, dont certaines caractéristiques se sont dégradées, mais dont la qualité permet d'en continuer l'exploitation. [137]

Pour comprendre l'évolution de l'état d'un réseau il faut pouvoir en analyser les faits marquants, notamment les réparations. Afin de pouvoir effectuer cette analyse, il est impératif de recueillir sur le terrain les nombreuses indications disponibles lors d'une intervention et crée une fiche des interventions qui reprendra entre autre :

- Les caractéristiques du remblai existant et de l'environnement de la conduite ;

- Les caractéristiques des conduites ;
- Son « état général ».

Parallèlement, le fichier des appareils permettra de suivre le fonctionnement et l'entretien de ceux-ci.

Ces informations permettent de mettre à jour les différents plans présentés avant. De plus, le repérage des interventions sur ces mêmes plans conduit à identifier les secteurs à forte fréquence d'incidents. Par une exploitation statistique de ces fichiers et des informations reportées sur les plans, il deviendra alors possible d'effectuer des prévisions sur les risques de défaillances (désordres) pour chaque secteur.

IV.2.5.1. Données relatives au réseau

La nature et l'origine des données sont différentes selon les services concernés par le réseau. Globalement l'information relative au réseau conduira à la liste suivante :

- Secteur, nom de la rue et éventuellement le numéro du bâtiment ;
- Le diamètre des tronçons ;
- La longueur des tronçons ;
- Equipement de réseaux (vannes, des organes de régulation, ventouses, etc. ...) ;
- La date de pose ;
- Emplacement de la conduite par rapport à la chaussée, ce facteur caractérise le fait que la conduite se trouve sous la chaussée ou le trottoir ;
- Remplacement par rapport aux autres réseaux (assainissement, rejet, divers, ...) ;
- Condition de pose et de protection, ces données concernent la profondeur de la canalisation et son lit de pose ;
- Le matériau de canalisation ;
- Ouvrages annexes (éléments des réservoirs, les stations de pompage ou de traitement d'eau dont les caractéristiques interviennent dans les calculs des réseaux) ;
- Dernière intervention (caractéristique : opération de recherches de fuites, travaux de nettoyages effectués, ...) ;
- Points des livraisons particuliers :

- Poteaux et bouches d'incendie ;
- Abonnés spéciaux (hôpitaux, installation de lutte contre l'incendie, etc. ...).
- Pressions (charges hydrauliques) :
 - La charge maximale autorisée ;
 - La charge prévue (valeur théorique) ;
 - La charge de service ;
 - La charge de sécurité.
- Débits ;
- Nombre d'abonnés par unité de longueur : des données de consommation moyenne observée ou relevée sur les compteurs ou sur des points d'observation ;
- Date de dernier abonné ;
- Nature de l'eau, les analyses contenant notamment le taux d'oxygène dissous, le PH et la conductivité de l'eau ;
- Anomalies diverses, ceci concerne les informations de diverses origines correspondant à une anomalie de fonctionnement des installations :
 - Insuffisance ou excès de pression ;
 - Qualité de l'eau ;
 - Débit insuffisant soit trop d'eau ;
 - Vitesse moins 0,5m/s ou plus 3m/s.
- Date de passage à un nouveau matériau, ou de remplacement ou de réhabilitation. Cette date peut être importante car elle permettra de comparer les différents matériaux : fonte grise/fonte ductile, joint expresse, revêtement intérieur, revêtement extérieur ;
- La longueur remplacée ;
- Sa corrosivité ;
- Trafic automobile. [91]

IV.2.5.2. Données concernant les défaillances et interventions

La réparation des défaillances est l'occasion de renseigner certaines variables de détérioration (profondeur de pose, nature de sol, humidité du sol) ainsi que l'état de corrosion de la conduite.

Apparemment il existe aucune norme concernant la description des différents travaux d'entretien ou de réparation. C'est pourquoi il est parfois impossible de distinguer une réparation effectuée sur un tuyau ou sur un branchement ou de discerner la canalisation affectée, lorsque deux conduites existent sur une même rue, le diamètre n'étant pas toujours indiqué.

En résumé ; les fiches et les formulaires associés aux défaillances et aux observations des dysfonctionnements fournissent les renseignements suivants :

- ✚ La rue et secteur où a eu lieu la défaillance ;
- ✚ La date et l'heure de la défaillance ;
- ✚ Le diamètre ;
- ✚ Le type de réparation ;
- ✚ Le temps d'intervention et personnel ;
- ✚ Les outils, pièces et matériaux utilisés ;
- ✚ La cause de la défaillance ;
- ✚ Le cout de la réparation ou du remplacement. [91]

IV.3. Étude de dysfonctionnement du réseau d'eau potable

Les recherches menées actuellement dans le domaine des réseaux d'eau potable concernent essentiellement le vieillissement des conduites, la réalisation de diagnostic et la construction de programme de maintenance (réhabilitation) et en fin l'optimisation dans le calcul des réseaux. Ces différents problèmes constituent, de nos jours, une préoccupation majeure pour les gestionnaires des réseaux d'AEP. Le distributeur d'eau potable a toujours le souci de couvrir les besoins des consommateurs, en quantité et qualité suffisantes. Il a aussi le souci de

veiller à la bonne gestion et à la perfection de toutes les infrastructures concourant l'approvisionnement en eau. [138]

Le temps et l'action des différents phénomènes (le sol corrosif, contrainte mécaniques, surpression, etc.) contribuent à la dégradation des canalisations d'un réseau et de ces accessoires. Une combinaison de ces phénomènes va accélérer la détérioration des conduits, l'augmentation du nombre des interventions, des casses observées sur le réseau, ainsi qu'une dégradation de la qualité de l'eau transportée représente des indicateurs du vieillissement du réseau. [91]

IV.3.1. Le Vieillissement d'un réseau d'eau

IV.3.1.1. Définition du vieillissement d'une conduite d'eau potable

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps, celle-ci donnant lieu, soit à certains dommages, soit au mauvais fonctionnement hydraulique du réseau. [139]



Figure IV.1 : Vieillissement des canalisations en fonte. [140]

IV.3.1.2. Mauvais fonctionnement hydraulique du réseau engendré par le vieillissement d'une conduite

❖ 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

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

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. [139]

IV.3.1.3. Dommages divers engendrés par le vieillissement d'une conduite**❖ Détérioration de la qualité d'eau**

On peut distinguer deux types de dommages liés à la dégradation de la qualité de l'eau :

- Le premier est celui qui engendre le non potabilité de l'eau. Il faut alors élaborer un nouveau traitement rendant cette eau potable ;
- Le deuxième concerne l'augmentation du nombre de plaintes des abonnés dû à une apparence négative de l'eau (odeur, couleur, goût). Ceci entraîne alors une baisse d'image de marque de service exploitant.

❖ Fuites diffuses

Ces fuites peuvent déstabiliser la conduite en érodant le lit de pose, d'où rupture au niveau des points fragiles du tuyau.

❖ Ruptures

Elles peuvent avoir des incidences indirectes :

- ✓ Inondation : d'où coupure de trafic sur la chaussée concernée, ou dommage chez un particulier ;
- ✓ Coupure d'eau : donc dommages causés notamment aux industries ou aux centres de santé ;
- ✓ Plaintes des abonnés : chacun de ces dommages engendre des coûts indirects, qui peuvent être souvent nettement supérieurs aux coûts directs de main d'œuvre pour effectuer la réparation.

Le vieillissement de la conduite ne correspond pas à un seul phénomène ayant lieu sur la conduite mais plutôt à l'action de plusieurs facteurs propres à la conduite et son environnement.

Le paragraphe suivant montre l'évaluation effective du vieillissement à partir des différents phénomènes précédents. [139]

IV.3.2. Évaluation du vieillissement d'une conduite

Le phénomène de vieillissement ne peut pas être quantifié directement, mais à partir des phénomènes par les quels il se manifeste. [141]

IV.3.2.1. Qualité de l'eau

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 la 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 (couleur 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 de l'eau, du fait de l'introduction de substances provenant de l'extérieur, comme des hydrocarbures.

La corrélation entre l'âge de la conduite et l'apparition d'une mauvaise qualité de l'eau est un paramètre significatif concernant le vieillissement de certains éléments de la conduite, mais la difficulté majeure reste l'identification de la conduite (malade), car on ne peut pas situer avec précision celle qui a détérioré la qualité de l'eau. [142]

IV.3.2.2. La 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 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 [143] :

- 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 ;
- Soit par la modélisation hydraulique du réseau ;
- Soit 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 ;
- Soit à partir d'échantillons de canalisation prélevés directement sur le réseau, et l'analyse de difficilement généralisables.

Le nouveau diamètre ou 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.

IV.3.2.3. Les fuites diffuses

Les fuites diffuses sont mises en évidence lors des mesures bien spécifiques ou lorsque la tranchée d'une conduite est ouverte. Elles n'entraînent pas en général de réparations sur la conduite. Ce sont elles qui en général abaissent le rendement d'un réseau et ne lui permettent pas d'avoir une valeur supérieure à 90% à 95%. Elles caractérisent, soit une fragilisation du tuyau par de petites ouvertures, soit un mauvais état des joints qui devient alors poreux. On peut les constater de manières différentes [143] :

- Par le constat d'une diminution importante du rendement du réseau ;
- Par une augmentation croissante de la consommation de nuit ;
- Soit par des campagnes de mesures sur terrain, par des techniques de corrélation acoustique. Ce genre de mesure permet de retrouver précisément quelles sont les conduites les plus dégradées. L'état de conduite est alors déterminé par le nombre et la taille des fuites que l'on peut détecter.

IV.3.2.4. Les ruptures (défaillances) ou les fuites apparentes

Ces fuites (ruptures) qui entraînent automatiquement des interventions sur le réseau, on l'appelé par la suite défaillance. Elles sont mise en évidence, soit parce qu'elles entraînent, au niveau de la chaussée, une inondation plus au moins importante, soit parce que l'on constate une augmentation brutale de la consommation de nuit. Dans ce cas on peut trouver l'endroit de la rupture avec précision ou de la fuite avec un jeu de vannes. Ces casses caractérisent un mauvais état de la conduite et une certaine fragilisation; elles peuvent avoir lieu à la suite d'une corrosion dans le temps de la conduite reliée à un mouvement de sol ou une augmentation de la pression interne. Elles correspondent soit à une diminution de la paroi de la conduite, soit à la formation de trous (Figure IV.3 (a)). En général, ces ruptures sont différentes selon le diamètre. En fonction du diamètre et du type de défaillances, les ruptures transversales (Figure IV.3 (b)) ont lieu surtout sur les petits diamètres alors que les gros diamètres subissent plutôt des ruptures petits diamètres alors que les gros diamètres subissent plutôt des ruptures longitudinales ou des piquages (Figure IV.3 (c)). Elles peuvent également concerner les fuites au niveau des joints pour les diamètres plus élevés (Figure IV.3 (d)) qui en fonction de leur importance deviennent apparentes. [91]



Figure IV.2 : Une conduite ayant subi une rupture en Acier. [143]

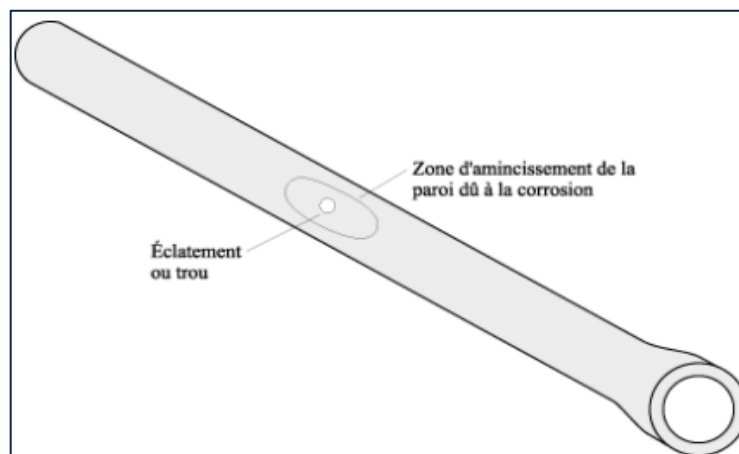


Figure IV.3 (a) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (éclatement). [144]

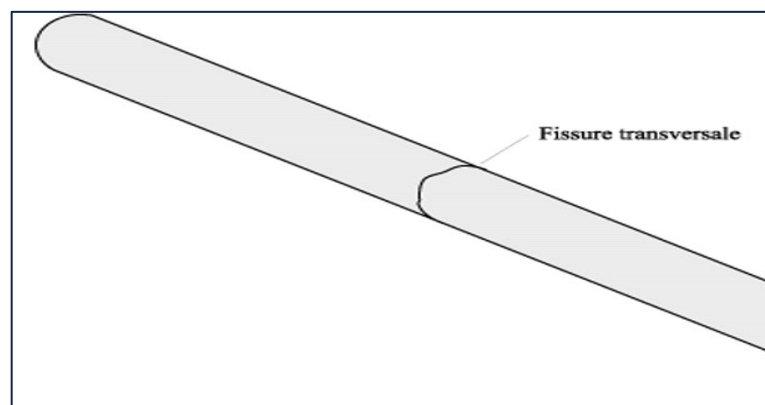


Figure IV.3 (b) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (fissure transversale). [144]

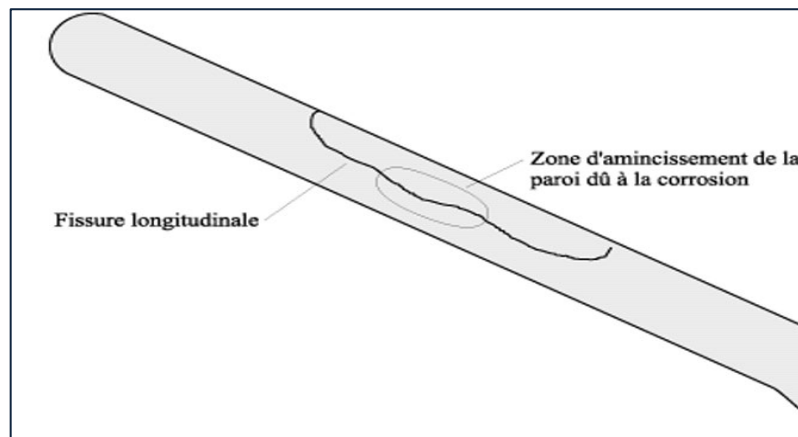


Figure IV.3 (c) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (fissure longitudinale). [144]

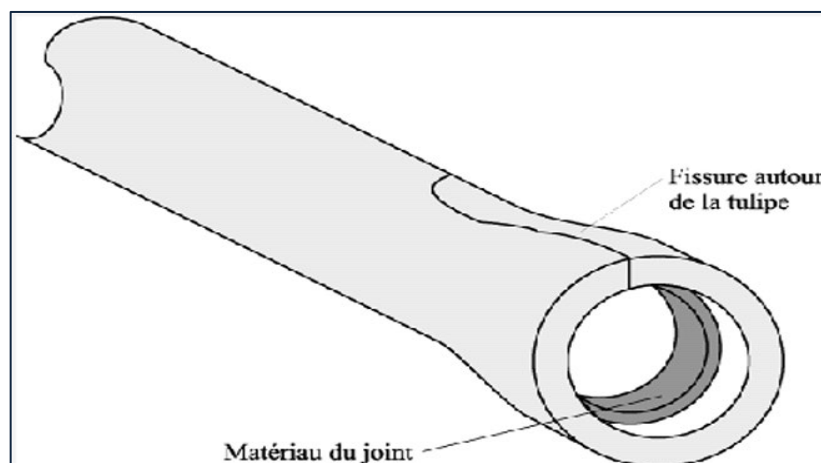


Figure IV.3 (d) : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable (fissure autour de la tulipe et joint). [144]

IV.3.3. La problématique des fuites

Les fuites engendrent des pertes qui peuvent être de deux types :

- Les pertes au niveau d'adduction qui surviennent dans le cas où il y a des transferts d'eau très importants, entre la production et la mise en distribution. L'absence de comptage tant à l'amont qu'à l'aval ne permet pas d'évaluer ces pertes ;
- Les pertes en distribution qui correspondent à la différence entre le volume d'eau distribué et le volume d'eau consommé. Elles sont dues aux [143] :

- ✓ Fuites au niveau des joints ;
- ✓ Fuites aux différentes prises de branchement ;
- ✓ Fuites sur branchements ;
- ✓ Cassures des conduites : Erreurs de comptage ;
- ✓ Eaux piratées (branchements illicites).

IV.3.3.1. Types des fuites

L'EPA a regroupé et utilisées des données les fuites ou ruptures dans plusieurs services Américains. Les données recueillies ne sont pas toujours basées sur les mêmes définitions concernant les fuites. On peut distinguer [145] :

- Les fuites (leak repair) : ce sont tous les évènements entraînant une réparation sur les conduites, les hydrants, les branchements qui sont :
 - Les fuites sur tuyau (main leak) ;
 - Les fuites sur joints (joints leak).
- Les ruptures sur conduites (main break) : elles représentent les défaillances structurelles du tuyau ou de l'emboîtement dus à une surcharge excessive, une détérioration du lit de pose, un contact avec les autres structures, la corrosion, ou une combinaison entre ces conditions. On remarque que les définitions précédentes différencient surtout les fuites sur conduites de celles ayant eu lieu sur les différents organes du réseau (vannes ; pompes) par la suite on distingue aussi les fuites et les ruptures.
- La défaillance : est une rupture ou une fuite apparente nécessitant une intervention sur le réseau. Elle peut avoir lieu soit sur tuyau, soit sur le joint. Ceci exclut les fuites ayant lieu sur les branchements, ainsi que celles ayant lieu sur les organes du réseau, tels que les pompes, les vannes, les hydrants et autres organes régulateurs. La limite entre rupture et fuite n'est pas toujours bien définie, une rupture est une fuite, mais une fuite n'est pas obligatoirement une rupture, ces fuites peuvent être visibles ou non.

IV.3.4. Causes des fuites

Les fuites peuvent être dues aux plusieurs facteurs. Ils peuvent être répartis en groupes [146]:

- Les éléments propres au type de la canalisation ;
- Les éléments liés à l'exploitation des réseaux ;
- Les éléments extérieurs aux réseaux.

La figure IV.4 montre les différentes causes qui peuvent entraîner l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable.

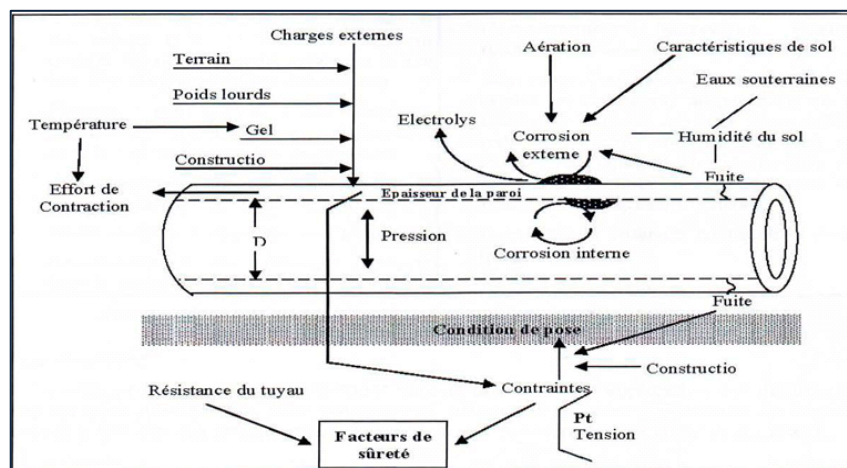


Figure IV.4 : Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable. [146]

IV.3.4.1. Les différentes contraintes qui agissent sur une canalisation

La figure IV.5 récapitule les différentes contraintes mécaniques qui agissent sur une conduite.

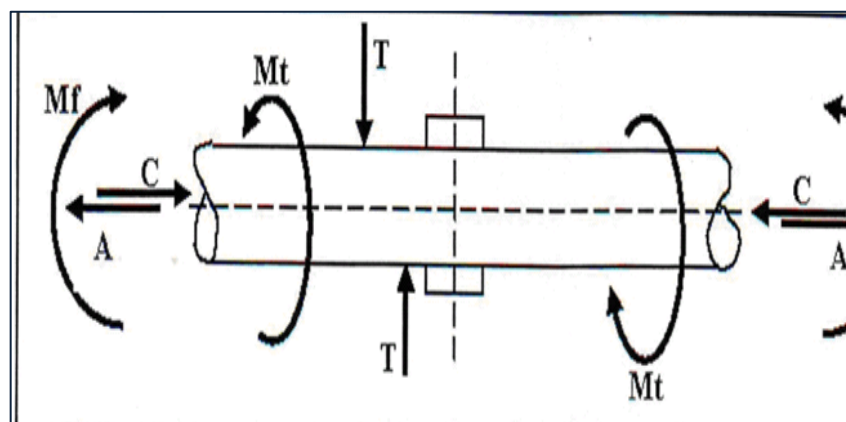


Figure IV.5 : Contraintes subies par une conduite d'eau potable. [146]

Mf : Moment de flexion susceptible de provoquer une courbure de la canalisation.

Mt : Moment de torsion susceptible de tordre la canalisation autour de son axe.

T : Contrainte de cisaillement.

A : Effort de traction axiale.

C : Contrainte de compression.

Ces contraintes peuvent être variées à cause de :

- Mouvement violent ou lent du sol ;
- Transmission directe excessive de charges accidentelles en surface ;
- Travaux de voiries.

IV.3.4.2. Les éléments influençant l'apparition des fuites

IV.3.4.2.1. Les éléments propres à la canalisation

La durée de vie d'une conduite dépend de son matériau constructif, de ses dimensions (diamètre, épaisseur de la paroi), de ses résistances aux efforts internes et externes qui s'y appliquent et du processus de corrosion qui se développe. [142]

➤ Le diamètre

Le diamètre peut jouer un rôle important dans le mécanisme d'apparition des défaillances. Ainsi un petit diamètre est plus sensible aux efforts de traction. Les tuyaux de diamètre inférieur à 100mm ont presque toujours des ruptures transversales. [91]

➤ Le matériau

Tout matériau de canalisation d'eau potable doit se conformer à certaines spécifications de telle sorte qu'on évite de détériorer la qualité de l'eau transportée et retarder au maximum le vieillissement du réseau. [143]

➤ Le type de joint

Les joints sont conçus pour relier des tronçons de tuyaux. Ils doivent être placés entre des tuyaux alignés pour éviter leur détérioration prématurée. Ils existent trois types de joints; en plomb, en caoutchouc et en matière plastique elles se distinguent par leurs caractéristiques [143] :

- Les joints au plomb ne sont pas élastiques et transmettent donc les tensions d'un tuyau à l'autre ;
- Les joints en caoutchouc sont bien entendu élastiques. Cependant leur vieillissement est encore mal connu ;
- Les joints en matière plastique, 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. [91]

➤ **La corrosion interne**

La corrosion est toujours le résultat de la présence simultanée de deux agents : le métal et le milieu corrosif qui est l'eau dans le cas de la corrosion interne. La corrosion interne est régie par nombreux facteurs. [143]

- La vitesse de l'eau peut avoir une influence sur les zones de dépôt ;
- Quand le PH d'équilibre n'est pas atteint, l'eau est alors agressive favorisant cette corrosion qui est particulièrement importante pour les tuyaux en acier ;
- Si l'équilibre calco-carbonique de l'eau n'est pas atteint, il se produit soit une diminution d'épaisseur de la paroi de la canalisation (eau agressive), soit une diminution de la section de la canalisation (eau incrustante). [142]

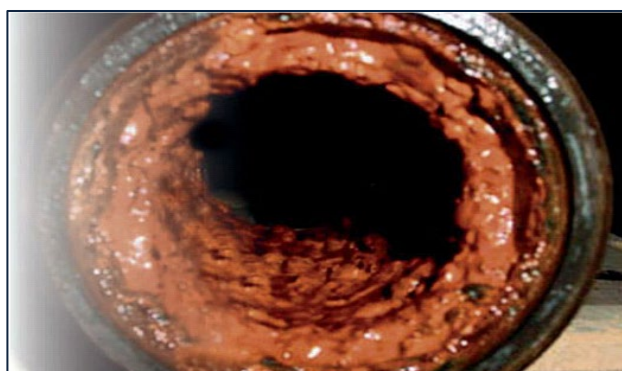


Figure IV.6 : Conduite subi une corrosion (fonte). [140]

Les principales conséquences de la corrosion interne sont la modification des diamètres des canalisations, la dégradation de la qualité de l'eau transportée et les capacités hydrauliques de la conduite.

IV.3.4.2.2. Les éléments extérieurs aux réseaux

Les facteurs liés à l'extérieur de la canalisation sont :

➤ **La corrosion externe**

Elle correspond à l'échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite et peut avoir diverses origines :

- Les courants vagabonds : ils sont générés par les installations électriques alimentées en courant continu, peuvent augmenter les risques de corrosion des canalisations. Ainsi une part importante de ces cas courants peut emprunter comme chemin de retour la canalisation en tant que conducteur, ce qui provoque une corrosion au niveau des points de sortie des courants. [91]
- L'hétérogénéité par contact : elle a lieu au niveau des raccordements de canalisation de matériaux différents, ce qui peut entraîner une différence de potentiel importante et peut induire une pile de corrosion par contact. Pour interdire le passage du courant, il faut isoler les conduites au niveau des raccordements. [143]
- L'hétérogénéité de surface : est la conséquence du non-respect des conditions de pose. Un choc lors de pose, peut provoquer une altération surfacique ou une discontinuité locale et création d'un phénomène de pile électrique. [147]
- L'hétérogénéité du sol : lorsqu'une canalisation traverse des sols différents, il peut se créer une pile géologique dans laquelle la partie de la canalisation se trouvant dans le terrain le moins aéré devient anodique et se corrode (pile d'aération différentielle). [148]



Figure IV.7 : Conduite subi une corrosion externe par courant vagabonds. [146]

➤ **Les mouvements de sol et le trafic**

Il faut considérer le poids des voitures, des camions et leur fréquence de passage qui, en fonction de l'épaisseur et du type de sol qui recouvrent la conduite ainsi que du type de chaussée en surface (rigide ou souple), génèrent des problèmes de fatigue et de surcharge. [147]

➤ **Les charges du terrain**

Sous l'appellation charges des terrains, on considère le poids des terres au-dessus de la conduite (d'où l'importance de la profondeur de pose de la canalisation). Ce poids variera d'un site à un autre en fonction de la teneur en eau et du type de matériaux constituant le sol. [147]

IV.3.4.2.3. Les éléments liés à l'exploitation des réseaux

Les éléments liés à l'exploitation du réseau sont :

➤ **La vitesse de l'écoulement**

Une demande croissante en eau aura lieu une conséquence de l'augmentation de la vitesse de l'écoulement ce qui introduit une corrosion et génère des contraintes mécaniques excessives. A l'inverse une diminution ou décroissante aura pour conséquence relative des temps de séjour de l'eau dans les conduites, ce qui favorise la sédimentation et l'amorce de nouvelles formes de corrosion. La vitesse de l'eau dans les conduites doit être de l'ordre de (0,5-1,5m/s).

➤ **La pression**

Il faut que la pression chez l'utilisateur ne dépasse pas 4bar. Au-delà de cette valeur, il y a risque d'apparition de désordres. A l'inverse la pression minimale à l'entrée doit être 1bar.

➤ **La température de l'eau**

Le risque de la température se traduit dans les branches mortes du réseau, où l'eau peut stagner. Une rapide diminution de la température peut alors entraîner une contraction de la canalisation. Et une augmentation des contraintes longitudinale de traction. D'où une fragilisation des tuyaux.

➤ **Les conditions d'exploitation**

Une augmentation de la charge hydraulique peut avoir lieu, suite à une modification du régime hydraulique, telle que le passage d'une adduction gravitaire à une alimentation avec pression ou la réduction de section due à une réhabilitation de canalisation. Cette surcharge hydraulique peut alors entraîner une augmentation du nombre de fuites ou de ruptures dans les semaines suivant le changement. [143]

➤ **Les manœuvres sur réseau**

Le phénomène du coup de bélier est très violent et est dû à la circulation d'une onde de pression ou dépression dans les conduites suite à l'ouverture ou fermeture brusque d'une vanne; ou la coupure de l'alimentation en électricité ce qui engendre une coupure de pompage brusque. Ce phénomène peut fragiliser dangereusement les conduites. [91]

IV.3.5. Les manifestations des fuites

Les symptômes des fuites peuvent être multiples tels que [143] :

- ✓ Le non concordance des volumes mesurés sur les compteurs ;
- ✓ L'anomalie dans la distribution, bruits anormaux sur les réseaux ;
- ✓ L'affaissement des terrains ;
- ✓ La présence de végétation anormalement développée ;
- ✓ Les terrains humides par temps sec ;
- ✓ L'arrivée de l'eau claire dans les égouts ;
- ✓ La baisse anormale du niveau d'eau dans le réservoir ;
- ✓ L'humidité anormale sur la chaussée.

III.4. Conclusion

La gestion technique des réseaux d'AEP 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 sans défaut. Pour assurer une bonne gestion du réseau de distribution il faut que ce dernier soit bien conçu, en respectant les diverses normes et les conditions de pose des conduits et d'équiper le réseau de différents organes et accessoires, en adaptant les matériaux appropriés qui facilite sa gestion et son entretien. Mais avec le temps ce réseau vieillit, engendrant des perturbations, une dégradation de la qualité de l'eau sous l'effet combiné des charges mécaniques et d'agressions électrochimiques. Le rendement du réseau diminue ainsi nettement. Suite à l'apparition des fuites. Ils sont d'origines internes (matériau, diamètre, la résistance à la corrosion du matériau, ...), ou externes (le sol, les fuites, le mouvement de sol, ...) et liés à l'exploitation du réseau (débit, pression, vitesse, nature de l'eau, ...).

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.

L'analyse des données au moyen d'outils d'aide à la décision permet tout d'abord d'optimiser les pratiques opérationnelles, puis anticiper les renouvellements en fonction des enjeux locaux selon les connaissances in situ.

Le but de ce travail est de mettre en place un outil d'aide à la décision pour la gestion des réseaux d'eau potable. Afin de faciliter la complexité de la mission des gestionnaires de l'Algérienne Des Eaux de la ville de Mila, nous avons effectué une application de l'outil méthodologique (AHP) sur le réseau d'eau potable de centre-ville Chelghoum-Laid. Cette application a nécessité la collecte de plusieurs données et de nature différentes. L'exploitation de ces données nous a permis d'apprécier la qualité de l'objectif prioritaire étudié. Ce dernier se situe dans la classe moyen service. En effet, l'objectif prioritaire étudié a atteint les 50% et les secteurs prioritaires à l'action de la maintenance ont été identifiés :

- Secteur 2 : 31,85%.
- Secteur 3 : 32,70%.
- Secteur 4 : 38,13%.
- Secteur 1: 41,76%.

Il serait intéressant que l'Algérienne Des Eaux organise des rencontres nationales avec les acteurs et les services concernés. L'objectif est de ressortir avec un panel commun d'indicateurs, de critères et d'objectifs, accompagné de leurs échelles de performance. Ce n'est qu'à partir de là que des démarches de benchmarking pourront être engagées afin d'inciter tous les services gestionnaires à de meilleures performances.

Enfin, nous soulignons que ce travail de recherche est un sujet très vaste. Son développement initial a abouti à une identification de plusieurs objectifs prioritaires nécessitant un développement, une exploitation et un traitement approfondie de tous les aspects essentiels.

La poursuite de ce travail dans le but de le compléter et l'affiner. Et surtout, l'améliorer plus précisément car elle reste difficile à atteindre dans notre réseau étant donné la mauvaise

qualité des données dont nous disposons. C'est pour cela que les services de l'eau doivent maintenir leurs efforts pour développer au mieux leurs SIG en faisant des mises à jour régulières qui pourra générer les résultats fiables. Compte tenu du nombre important d'objectifs, ce travail nous ouvre des perspectives de recherche très intéressantes sur plusieurs questions et elles sont nombreuses :

- Développer d'autres objectifs prioritaires.
- Affiner les échelles de performance des indicateurs.
- Programmer l'outil méthodologique pour faciliter le traitement de données et la visualisation des résultats.
- Appliquer l'outil méthodologique sur d'autres services d'eau potable.
- Organisation de rencontres nationales entre les différentes unités de l'Algérienne Des Eaux afin de ressortir avec un panel commun d'indicateurs, de critères et d'objectifs, accompagné de leurs échelles de performance.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Boukhari Sofiane. 2018. La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, 180 p.
- [2] Mouhouche Brahim. 2012. Les problèmes du manque d'eau en Algérie : Une réalité qui fait peur. *Djadid El-iktissad Review*, vol. 07, n° 1, p. 40-57.
- [3] Hamchaoui 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 Mostefa Ben Boulaid, Algérie, 230 p.
- [4] Bourezak Abdelhak, Mermoune Antara. 2018. Analyse multicritère appliquée au renouvellement et à la gestion des réseaux d'AEP (Région Grarem Gouga-Mila). Mémoire de master, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila, 146 p.
- [5] Efe B. 2016. An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. *Applied soft computing*, vol. 38, p. 106-117.
- [6] Lee S, Seo K. 2016. A hybrid multi-criteria decision-making model for a cloud service selection problem using BSC, fuzzy Delphi method and fuzzy AHP. *Wireless Personal Communications*, vol. 86, n° 1, p. 57-75.
- [7] Awasthi A, Adetiloye T et Crainic T.G. 2016. Collaboration partner selection for city logistics planning under municipal freight regulations. *Applied mathematical modelling*, vol. 40, n° 1, p. 510-525.
- [8] https://fr.wikipedia.org/wiki/Aide%C3%A0_la_d%C3%A9cision_multicrit%C3%A8re
(date de consultation : 14/01/2019)
- [9] Ben Mena Sami. 2000. Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision- Gembloux, Belgique. *Biotechnol agron soc environ*, vol. 4, n° 2, p. 83-93.
- [10] Roy Bernard. Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision. Economica, Paris, 1985. 423p.

- [11] Schärli Alain. Décider sur Plusieurs Critères, panorama de l'Aide à la Décision Multicritère. 4e édition. Lausanne ; Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes, 1985. 304p.
- [12] Maystre Lucien Yven, Pictet Jacques, Simos Jean. Méthodes multi -critères Electre, description conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. 1e édition. Lausanne ; Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994. 323p.
- [13] Vincke Philippe. L'Aide Multicritère à la Décision. Bruxelles ; Belgique : Université libre de Bruxelles, 1989. 180p.
- [14] Hammami Abdelkader. 2003. Modelisation technico-economique d'une chaine logistique dans une entreprise reseau. Thèse de Doctorat, Université Laval Québec, Canada, 371 p.
- [15] Hwang C.L, Yoon K. 1981. Methods for Multiple Attribute decision Making, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems-New York. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, vol. 186, p. 58-191.
- [16] Edwards W. 1971. Social utilities. *Engineering Economist*, p. 119-129.
- [17] Pomerol Jean Charles, Barba Romero Sergio. Choix Multicritères dans l'entreprise. Principe et pratique (Coll. Informatique), Hermes Science-Editions Lavoisier. Paris, 1993. 396p.
- [18] Keeney Ralph L, Raifa Howard. Decision with Multiobjectives, Preferences and Value Trade-Offs. New York, 1976. 569p.
- [19] Jacquet Lagrèze E, Meziani R, Slowinski R. 1987. MOLP with an Interactive Assesment Of a piecewise Utility Function. *European journal of operational research*, Vol. 31, n° 3, p. 350-357.
- [20] <https://coboom.co/ahp/>(date de consultation : 29/08/2014)
- [21] Voogd Henk. Multicriteria evaluation for urban and regional planning, Pion Ltd, London, 1983. 370p.

- [22] Anandalingam G. 1987. A multiple criteria decision analytic approach for evaluating acid rain policy choices. *European journal of operational research Society*, vol. 29, n° 3, p. 336-352.
- [23] Keeney Ralph L, Ozernoy Vladimir M. 1982. An illustrative analysis of ambient carbon monoxide standards. *European journal of operational research Society*, vol.33, n° 4, p. 365-375.
- [24] Lathrop John W, Watson Stephen R. 1982. Decision analysis for the evaluation of risk in nuclear waste management. *European journal of operational research Society*, vol. 33, n° 5, p. 407-418.
- [25] Victor Kagni. Jan-Déc 2016. Approche par les relations de surclassement et aide multicritère à l'intégration des pays de la CEMAC. *Revue congolaise de gestion*, vol. 1, n° 21-22, p. 88-124.
- [26] Roy Bernard. 1968. Classement et Choix en Présence de Points de Vue Multiples la Méthode Electre. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, vol. 2, n° 8, p. 57-75.
- [27] Roy Bernard, Skalka J.M. 1987. ELECTRE IS: Aspects méthodologiques et guide d'utilisation. LAMSADE, Unité associée au CNRS No°825, Université de Paris Dauphine.
- [28] Roy Bernard, Bertier P. 1973. La méthode ELECTRE II, une application au média-planning. *Operational research*, p. 291-302.
- [29] Roy Bernard. 1974. Critères multiples et modélisation des préférences : l'apport des relations de surclassement. *Revue d'économie politique*, vol. 84, n° 1, p. 1-44.
- [30] Roy Bernard. 1978. Algorithme de classement basé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, vol. 20, n° 1, p. 3-24.
- [31] Roy Bernard. L'aide multicritère à la décision. Editions Ellipses, 1989.
- [32] Roy Bernard, Hugonnard J.C. 1982. Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A: General*, vol. 16, n° 4, p. 301-312.

- [33] Nafi Amir, Werey Caty. 2009. Aide à la décision multicritère pour la hiérarchisation de tronçons d'assainissement dans le cadre d'une gestion patrimoniale. *Revue scientifiques du CNRC*, vol. 36, p. 1207-1220.
- [34] Maystre L.Y, De Heer J. A multicriteria analysis of various strategies to reduce the input of phosphorus from a river basin into a lake. Rome: Proceedings of the international congress of EWPCA, 1985.
- [35] Macris H. 1987. Application d'Electre IV à l'étude de la qualité de l'environnement. Projet hors département pour mathématiciens, Institut de Génie de l'Environnement, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 51 p.
- [36] Marchand M.L. 1988. La gestion des décharges communales, le cas des Franches-Montagnes. Travail de semestre, Institut de Génie de l'Environnement, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 36 p.
- [37] Diop O. 1988. Contribution à l'étude de la gestion des déchets solides de Dakar : Analyse systématique et aide à la décision. Thèse de doctorat, Lausanne, Suisse, 292 p.
- [38] Simos J. 1990. L'évaluation environnementale : un processus cognitif négocié. Thèse de doctorat, Lausanne, Suisse, 216 p.
- [39] Serrano F. 1991. Aide multicritère à la décision en matière d'économie d'énergie. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, France, 144 p.
- [40] Roy Bernard. A multicriteria analysis for trichotomic segmentation problems. UK: Gower Press, 1981.245-257p.
- [41] Avignon G, Sauvageau M. 1994. L'aide multicritère à la décision : un cas d'intégration de critères techniques, économiques et environnementaux à Hydro-Québec. Document de travail, Université de Laval, Québec, Canada, 17 p.
- [42] Roy Bernard, Bouyssou D. Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas. Édition Economica. Paris, 1993. 695p.
- [43] Schärli A. Pratiquer Electre et Prométhée : un complément à décider sur plusieurs critères. Lausanne ; Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996. 173p.

- [44] Brans Jean Pierre, Vincke Philippe. 1985. A preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making. *Management Science*, vol. 31, n° 6, p. 647-656.
- [45] Brans Jean Pierre, Mareschal Bertrand. Promethee method multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. USA: Springer Science and Business Media. 2005. 163-195p.
- [46] Mareschal Bertrand, Brans Jean Pierre, Vincke Philippe. 1984. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. Bruxelles. *Rapport technique*, vol. 3, p. 477-490.
- [47] Frikha Hela Moalla, Chabchoub Habib, Martel Jean Marc. Inférence des coefficients d'importance relative des critères dans PRPMETHEE II. 1e édition. France : Document de travail, 2008. 1-20p.
- [48] Brans Jean Pierre, Vincke Philippe, Mareschal Bertrand. 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, vol. 24, n° 2, p. 228-238.
- [49] Boumedyen Taibi. 2010. L'analyse Multicritère comme outil d'aide à la décision: Application de la méthode PROMETHEE étude de cas: l'entreprise SEROR. Mémoire de Magistère, Université Abou bekr belkaid, Tlemcen, 136 p.
- [50] Brans Jean Pierre, Mareschal Bertrand. 1992. PROMETHEE V: MCDM problems with additional segmentation constraints. *Information Systems and Operational Research*, vol. 30, n° 2, p. 85-96.
- [51] Dorra Ayadi Azzabi. 2010. Optimisation multicritère de la fiabilité : Application du modèle de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz. Thèse de doctorat, Université de SFAX, d'Angers, 346 p.
- [52] Benayoun R, Laritchev O, de Mongolfier J, Tegny J. 1971. Linear programming with multiple objective functions: STEP method (STEM), *Math. Program*, vol. 1, n° 3, p. 366-375.

- [53] Geoffrion A, Dyer J, Feinberg A. 1972. An interactive approach for multicriterion optimisation with an application to the operation of an academic department. *Management Science*, vol. 19, n° 4, p. 357-368.
- [54] Roy B, Moscarola J. Procédure automatique d'examen de dossiers fondés sur un classement trichotomique en présence de critères multiples. Paris : Cahiers du LAMSADE, Université Dauphine, 1976. 32p.
- [55] Zionts S, Wallenius J. 1976. *An interactive programming method for solving the multiple criteria problem*. *Management Science*, vol. 22, n° 6, p. 652-663.
- [56] Vincke Ph. 1976. Une méthode interactive en programmation linéaire à plusieurs fonctions économiques. *Revue Française d'informatique et de recherche opérationnelle*, vol. 2, p. 5-20.
- [57] Wierzbicki A. 1980. The use of reference objectives in multi-objective optimisation. *Springer Verlag*, vol. 177, p. 468-486.
- [58] Steuer R, Choo E. 1983. An interactive Weighted Tchebycheff procedure for multiple Objective programing. *Mathematical programing*, vol. 26, p. 326-344.
- [59] Korhonen P, Laakos J. 1986. A visual interactive method for solving the multicriteria problem. *European Journal of Operational research*, vol. 24, n° 2, p. 277-287.
- [60] Vanderpooten D. A Multicriteria Interactive Procedure Supporting a directed learning of preferences. Cahiers du LAMSADE, Université de Paris-Dauphine, 1988.
- [61] Cohon J.L, Reville C.S, Current J, Eagles T, Eberhard R, Church R. 1980. Application of a multiobjective facility location model to power plan siting in a six-state region of the US. *Computing Operational Research*, vol. 7, p. 107-123.
- [62] Ellis J.H. 1988. Multiobjective mathematical programming models for acid rain control. *European Journal of Operational Research*, vol. 35, p. 365-377.
- [63] Glover F, Martinson F. 1987. Multiple-use land planning and conflict by multiple objective linear programming. *European Journal of Operational Research*, vol.28, p. 343-350.

- [64] Jordi K.C, Peddie D. 1988. A wildlife management problem: A case study in multiple-objective linear programming. *European journal of operational research Society*, vol. 39, p. 1011-1020.
- [65] Serge Bellut. Les processus de la décision: démarches, méthodes et outils. 1e édition. Paris ANFOR, 2002.
- [66] Simon H. Rational choice and the structure of environment, Models of bounded rationality. Cambridge, 1982.
- [67] Deparis Stéphane. 2012. Etude de l'effet du conflit multicritère sur l'expression des préférences : Une approche empirique. Thèse de doctorat, Ecole Centrale, Paris, 240 p.
- [68] Simon Herbert A. Administration et processus de décision. 1e édition. Paris ; Economica, 1983.
- [69] Keeney Ralph L. "Valued-focused thinking: A path to creative decision". Cambridge; USA: Harvard University press, 1992.
- [70] Laaribi A. SIG et analyse multicritère. Hermès Sciences Publications, Paris, 2000.
- [71] Ennaouri Ilham. 2010. Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux. Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, École polytechnique de Montréal, Canada, 79 p.
- [72] Jacquet-Lagréze E, Roy B. Aide à la Décision Multicritère et Systèmes Relationnels de Préférences. cahier du LAMSADE (Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision). Université Paris-Dauphine, 1980.
- [73] Saaty T.L. 1996. Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process. Vol.1, RWS Publication, Pittsburgh,
- [74] Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York, 1980.
- [75] Gautier J. 2005. Développement d'un outil d'aide à la décision environnemental durable pour une grande ville. Mémoire de maitrise, Université de Montréal, Canada,
- [76] Guitouni A, Martel J.M. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European journal of operational research*, vol. 109, n° 2, p. 501-521.

- [77] Omkarparasad S, Vaidya, Sushil Kumar. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, vol. 169, p. 1- 29.
- [78] Forman E.H. 1993. Facts and fictions about the analytic hierarchy process, *Mathematical and computer modelling*, vol. 17, n° 4-5, p. 19-26.
- [79] DelVecchio S. 2006. Mesure quantitative des impacts de risque en contexte d'impartition. Mémoire de maitresse science, université de Montréal, Canada.
- [80] Boumessengh Amel. 2020. Méthodologie de diagnostic dans les réseaux d'AEP et télégestion. Cours de distribution d'eau potable, Université de Mila, 14 p.
- [81] Rapport du PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) de chelghoum- Laid, 2010.
- [82] DRE (Direction des Ressources en Eaux) de la wilaya de Mila.
- [83] DPAT (Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire) de la wilaya de Mila.
- [84] https://www.wikiwand.com/fr/Chelghoum_La%C3%AFd
- [85] ONS (Office National des Statistiques), 1998.
- [86] BCEOM ET G2C (Bureau central d'études d'outre-mer/groupement français des associations du génie civil) environnement. 2009. Rapport de fonctionnement du réseau de distribution d'eau potable des villes de Mila, Mission B, 50 p.
- [87] Bogárdi I, Fülöp R. 2012. A space-time probabilistic model for pipe network reconstruction planning. *Urban Water Journal*, vol. 9, n° 5, p. 333-346.
- [88] Novotny V, Brown P. Cities of the future: Towards integrated sustainable water and landscape management. IWA, Londres UK. 427 p, 2007.
- [89] Nafi A. 2006. La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable. Thèse doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, France, 232 p.
- [90] Engelhardt M.O, Skipworth P.J, Savic D.A, Saul A.J, Walters G.A. 2000. Rehabilitation strategies for water distribution networks. *A literature review with a UK perspective Urban Water* 2, p. 153-170.

- [91] Blindu Igor. 2004. Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spéciale et temporelle des dysfonctionnements hydraulique. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, France, 263 p.
- [92] Haidar H. 2006. Réhabilitation des réseaux d'eau potable : méthodologie d'analyse multicritère des patrimoines et des programmes de réhabilitation. Thèse de doctorat, Lyon, France, 227 p.
- [93] Monfront L. *Réseau d'assainissement, gestion patrimoine et tuyaux en béton*. CERBI ISSN 0249-6224, 2007.
- [94] Poinard D, Le Gauffre P, Laffrechine K, Haidar H. 2005. Modélisation du vieillissement des réseaux d'eau potable, *Revue Européenne de Génie Civil*, vol. 9, n° 3, 415-428.
- [95] Alexandre O, Elnaboulsi J. 1996. Le Renouvellement des réseaux d'eau potable. *Canadian Water Resources Journal*,
- [96] Le Gauffre P, Baur R, Laffrechine K, Miramond M. 2002. Multicriteria decision support for the annual rehabilitation programmes of water networks, Proceedings Int. Conf. Decision Making in Urban and Civil Eng., DMUCE'2002 London (UK), 6-8 November 2002, 655-660.
- [97] Hamchaoui S, Boudoukha A. 2017. Gestion durable des services d'eau potable. *Revue scientifique et technique*, vol. 31, n° 306, p. 15.
- [98] Abdelbaki C, Touaibia B, Allal M, Kara Slimane F. 2012. Applied Systemic Approach to Water Supply Network the Case of an Urban-Tlemcen, Alegria. *Revue Procedia Engineering*, vol. 33, p. 30-37.
- [99] Brugman. 1997. Sustainability indicators revisited: Getting from political objectives to performance outcomes- a response to Graham Pinfield. *Local Environement*, vol. 2, n° 3, p. 299-302.
- [100] Erhard Cassegrain A, Margat J. 1979. Introduction à l'économie générale de l'eau BRGM, Orléans, France,
- [101] Kadi A. 1997. La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 42, n° 2, p. 191- 197.

- [102] <https://www.economie.gouv.fr/facileco/quels-sont-objectifs-lentreprise>
- [103] <https://wikimemoires.net/2014/02/satisfaction-client-caracteristiques-et-mesure-et-la-qualite/>
- [104] Kahoul M, Touhami M. 2014. Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). Annaba BP 12, Algérie. *Larhyss Journal*, vol. 19, p. 129-138.
- [105] <https://www.infoqualite.fr/accordance-59/>
- [106] <https://qualiblog.fr/principes-generaux-de-la-qualite/traitement-des-reclamations-clients/>
- [107] MRE (Ministère des Ressources en Eau). 2004-2013. Stratégie nationale de développement économique et social, Perspective décennale du secteur en eau. 18 p,
- [108] MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement). 2002. Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD). 110 p.
- [109] FNDAE HS 10 (Fondation National pour le Développement des Adductions d'Eau Hors-Série N°10). 1994. Le renouvellement des réseaux d'eau potable. Guide pour l'élaboration d'un programme de renouvellement, Ministère de l'Agriculture et de la pêche.
- [110] ADE (Algérienne Des Eaux) de la wilaya de Mila.
- [111] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/matiere-turbidite-6317/>
- [112] Annexe 1; JORA n°18, 2011
- [113] <https://www.cnrs.fr/cnrs-images/chimieaulyce/THEMES/acidite/ph.htm>
- [114] Hanon M, Rouelle A. 2011. Le PH de l'eau de distribution-Belgique. *Portail environnement de Wallonie*,
- [115] <https://www.inbw.be/parametres-et-normes> (date de consultation : 2018)
- [116] <https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/dossiers/eau/articles/13257-magnesium.htm>
- [117] <https://www.safewater.org/french-operation-water-drop/2017/5/17/analyse-de-la-duree-totale-de-leau-pour-lmentaires-operation-goutte-deau>

- [118] Beatson, C.G. 1978. Methaemoglobinaemia-Nitrates in drinking water. *Environ Health*, 86, 31.
- [119] Adam J.W.H. 1980. Health aspects of nitrate in drinking-water and possible means of denitrification (literature review), *Water SA*, 6, 79
- [120] Egboka B.C.E. 1984. Nitrate contamination of shallow groundwater in Ontario, Canada. *Sci. Total Environ.*, 35, 53.
- [121] <http://galano.unblog.fr/parametres-caracteristiques-de-leau/la-conductivite/>
- [122] <https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/eau-potable/stockage-distribution-eau-potable.php4>
- [123] Samadou Lougou Misbas.A. 2017. Détermination des principales causes des fuites enregistrées dans le réseau de distribution d'eau potable de la ville d'Ouagadougou. Mémoire de Master, 55 p.
- [124] <https://plomberie.ooreka.fr/comprendre/pression-eau>
- [125] Al Harbi. 2001. Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, vol. 19, n° 1, p. 19-27.
- [126] Yang D, Gao P, Zhao Y, Zhang Y, Liu X, Zhang Q. 2018. Modeling sediment concentration of rill flow. *Journal of Hydrology*, vol. 561, p. 286-294.
- [127] Wu B, Wang Z, Zhang Q, Shen N, Liu J. 2017. Modelling sheet erosion on steep slopes in the loess region of China. *Journal of Hydrology*, vol.553, p. 549-558.
- [128] Coulibaly, Rodriguez. 2004. Development of performance indicators for small Quebec drinking water utilities. *Journal of Environmental Management*, vol. 73, n° 3, p. 243-255.
- [129] Elnaboulsi J, Alexandre O. Le renouvellement des réseaux urbains d'eau potable : Une approche économique d'optimisation. *Ingénieries–EAT*. N° 15, 1998.
- [130] Afnor. Norme Européenne NF EN 13306 : Terminologie de la maintenance. Association Française de Normalisation. Paris, 2001.

- [131] Dell’Orfano F, Esposito V, Gualtieri P, Pulci Doria G. Mean Values of Water Pipe Break Rate in the World and in Geographical Areas. 7th IWA International Conference on Efficient Use and Management of Water. Paris, France. 22-25 October 2013.
- [132] Granger D, Caradot N, Cherqui F, Chocat B. How to support sustainable urban water management strategies? 7^{ème} Conférence Internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Lyon, France, 27 juin-1^{er} juillet 2010.
- [133] Charrat M. 1995. Conception d’un outil de supervision de la production et de la distribution d’eau potable à Lyon en période courante et en période de crise. Thèse de doctorat, Lyon, France, 278 p.
- [134] Benhoumar Wahida, Kamous Hana. 2016. Diagnostic du réseau d’alimentation en eau potable de la commune de AMIRA AREES chef-lieu TASSAFT wilaya de MILA. Mémoire de master, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila, 117 p.
- [135] TSM n°11bis. 1993. Techniques, Science et Méthodes : Le renouvellement des réseaux. 26-29 pp,
- [136] Demassue J.L. 1996. Measuring water distribution system performance. *Journal Water Supply*, vol. 14, n° 1, p. 35-43.
- [137] Halpern O. Renouveau et réhabilitation des réseaux. TSM-L’eau, 445-454 pp, Octobre 1985.
- [138] Bedjaoui A, Achour B. 2014. Dimensionnement des réseaux de distribution d’eau potable par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR)-Biskra, Algérie. *Courrier du Savoir*, n° 18, p. 129-136.
- [139] Bonnin J. Aide-mémoire d’hydraulique urbaine. Édition Eyrolles, France, 1982.
- [140] <http://sinfotech.cemagref.fr/asp/index.asp>
- [141] Halpern O, Pascal O. 1988. Le renouvellement des réseaux urbains de distribution d’eau. *Colloque organisé par l’ENPC*, p. 108-116.
- [142] Eisenbeis P. 1994. Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d’eau potable. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, France, 158 p.

- [143] Merzouk N. 2005. Méthodologie de détection et de localisation des fuites dans un réseau d'eau potable dans les petites et les moyennes collectivités. Thèse de Doctorat, Université d'Artois, France,
- [144] www.cnrs.com
- [145] O'Day D.K, Weiss R, Chiavari S, Blair D. Water main evaluation for rehabilitation/ replacement. *Guidance manual of AWWA Research foundation*, p. 182.
- [146] Cecile A, Jean-Marc B, Jean-Luc C. 2004. Réhabilitation remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale. France. *Document technique FNDAE*, n° 10.
- [147] Laala Bouali O. 2017. Diagnostic et Fiabilité du réseau de distribution de la zone Plaine Ouest-Annaba. Mémoire de master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 69 p.
- [148] Grau C. *Problems of external corrosion in water distribution systems*. International Report N 5, Proc. Of the 18th Congress AIDE, Copenhagen. 1-45 pp, 1991.

Annexes

Annexe 1

JORA n°18, 2011 ; normes Algeriennes pour l'eau potable.

Paramètres	Unité	Norme Algerienne
Physico_chimie		
Température	°C	25
PH	-	6.5-9
Turbidité	NTU	<5
Conductivité	µs /cm	<2800
Salinité	‰	-
TDS	mg/l	-
Chlore résiduel	mg/l	-
Nitrites	mg/l	<0.2
Nitrates	mg/l	<50
Ammonium	mg/l	<0.5
Fer	mg/l	<0.3
Sulfates	mg/l	<400
Phosphates	mg/l	<5
Dureté totale	Mg/l CaCO ₃	<500
Calcium	mg/l	<200
Magnésium	mg/l	<150
Sodium	mg/l	<200
Potassium	mg/l	<12
Résidu sec	mg/l	<1500
Carbonates	mg/l	-
Hydrogénocarbonates	mg/l	<500
Matières oxydables	mg/l	<5
chlorures	59 .56	<500
Coliformes fécaux(e.coli)	ge/100ml	00
Streptocoques fécaux	ge/100ml	00
Clostridium sulfitoréducteurs	ge/20ml	00