

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

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

THÈSE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT

Domaine : Sciences et Technologies Filière : Hydraulique
Spécialité : Génie Hydraulique et Environnement

Présentée par
Meriem IGROUFA

Thème

**Indicateurs de performance pour l'évaluation de la qualité structurelle
des réseaux d'assainissement urbains**

Soutenue le : 11/07/2021

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr. MAZA Mustapha	Professeur	Univ. de Bejaia	Président
Mr. SEGHIR Abdelghani	Professeur	Univ. de Bejaia	Rapporteur
Mr. BENZERRA Abbas	MCB	Univ. de Bejaia	Co-rapporteur
Mr. BERREKSI Ali	MCA	Univ. de Bejaia	Examineur
Mr. KHATTAOUI Mohammed	Professeur	Univ. de Tizi Ouzou	Examineur
Mr. BOUTAGHANE Hamouda	MCA	Univ. d'Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je remercie le bon Dieu le tout puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté d'aller jusqu'au bout de cette thèse.

Convaincue que la thèse est loin d'être un travail solitaire. C'est pourquoi je profite de cet espace avec beaucoup d'enthousiasme pour rendre hommage aux personnes qui ont participé chacun à sa manière à la réalisation de ce travail de recherche.

Mes plus vifs remerciements s'adressent tout d'abord à mon co-directeur de thèse qui m'a proposé cette présente thématique Monsieur BENZERRA Abbas. Les mots me manquent pour exprimer ma gratitude. Monsieur Benzerra m'a guidé, dirigé, conseillé pendant 42 mois de travail sans relâche. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Sans vous, je suis sûre que ce travail n'aboutira jamais. Un grand merci.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse le Professeur SEGHIR Abdelghani. Avec Monsieur Seghir, j'ai appris Latex, j'ai appris InkScape, et bien d'autres choses. J'ai beaucoup estimé travailler à vos cotés tant sur le plan scientifique que sur le plan humain. Merci pour votre disponibilité et vos remarques pertinentes malgré vos nombreuses charges.

Je tiens à remercier vivement Monsieur BEDJOU A/Hamid, pour ses conseils tout le long de ma thèse et surtout pour ses nombreux gestes que je n'oublierai jamais . Au travers de nos discussions, monsieur Bedjou m'a apporté une compréhension plus approfondie des divers aspects. Merci d'être toujours là lorsque j'avais besoin de vous.

Je souhaite remercier également le directeur de l'Office National d'Assainissement de la ville de Bejaia Monsieur ATMANIOU Mourad. Merci de m'avoir chaleureusement accueilli au sein de l'office et merci de m'avoir permis l'accès aux données nécessaires pour l'accomplissement de ce travail de recherche.

Je ne saurais jamais comment remercier Monsieur BOURASSE Hakim chef du centre d'assainissement de Bejaia. Avec Hakim, je menais de longues discussions de 3 à 5 heures en m'expliquant les contraintes de fonctionnement du réseau. Vous avez toujours pris du plaisir à m'expliquer les moindres détails et vous vous êtes jamais ennuyés de mes nombreuses questions. Merci infiniment pour le temps accordé et merci surtout pour votre bonne humeur lors des débats.

Merci au premier enseignant qui a cru en moi, merci au premier enseignant qui m'a encouragé de passer le concours de Doctorat depuis ma deuxième année licence, j'espère que je vous ai pas déçu. Il s'agit de Monsieur BOUHALI Sofiane à qui je souhaite toutes les meilleures choses.

Je voudrai ensuite remercier le futur Professeur Monsieur BERREKSI Ali. Merci d'être cet enseignant qui écoute ses étudiants, merci d'être cet enseignant si gentil au quotidien et merci d'être cet enseignant si généreux et si attentif aux soucis des autres.

Je remercie très chaleureusement Mr. MAZA Mustapha, Professeur à l'université de Bejaia, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté de présider le jury.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Mr. KHATTAOUI Mohammed, Professeur à l'université de Tizi Ouzou, Mr. BOUTAGHANE Hamouda, Maître de conférences à l'université d'Annaba, et Mr. BERREKSI Ali, Maître de conférences à l'université de Bejaia, qui m'ont fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner ce présent travail .

Un énorme remerciement à tous mes enseignants du département hydraulique qui ont contribué à ma formation durant mon cursus universitaire.

Merci à tous mes amis doctorants et membres du laboratoire LRHAE pour la sympathie qu'ils m'ont témoignées durant ces années de thèse. Je ne peux oublier de remercier en particulier Madame MEZHOU D Cherifa pour sa disponibilité et son aide lors de la révision de l'article.

Un vif merci à ma famille qui m'a toujours soutenu, réconforté et cru en moi dans cette formidable et unique aventure qui est la thèse. À mes parents, à ma grand mère, à ma tante et à mon frère.

À tous ceux et celles que j'ai oublié de remercier, veuillez excusez mon oubli !

الملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو تطوير أداة تقييم التسيير الهيكلي لشبكة الصرف الصحي، في الجزائر. المنهجية المستخدمة تعتمد على مرحلتين أساسيتين. المرحلة الأولى تركز على تحديد الأهداف، المعايير والمؤشرات. اختيار المؤشرات يأخذ بعين الإعتبار الموارد المالية والبشرية المتاحة عند مسيري الديوان الوطني للتطهير. المرحلة الثانية تهتم بتقييم المؤشرات المحددة من قبل. خلال هذه المرحلة، كان من الضروري بناء مقاييس الأداء لكل مؤشر. للحصول على علامة الأداء لكل هدف، تم استخدام طريقتين هما: الجمع المتنقل لغرض تجميع المؤشرات والمعايير وعملية التحليل الهرمي الغامض (FAHP) لغرض التثقيل. أخيرا، تم تطبيق الأداة المعتمدة على شبكة الصرف الصحي لمدينة بجاية، الجزائر.

مفاتيح الكلمات

التسيير الهيكلي، مؤشرات الأداء، عملية التحليل الهرمي الغامض (FAHP)، شبكة الصرف الصحي، تقييم الأداء، مقاييس الأداء.

Résumé

L'objectif de cette thèse est de développer un outil d'évaluation de la gestion structurelle du réseau d'assainissement, dans le contexte algérien. L'approche méthodologique adoptée est basée sur deux phases essentielles. La première phase se focalise sur l'identification des objectifs, critères et indicateurs. La sélection des indicateurs prend en considération les moyens financiers et humains dont disposent les gestionnaires de l'office national de l'assainissement. La deuxième phase s'intéresse à l'évaluation des indicateurs identifiés. Au cours de cette phase, la construction des échelles de performance pour chaque indicateur est nécessaire. La note de performance des objectifs est obtenue à l'aide de deux méthodes : la somme pondérée pour agréger les indicateurs et les critères et la méthode FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*) pour la pondération. Enfin, l'outil est illustré par un exemple d'application sur le réseau d'assainissement de la ville de Bejaia, Algérie.

Mots clés

Gestion structurelle, indicateurs de performance, méthode FAHP, réseau d'assainissement urbain, évaluation de la performance, échelles de performance.

Abstract

This thesis aims to develop a tool for assessing the structural management of sewerage network in Algeria. The methodology adopted consists mainly of two phases. The first one concerns the identification of priority objectives, criteria and indicators. The selection of indicators takes into account the financial and human resources available to the managers of the national sanitation office. The second phase concerns the assessment of indicators identified. During this stage, it was necessary to construct the performance measurement scales for each indicator. Then, the performance score of objectives is obtained by means of two methods : the weighted sum for the aggregation of indicators and criteria and the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for the weighting stage. The assessment tool is demonstrated by the application on a sewerage network in the city of Bejaia, Algeria.

Keywords

Structural management, performance indicators, FAHP method, urban sewerage network, performance assessment, performance scales.

Dédicaces

À la mémoire de mon enseignant
Monsieur ALLOUACHE Atmane

À mes parents, à ma grand mère, à
ma tante et à mon frère. Sans
oublier ma chatte adorée "Phila".

Sommaire

Sommaire	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Liste des symboles	xii
Introduction générale.....	1
Chapitre I. Problématique de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains en Algérie.....	3
<i>I.1. Introduction</i>	<i>4</i>
<i>I.2. Historique de la gestion du service d'assainissement</i>	<i>4</i>
I.2.1. Contexte réglementaire	5
I.2.1.1. Analyse du cadre législatif	5
I.2.1.2. Analyse du cadre conceptuel et institutionnel	6
I.2.2. Modes de gestion	7
I.2.3. L'Office National d'Assainissement (ONA)	9
I.2.3.1. Historique et contexte législatif	9
I.2.3.2. Organisation de l'ONA	10
I.2.3.3. Missions et objectifs de l'ONA	10
I.2.3.4. Principales activités de l'ONA	12
<i>I.3. Contraintes des gestionnaires.....</i>	<i>13</i>
I.3.1. Contraintes institutionnelles	13
I.3.2. Contraintes techniques	14
I.3.3. Contraintes financières	15
I.3.4. Caractéristiques et état physique du réseau	15
I.3.4.1. Dégradation de l'infrastructure	16
I.3.4.2. Différentes défaillances	16
<i>I.4. Quelle résolution pour l'ONA ?</i>	<i>18</i>
I.4.1. ONA : une jeune entreprise face à de grands défis	18
I.4.1.1. Moyens humains	19
I.4.1.2. Moyens matériels	20
I.4.1.3. Capacités financières	21
I.4.1.4. Capacités techniques	21

<i>I.5. Conclusion et objectifs de la thèse</i>	22
---	----

Chapitre II. État de l’art sur l’évaluation de la gestion patrimoniale des réseaux d’assainissement urbains...... **24**

<i>II.1. Introduction</i>	25
<i>II.2. Intérêt de l’évaluation dans la gestion patrimoniale des réseaux d’assainissement urbains</i>	25
<i>II.3. Variété des outils d’évaluation</i>	26
II.3.1. Un outil d’évaluation pour une aide à la décision	27
II.3.1.1. Système des indicateurs de performance	27
II.3.1.1.1. Notion d’indicateur	28
II.3.1.1.2. Rôle des indicateurs	28
II.3.1.1.3. Principaux travaux de développement d’indicateurs de performance	30
II.3.2. Exigences de l’ONA sur son outil d’évaluation	30
<i>II.4. La mesure de la performance</i>	32
II.4.1. Méthodes d’agrégation	33
II.4.2. Méthodes de pondération	33
<i>II.5. Construction de l’outil d’évaluation</i>	34
II.5.1. Frontières du système	34
II.5.2. Adoption d’une approche participative	35
II.5.2.1. Processus de l’identification des objectifs prioritaires	35
II.5.2.2. Construction des échelles de performance	36
<i>II.6. Conclusion</i>	36

Chapitre III. Développement d’un outil d’évaluation pour la gestion patrimoniale du réseau d’assainissement

<i>III.1. Introduction</i>	39
<i>III.2. Méthodologie de développement de l’outil d’évaluation</i>	39
III.2.1. Délimitation du système à étudier	40
III.2.2. Identification des objectifs, critères et indicateurs	41
III.2.2.1. Identification des objectifs prioritaires	41
III.2.2.1.1. Objectif O ₁ « Assurer une bonne gestion de l’infrastructure »	41
III.2.2.1.2. Objectif O ₂ « Encourager une bonne exploitation du réseau »	43
III.2.2.2. Identification des critères	44
III.2.2.2.1. Critère C ₁₁ « Améliorer la connaissance du patrimoine » ...	44
III.2.2.2.2. Critère C ₁₂ « Maintenir un bon état structurel et fonctionnel du réseau »	45
III.2.2.2.3. Critère C ₁₃ « Réduire les obstructions dans le réseau »	46
III.2.2.2.4. Critère C ₁₄ « Réduire les désordres des ouvrages de surface »	46
III.2.2.2.5. Critère C ₂₁ « Améliorer la maintenance du réseau »	47
III.2.2.2.6. Critère C ₂₂ « Initier la réhabilitation des conduites »	48
III.2.2.3. Identification des indicateurs de performance	48
III.2.2.3.1. Indicateurs associés à C ₁₁	48
III.2.2.3.2. Indicateurs associés à C ₁₂	50

Liste des figures

Figure I-1 : L'organisation administrative du SE.	7
Figure I-2 : Organisation de l'ONA.	11
Figure I-3 : Quelques équipements de l'ONA pour la maintenance du RAU.	21
Figure II-1 : Processus de la gestion patrimoniale des infrastructures.	26
Figure II-2 : Le rôle des indicateurs.	29
Figure II-3 : Propriétés des indicateurs vus par l'ONA.	32
Figure III-1 : Schéma descriptif de la méthodologie adoptée.	40
Figure III-2 : Critères et indicateurs liés à O_1	42
Figure III-3 : Critères et indicateurs liés à O_2	42
Figure III-4 : Exemple de fissures dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	51
Figure III-5 : Exemple d'un effondrement dans une conduite du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	52
Figure III-6 : Exemples de dégradation de surface dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	53
Figure III-7 : Exemples de branchements illicites dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	54
Figure III-8 : Exemples de courbures dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	55
Figure III-9 : Exemples de sédiments extraits du RAU de la ville de Bejaia.. . . .	56
Figure III-10 : Exemples de dépôts dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	58
Figure III-11 : Exemple de pénétration de racines dans une Conduite du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	59
Figure III-12 : Quelques regards sans tampon dans la ville de Bejaia.	60
Figure III-13 : Quelques regards avec tampons cassés dans la ville de Bejaia.	60
Figure III-14 : Quelques tampons surélevés dans la ville de Bejaia.	61
Figure III-15 : Quelques tampons sous-bitume dans la ville de Bejaia.	62
Figure III-16 : Exemples d'opérations de l'enlèvement du bitume couvrant les regards.	62

Figure III-17 : Quelques avaloirs sans grille dans la ville de Bejaia.	63
Figure III-18 : Exemple d'un avaloir mal positionné dans la ville de Bejaia.. . . .	63
Figure III-19 : Quelques avaloirs en nid de poule dans la ville de Bejaia.	64
Figure III-20 : Quelques opérations de curage préventif sur les ouvrages de surface dans la ville de Bejaia.	65
Figure III-21 : Quelques opérations de curage curatif sur les ouvrages de surface dans la ville de Bejaia.	66
Figure III-22 : Exemple de remplacement d'une conduite dans la ville de Bejaia.. .	67
Figure III-23 : Échelles de performance des indicateurs associés à C_{11}	70
Figure III-24 : Échelle de performance de I_{129}	71
Figure III-25 : Échelle de performance de I_{137}	71
Figure III-26 : Échelle de performance de I_{141}	72
Figure III-27 : Échelle de performance de I_{211}	72
Figure III-28 : Échelles de performance des indicateurs associés à C_{22}	73
Figure IV-1 : Vue du ciel de la ville de Bejaia (source : https://maps.google.com).	76
Figure IV-2 : Situation géographique de la ville de Bejaia (Algérie) (Aouni, 2014).	77
Figure IV-3 : Les bassins de collecte des eaux usées de la ville de Bejaia (ONA, 2018).	79
Figure IV-4 : Tentative de dégagement d'une dalle d'un regard.	81
Figure IV-5 : État d'un oued situé à proximité d'un marché.	82
Figure IV-6 : Siège de l'unité de l'ONA de la ville de Bejaia.	83
Figure IV-7 : Performance des indicateurs identifiés.	85
Figure IV-8 : Performance des critères.	92
Figure IV-9 : Performance des objectifs.	92

Liste des tableaux

Tableau I-1 : La répartition des ratios d'exploitation du SAU.	15
Tableau I-2 : Liste des désordres se rapportant à la structure de la canalisation (Buco, 2007).	17
Tableau I-3 : Liste des désordres se rapportant au fonctionnement de la canalisation (Buco, 2007).	18
Tableau I-4 : Les 7 conditions pour atteindre les ODD.	19
Tableau II-1 : Principaux travaux de développement d'indicateurs de performance.	31
Tableau II-2 : Types d'agrégation.	33
Tableau III-1 : Échelle d'importance utilisée pour les comparaisons par paire (Khashei-Siuki <i>et al.</i> , 2020).	69
Tableau III-2 : Valeurs du coefficient <i>RI</i> (Benzerra <i>et al.</i> , 2012).	69
Tableau III-3 : Échelle de performance adoptée pour les deux objectifs prioritaires.	73
Tableau IV-1 : Répartition des matériaux des conduites (ONA, 2018).	80
Tableau IV-2 : Valeurs annuelles (*) des indicateurs identifiés (ONA, 2018).	84
Tableau IV-3 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{11}	86
Tableau IV-4 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{11}	86
Tableau IV-5 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{21}	86
Tableau IV-6 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{21}	86
Tableau IV-7 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{22}	86
Tableau IV-8 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{22}	86
Tableau IV-9 : Matrice des préférences entre les critères liés à l'objectif O_1	87
Tableau IV-10 : Matrice des préférences floues entre les critères liés à l'objectif O_1 .	87
Tableau IV-11 : Matrice des préférences entre les critères liés à l'objectif O_2	87
Tableau IV-12 : Matrice des préférences floues entre les critères liés à l'objectif O_2 .	87
Tableau IV-13 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{11}	87
Tableau IV-14 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{12}	88

Tableau IV-15 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{13}	88
Tableau IV-16 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{14}	88
Tableau IV-17 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{21}	89
Tableau IV-18 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{22}	89
Tableau IV-19 : Poids normalisé des critères liés à l'objectif O_1	89
Tableau IV-20 : Poids normalisé des critères liés à l'objectif O_2	89
Tableau IV-21 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{11}	89
Tableau IV-22 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{12}	90
Tableau IV-23 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{13}	90
Tableau IV-24 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{14}	90
Tableau IV-25 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{21}	91
Tableau IV-26 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{22}	91
Tableau IV-27 : Ratio de cohérence de la matrice de l'objectif O_1	91
Tableau IV-28 : Ratio de cohérence de la matrice de l'objectif O_2	91

Liste des symboles

AEP : Alimentation en Eau Potable

ADE : Algérienne Des Eaux

AGIRE : Agence de Gestion Intégrée des Ressources en Eau

AHP : Analytical Hierarchy Process

ANBT : Agence Nationale des Barrages et des Transferts

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

APC : Assemblée Populaire Communale

CFMA : Centre de Formation aux Métiers de l'Assainissement

DAPE : Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement

DRE : Direction des Ressources en Eau

DTR : Document Technique Réglementaire

FAHP : Fuzzy Analytical Hierarchy Process

ITV : Inspection Télévisée

IWA : International Water Association

MDCA : Multi Criteria Decision Analysis

MRE : Ministère des Ressources en Eau

MREE : Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement

ODD : Objectifs de Développement Durable

ONA : Office National d'Assainissement

ONID : Office National de l'Irrigation et du Drainage

PNE : Plan National de l'Eau

PPP : Partenariat Public Privé

RAU : Réseau d'Assainissement Urbain

SAU : Système d'Assainissement Urbain

SE : Secteur d'Eau

SIG : Système d'Information Géographique

SIP : Système d'Indicateurs de Performance

STEP : Station d'Épuration

Introduction générale

Aujourd'hui, les Réseaux d'Assainissements Urbains (RAU) font partie des infrastructures à forte valeur économique dans les villes (Ahmadi, 2014). Pour préserver leur bon fonctionnement au cours du temps, ils doivent être gérés de manière efficace. Par conséquent, la mise en place d'une réelle gestion patrimoniale des réseaux va permettre de maintenir le patrimoine en service tout au long de sa durée de vie. Par ailleurs, le principe de la gestion patrimoniale n'a émergé que récemment (années 1990) dans la culture professionnelle des gestionnaires (Florentin & Denis, 2019). Il s'est notamment matérialisé à travers l'édition d'un certain nombre de guides pratiques, développés notamment par l'ASTEE (ASTEE, 2013; ASTEE, 2015).

De plus, il apparaît que, quelle que soit la démarche de gestion patrimoniale employée, une connaissance technique fine de l'état des infrastructures est absolument nécessaire (Mattersdorf, 2010). En effet, l'évaluation de la situation réelle constitue un point primordial dans le processus de la connaissance des actifs d'une part. D'une autre part, dans la bonne gestion patrimoniale du RAU. Il est donc important de définir les outils d'évaluation permettant de bien connaître et de bien gérer le réseau. C'est pourquoi plusieurs recherches ont été publiées dans le domaine d'évaluation de la gestion du service ou du réseau d'assainissement (Cardoso *et al.*, 2012; De la Fuente *et al.*, 2016; Daher *et al.*, 2018; Hawari *et al.*, 2018; Nam *et al.*, 2019; Vladeanu & Matthews, 2019). Plusieurs de ces recherches recommandent l'utilisation des outils d'évaluation basés sur le principe des objectifs, critères et indicateurs de performance. Cette approche permet, entre autres, à :

- ☞ Identifier les défaillances relevées pour programmer leur réhabilitation ;
- ☞ Rendre possible la comparaison entre les objectifs élaborés ;
- ☞ Réaliser un *benchmarking* entre les différentes unités de gestion similaires dans le pays ;
- ☞ Créer une certaine concurrence positive entre les unités de gestion ;
- ☞ Développer une clairvoyance au niveau de l'organisme national de décision politique pour l'octroi des budgets nécessaires.

Dans le cas particulier de l'Algérie, les gestionnaires du RAU (l'Office National de l'Assainissement- ONA) se trouvent confrontés de plus en plus à des problèmes de gestion de l'infrastructure du réseau (Abdelbaki & Zerouali, 2012). Réellement, les gestionnaires s'inquiètent notamment sur l'état de dégradation de leurs réseaux d'assainissement. Cette inquiétude se manifeste par une situation complexe, variante selon les villes du pays. Elle apparaît à travers plusieurs défaillances : effondrement des collecteurs, fuites des eaux usées, mauvais état structurel des ouvrages ... etc. De plus, cette situation est conjuguée avec la diversité des matériaux composant les conduites d'assainissement, à sa longueur totale et à son interaction avec d'autres réseaux publics (eau potable, gaz, électricité ... etc.) (Bedjou *et al.*, 2019). Autrement, Certaines études comme celle de Benzerra *et al.* (2012) et Boukhari *et al.* (2017) indiquent, dans le même contexte, un financement insuffisant, une réglementation obsolète et un manque de méthodologie structurée et de données sur l'évolution de la qualité de l'infrastructure du

RAU. En outre, les réseaux d'assainissement sont enterrés : « on ne les voit pas » ceci impacte directement le niveau de connaissance de leur dégradation dans le temps et le degré de prise de conscience des décideurs. Par conséquent, les gestionnaires de l'ONA ont besoin d'un outil d'aide à l'évaluation de la gestion patrimoniale de l'infrastructure des réseaux d'assainissement afin d'assurer la continuité du service aux usagers. Il est clair que cette gestion est une approche à long terme. Elle doit donc tenir compte de l'état physique du réseau et des contraintes techniques et financières.

Les enjeux scientifiques, auxquels nous sommes confrontés, sont liés à la construction d'un outil d'évaluation pouvant répondre à toutes les questions associées au contexte local. Comment développer un outil d'évaluation nécessitant peu de moyens financiers ? Comment utiliser et valoriser le peu de données disponibles ? Comment synthétiser des données de différentes natures ? ... etc. Il apparaît de ces interrogations que le modèle d'évaluation à développer doit être issu d'une approche participative, entre les différentes parties prenantes, pour favoriser son succès. En effet, différents débats doivent être organisés avec les gestionnaires de l'ONA pour retenir leurs objectifs prioritaires en fonction des moyens techniques et financiers disponibles. Le but de cette thèse est donc de développer et de tester un tel outil d'évaluation. Il s'agit plus précisément :

- D'identifier les objectifs prioritaires à mettre en œuvre pour une bonne gestion patrimoniale de l'infrastructure du RAU ;
- De construire un ensemble de critères et d'indicateurs pertinents permettant d'apprécier la performance de la gestion patrimoniale du RAU. La sélection de ces éléments de décision doit tenir en compte les spécificités locales et le budget d'investissement disponible par les gestionnaires ;
- De définir les méthodes de mesure de la performance ;
- De proposer les échelles de performance pour chaque élément de décision, en concertation avec les parties prenantes ;
- De tester l'outil sur un réseau d'assainissement concret.

Pour mener à bien cette étude, notre travail se décomposera en quatre chapitres. Le premier chapitre présente une revue historique de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains en Algérie. Au cours de ce chapitre, nous allons relater l'historique de l'ONA et ses différentes prérogatives. Par la suite, il sera question d'aborder les différentes contraintes dont font face les gestionnaires pour bien accomplir leurs tâches.

Le deuxième chapitre montre l'importance de l'évaluation dans la gestion patrimoniale des RAU ainsi que la multiplicité de ses outils. Plusieurs points seront exposés : l'intérêt de l'approche par indicateurs de performance dans l'évaluation et la nécessité de l'adoption d'une approche participative pour construire l'outil d'évaluation.

Le troisième chapitre concerne la présentation de l'outil d'évaluation que nous avons développés. En effet, nous expliquerons en détail les objectifs, critères et indicateurs liés à la thématique de la gestion patrimoniale de l'infrastructure du RAU.

Enfin, le quatrième chapitre concerne la mise en application de l'outil d'évaluation sur un cas réel, le réseau d'assainissement de la ville de Bejaia. Une interprétation des résultats est effectuée en conséquence.

Chapitre I.

Problématique de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains en Algérie

<i>I.1. Introduction</i>	4
<i>I.2. Historique de la gestion du service d'assainissement</i>	4
I.2.1. Contexte réglementaire	5
I.2.1.1. Analyse du cadre législatif	5
I.2.1.2. Analyse du cadre conceptuel et institutionnel	6
I.2.2. Modes de gestion	7
I.2.3. L'Office National d'Assainissement (ONA)	9
I.2.3.1. Historique et contexte législatif	9
I.2.3.2. Organisation de l'ONA	10
I.2.3.3. Missions et objectifs de l'ONA	10
I.2.3.4. Principales activités de l'ONA	12
<i>I.3. Contraintes des gestionnaires.</i>	13
I.3.1. Contraintes institutionnelles	13
I.3.2. Contraintes techniques	14
I.3.3. Contraintes financières	15
I.3.4. Caractéristiques et état physique du réseau	15
I.3.4.1. Dégradation de l'infrastructure	16
I.3.4.2. Différentes défaillances	16
<i>I.4. Quelle résolution pour l'ONA ?</i>	18
I.4.1. ONA : une jeune entreprise face à de grands défis	18
I.4.1.1. Moyens humains	19
I.4.1.2. Moyens matériels	20
I.4.1.3. Capacités financières	21
I.4.1.4. Capacités techniques	21
<i>I.5. Conclusion et objectifs de la thèse</i>	22

I.1. Introduction

Le Réseau d'Assainissement Urbain (RAU), comme tout autre équipement public, représente des investissements colossaux pour l'État. Leur gestion constitue un grand souci notamment pour les pays à faible revenu (Cossio *et al.*, 2020). L'État algérien a de son côté beaucoup investi depuis une trentaine d'années dans le Secteur de l'Eau (SE). Il a dans le même temps promulgué, en 1983, de nouvelles lois qu'il a modifiées et complétées en 2005. L'objectif est de rattraper les retards accumulés dans les décennies 1980 et 1990.

En dépit des efforts déployés par l'État algérien pour améliorer la gestion de l'eau, la situation est préoccupante pour le Système d'Assainissement Urbain (SAU). En effet, les gestionnaires de l'Office National de l'Assainissement (ONA) s'inquiètent sur l'état de dégradation de leurs réseaux d'assainissement. Cette inquiétude se manifeste par une situation complexe, variante selon les villes du pays. Elle apparaît à travers plusieurs défaillances : effondrement des collecteurs, fuites des eaux usées, mauvais état structurel des ouvrages ... etc.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce premier chapitre. Dans un premier ordre, nous allons passer en revue le contexte réglementaire de la gestion patrimoniale des RAU. Par la suite, nous allons relater l'historique de l'ONA et présenter son organisation territoriale et ses différentes activités.

Dans un second ordre, nous allons aborder les différentes contraintes entravant l'avancement et le développement de l'ONA. Ensuite, il serait indispensable de mettre le point sur l'état de dégradation du RAU et les différentes défaillances se rapportant à l'infrastructure du réseau.

Dans un dernier ordre, l'élaboration d'objectifs prioritaires et leur évaluation seront proposées comme solutions pour l'ONA. Les objectifs prioritaires doivent être établis en fonction d'une analyse multicritère tenant compte des spécificités locales et du budget d'investissement disponible. Enfin, nous allons examiner de près les capacités disponibles auprès de l'ONA pour qu'elle puisse atteindre ses objectifs.

I.2. Historique de la gestion du service d'assainissement

La gestion du service d'assainissement constitue une problématique d'importance croissante et une préoccupation récurrente des collectivités et gestionnaires des RAU (Aflak, 2008 ; Ahmadi, 2014). Elle vise à mener les meilleures actions sur les éléments du patrimoine. En Algérie, la gestion de ce service a cumulé des retards énormes, en raison d'une sécheresse dans les années 70 et d'une décennie noire dans les années 90. Dantez (2015) a synthétisé dans son rapport les causes de ce retard, elles sont liées essentiellement à l'histoire de l'Algérie moderne et qui sont :

- La désorganisation de l'état lors de la décennie noire accompagnée d'un exode rural a impliqué un développement spontané de quartier entier au périphérique des villes. Les services des réseaux de gaz, d'eau potable et d'assainissement ont été donc gérés dans l'urgence sans le souci d'un schéma s'ensemble ;

- L'explosion démographique et le retard pris pendant la décennie noire ont transformé le pays en un immense chantier de bâtiment et de travaux publics. De ce fait, le réseau d'assainissement récupère une grande partie des matériaux de construction, que ce soit, volontairement ou par lessivage des sols par temps de pluie ;
- La mise en place des techniques inadaptées au contexte du pays après la réconciliation civile de 1999 a engendré davantage de problèmes de gestion.

De plus, l'urbanisation précipitée et l'approche institutionnelle insuffisante rendent la gestion plus complexe (Benzerra *et al.*, 2012 ; Bedjou *et al.*, 2019). De ce fait, et pour rattraper ces retards, l'État algérien a beaucoup investi et promulgué de nouvelles lois. L'objectif était de définir une nouvelle politique nationale inspirée d'une gestion intégrée des ressources en eau afin de répondre aux différents besoins. À cet égard, les réformes du SE en Algérie se sont traduites par la création des lois propres à l'eau, dotés des cadres politiques, juridique, institutionnel et financier (Baghli, 2018).

I.2.1. Contexte réglementaire

Dans ce qui suit, nous aborderons les principales réformes liées au SE et nous allons nous focaliser particulièrement à leurs apports pour le domaine d'assainissement.

I.2.1.1. Analyse du cadre législatif

Consciente des défis à relever dans la gestion des services d'eau, l'Algérie a établi une nouvelle politique qui est passée par plusieurs étapes à savoir (Baghli, 2018) :

- La loi n°8-17 relative à l'eau du 16 juillet 1983 : a pour objet la mise en œuvre d'un Plan National de l'Eau (PNE). Cette loi prend trois orientations : usage, protection de l'eau et protection contre les effets nuisibles de l'eau ;
- En 1995, l'Algérie organise pour la première fois des assises nationales de l'eau. Suite à cette rencontre, un état des lieux et un diagnostic des systèmes de distribution et d'assainissement d'eau (branchements illégaux, vétusté des réseaux ... etc.) sont établis ;
- Dès 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir « la gestion intégrée des ressources en eau ». Cette politique est fondée sur un ensemble de réformes institutionnelles et de nouveaux instruments qui sont les agences de bassins et les comités de bassins ;
- En 1999, création du Ministère des Ressources en Eau MRE dont sa mission principale est l'application du PNE ;
- La loi n°05-12 relative à l'eau du 4 août 2005 : cette loi vient compléter celle de 1983, elle a pour objet de :
 - ✓ Améliorer le service public de l'eau et de l'assainissement ;
 - ☞ Renforcer les compétences ;
 - ☞ Améliorer la transparence de la gestion ;
 - ☞ Faciliter l'accès à l'eau aux plus démunis ;
 - ✓ Préserver et restaurer la qualité des eaux.

- En février 2007, le PNE a été adopté et il s'étale jusqu'à l'horizon 2025, il a pour objectif de garantir une bonne gouvernance de l'eau ;
- Décrets 2010-2015 : l'objectif de ces décrets est de fixer les modalités d'élaboration, d'approbation, de mise en œuvre, d'évaluation et d'actualisation du PNE ;
- Plans quinquennaux de 2015 jusqu'à l'horizon 2030 : l'objectif est d'apporter des ajustements structurels, institutionnels et financiers nécessaires pour une gestion durable des services publics. Nous distinguons essentiellement :
 - ✓ Plan quinquennal 2015-2019 : parmi les objectifs de ce plan est la prise en charge du volet d'assainissement. En effet, il est prévu la réalisation de 60 STEP et lagunes d'une capacité épuratoire de 4 millions équivalent habitant, ainsi que 6000 km de collecteurs, des travaux de protection de 200 localités contre les inondations et l'aménagement de 300 km de lit d'oued ;
 - ✓ La stratégie du PNE à l'horizon 2030 : parmi les objectifs de cette stratégie :
 - ☞ La réhabilitation et l'extension des systèmes d'Alimentation en Eau Potable (AEP), d'assainissement et de protection contre les inondations pour généraliser l'accès à l'eau, améliorer le cadre de vie et préserver les ressources hydriques ;
 - ☞ La mise en œuvre d'une gestion patrimoniale des infrastructures hydrauliques pour assurer leur durabilité et optimiser la performance des opérateurs de gestion de l'eau.

I.2.1.2. Analyse du cadre conceptuel et institutionnel

La nouvelle hiérarchie dans l'administration de l'eau est caractérisée particulièrement par la décentralisation et la régionalisation des services publics (Baghli, 2018). La figure I-1 synthétise l'organisation administrative comprenant :

1. Ministère des Ressources en Eau (MRE) : appelée aussi l'administration centrale, elle se compose de 9 directions et elle est la principale responsable de la politique de l'eau. Sa compétence s'étend à l'ensemble des activités relatives à l'exploitation, la recherche, la distribution de l'eau pour tous les usagers et à l'assainissement (Benblidia, 2011 ; Bedjou, 2020). Le MRE a pour mission de mettre en œuvre le PNE et d'assurer une gestion efficiente (Drouiche *et al.*, 2012 ; Morgan & Ghosn, 2013) ;
2. L'administration déconcentrée : constituée de 48 Directions des Ressources en Eau (DRE), elles s'occupent de la maîtrise d'ouvrage des projets hydrauliques déconcentrés et la maîtrise d'œuvre des projets décentralisés au niveau communal (Baghli, 2018) ;
3. Les établissements publics sous tutelle : en 2001 des réformes institutionnelles ont modifié en profondeur les établissements publics à compétence nationale qui sont sous la tutelle du MRE :
 - Les agences ayant pour mission de mettre en œuvre les programmes nationaux d'évaluation des ressources en eau et les systèmes de gestion intégrée de l'eau à l'échelle des bassins hydrographiques (ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques, ABH : Agence des Bassins

Hydrographiques et AGIRE : Agence de Gestion Intégrée des Ressources en Eau);

- Les agences ayant pour mission de développer les infrastructures et de gérer les services de l'eau, de l'assainissement et de l'irrigation (ADE : Algérienne des Eaux, ONA : Office National d'Assainissement, ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts, ONID : Office National de l'Irrigation et Drainage);
- L'Assemblée Populaire Communale (APC) ayant un rôle dans l'octroi des concessions et de partenariat entre le secteur public et le secteur privé.

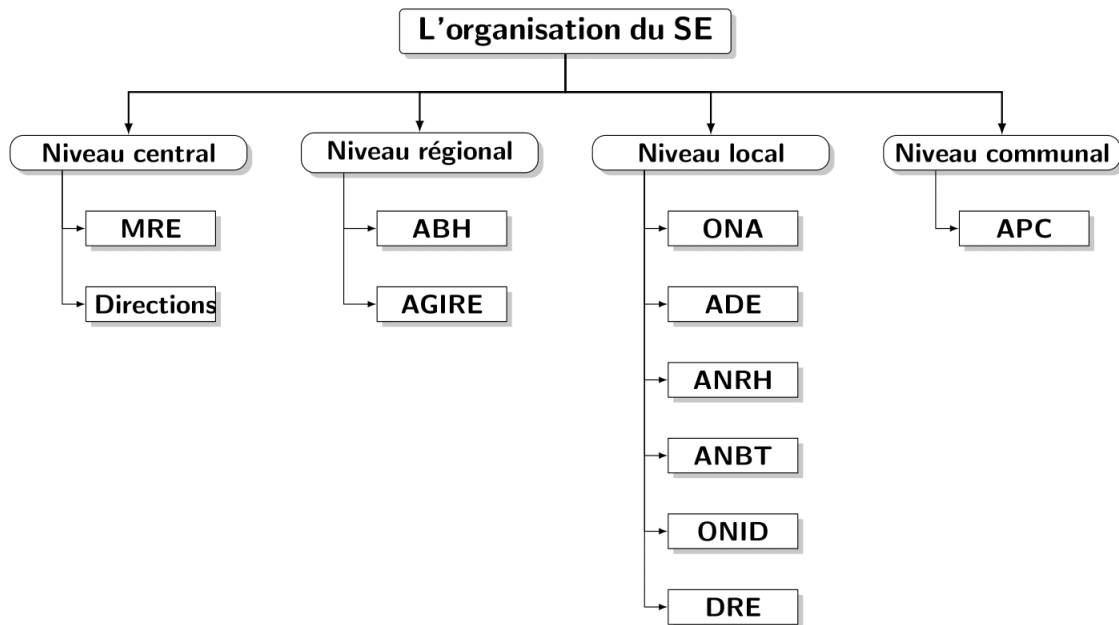


Figure I-1 : L'organisation administrative du SE.

I.2.2. Modes de gestion

Les modes de gestion sont nombreux, et leurs choix peuvent ainsi être compliqués. Il est donc utile de se demander quels sont les différents modes de gestion du service public d'eau, mais surtout de savoir comment les classer et comment ils fonctionnent. Dans le domaine d'AEP et d'assainissement, nous distinguons essentiellement deux modes de gestion, à savoir ; la gestion directe et la gestion déléguée et un modèle de Partenariat Public-Privé (PPP).

1. La gestion directe : nous parlons d'une gestion directe lorsque la collectivité exploite elle-même son service avec son personnel. Elle assure le suivi, l'entretien des équipements et la gestion du patrimoine. Selon Cheraba (2012) la gestion directe peut-être assurée selon les mécanismes juridiques suivants :

- La régie simple : c'est le mode le plus ancien en matière de gestion. Le patrimoine est géré et exploité par la collectivité elle-même, avec ses propres moyens. Le service n'a aucune autonomie ni d'organe de gestion ni de personnalité juridique propre ;

- La régie autonome : est une régie qui est dotée de l'autonomie financière sans la personnalité morale, son organisation administrative et financière est déterminée par délibération du conseil municipal et elle est administrée sous l'autorité du maire ;
 - La régie personnalisée : contrairement à la régie autonome, la régie personnalisée est dotée à la fois de l'autonomie financière et de la personnalité morale. Elle est désignée dans les mêmes conditions que la régie autonome.
2. La gestion déléguée : on entend par gestion déléguée ou indirecte, toute gestion assurée par une personne autre que la collectivité. Cette personne est le plus souvent de droit privé (entreprise) mais peut aussi être une personne publique. Autrement dit, la gestion déléguée se manifeste lorsque la personne publique, qui a la responsabilité d'un service public d'intérêt général, confie à une autre personne publique ou privée, par voie contractuelle, le soin de gérer ou d'exploiter ce service (Cheraba, 2012). Nous distinguons deux catégories de contrat, à savoir, la concession et l'affermage.
- La concession : c'est un contrat de gestion par lequel une collectivité publique confie à une personne (le plus souvent privée) la responsabilité de la gestion et de l'exploitation d'un ouvrage public ;
 - L'affermage : c'est un contrat par lequel la personne publique responsable du service public charge un tiers, appelé fermier, de gérer le service public. Celui-ci diffère essentiellement de la concession par le fait que le fermier ne supporte pas les charges de l'investissement, il y'a donc une distribution relativement équitable des charges et des gains.
3. Le partenariat public-privé : selon Hadjar (2014), le PPP est un contrat de coopération sous forme d'un accord formel entre au moins deux partenaires l'un public, l'autre privé, conclu dans le cadre d'une collaboration en partenariat. Il implique nécessairement un partage d'expertises et d'objectifs. Il s'aligne au mieux sur les besoins du partenaire public (infrastructures, acquisition de savoir-faire), et du partenaire privé (pénétration de nouveaux marchés) dans un principe de gain mutuel. La réussite d'un PPP dépend aussi de la comptabilité des objectifs et des intérêts des acteurs du partenariat, qui doivent se marier dans un projet « gagnant-gagnant » permettant de satisfaire chacun d'eux et le citoyen.

Les pouvoirs publics en Algérie ont opté pour une gestion et un financement public de l'eau. Cette option est due en premier lieu aux caractéristiques propres de ces services et à l'appartenance des ressources en eaux au domaine public de la collectivité (Ahmane, 2014). De plus, il y'a une réticence des autorités publiques vis-à-vis la gestion de ces services par le secteur privé (Benblidia & Thivet, 2010). Cette méfiance est due aux quelques échecs du PPP marqués dans les pratiques comparées et aussi à la volonté de l'état de financer le SE. Tout cela rend, théoriquement, la gestion publique le moyen le plus approprié pour la gestion des services publics. Elle est à ce jour, dominante en Algérie. Pour cela, le service public de l'assainissement est géré soit par voie de régies communales, soit par l'établissement public à caractère industriel et commercial (ONA).

I.2.3. L'Office National d'Assainissement (ONA)

Le caractère urgent des aménagements urbains provoqué par la croissance démographique rapide a poussé les différents acteurs du domaine d'assainissement à agir vite et indépendamment les uns des autres. De plus, il n'y a aucune coordination efficace ayant le souci de préserver la qualité des infrastructures urbaines et de l'environnement. Ajoutons à cela, le retard accumulé durant la décennie noire accompagnée d'une urbanisation incontrôlée, l'Algérie fait face à une situation très complexe dans le domaine de l'assainissement. En 2001, le constat des grandes villes est alarmant, en moyenne, seul 7 % des habitants sont réellement raccordés à la station d'épuration (Dantez, 2015).

À ce titre, le secteur de l'assainissement a connu une transformation majeure avec la création, en 2001, de l'Office National de l'Assainissement (ONA) qui étend sa compétence sur l'ensemble du territoire algérien.

I.2.3.1. Historique et contexte législatif

Placé sous la tutelle du MRE, l'établissement public de l'ONA constitue la clé essentielle dans la gestion du réseau d'assainissement, pour son caractère industriel et commercial (EPIC). Cette entreprise a été créée le 21 avril 2001 par décret exécutif n° : 01-102. Ce décret précise les missions de l'ONA ainsi que les modalités de financement (ONA, 2018).

Par la suite, un autre arrêté qui fixe les charges et les sujétions de l'ONA c'est l'arrêté interministériel du 28 décembre 2002. L'article 9 de cet arrêté précise qu'« une contribution de l'État est allouée annuellement à l'office pour couvrir le différentiel entre la recette générée par l'application des tarifs imposés par l'État et les coûts réels d'exploitation tenant compte des paramètres de gestion admissible ».

Plus tard, le décret exécutif n° 05-13 du 2 au 9 janvier 2005 a fixé les règles de tarification des services publics d'AEP et d'assainissement. Ce décret est essentiel pour préciser les bases sur lesquelles l'ONA peut asseoir son équilibre financier. Il a été complété par les deux décrets exécutifs du 10 avril 2005 et du 27 septembre 2007 portant sur les modalités de tarification.

Plusieurs autres décrets encadrent des mesures techniques sont principalement :

- Le décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.
- Le décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.

Cet office se substitue à l'ensemble des organismes publics, nationaux, régionaux et locaux en charge du service public de l'assainissement, notamment : l'agence nationale de l'eau potable et de l'assainissement, les établissements publics nationaux à compétence régionale de gestion de l'assainissement et les régies et services communaux de gestion des systèmes d'assainissement (Benzerra, 2016).

Selon les données actualisées sur le site officiel de l'ONA (ONA, 2020), le nombre total des communes gérées est de 1147 communes, soit un nombre de 268 centres opérationnels au niveau de 44 wilayas. Les quatre grandes villes, à savoir, Alger, Oran, Constantine et

Annaba sont concernées par le PPP. Des sociétés par actions ont été créées dans ces villes. L'actionnariat est exclusivement constitué de fonds publics et répartis, à parts égales, entre l'ONA et l'ADE. L'état demeure, ainsi, propriétaire des réseaux, il est, également, seul décideur en matière de tarification. Le partenaire étranger apporte donc son expertise pour manager les entités de gestion. L'objectif est l'amélioration des indicateurs de gestion et le transfert de savoir-faire.

Le linéaire total du réseau exploité par l'ONA est de 55281 km avec 621081 ml de conduites curés et 971 ml de conduites renouvelées. L'ONA exploite également 154 stations d'épurations et 499 stations de relevage. Les capacités installées des STEP sont de 10390779 millions équivalent habitant avec 21 millions de m³ de volume mensuel des eaux épurées.

I.2.3.2. Organisation de l'ONA

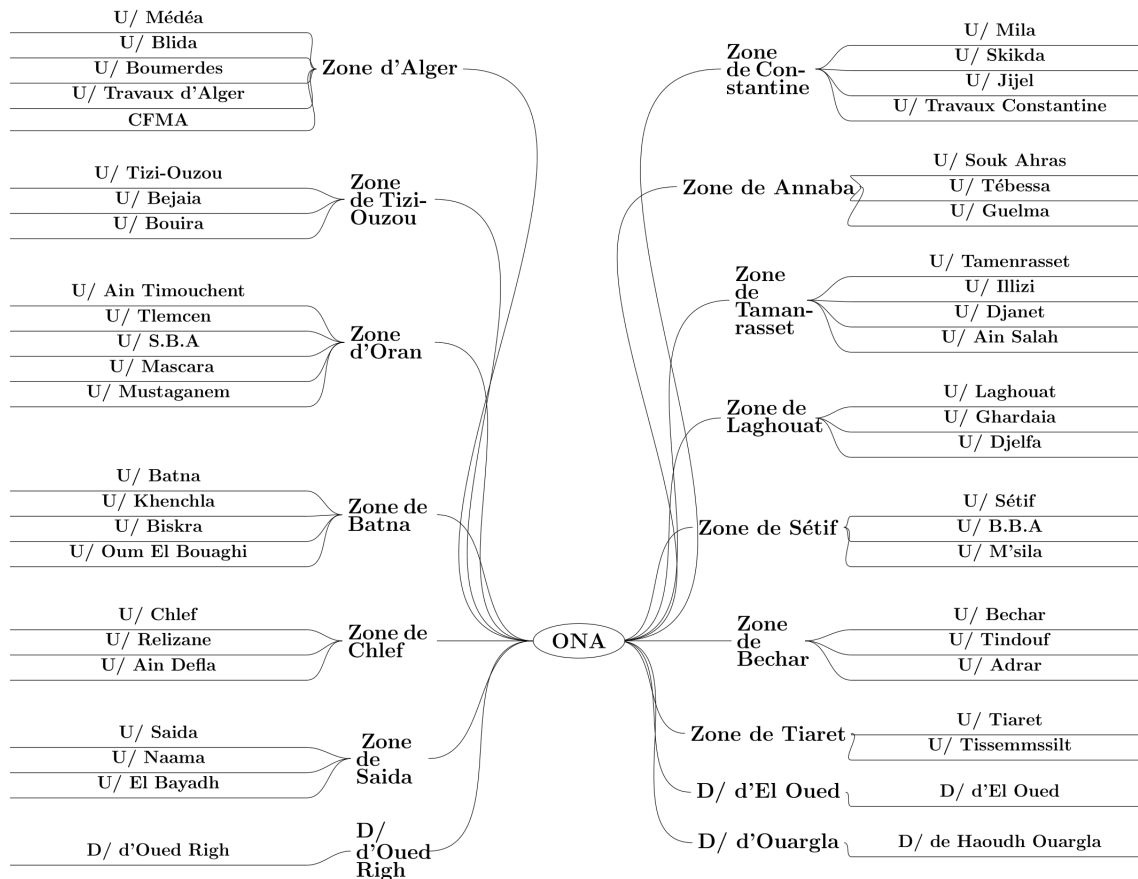
L'ONA est doté d'un conseil d'orientation et de surveillance et est dirigé par un directeur général. Son organisation administrative a été spécifiée dans plusieurs textes : l'arrêté du 30 novembre 2006 portant approbation de l'organisation interne de l'ONA et la décision n°204/DG/ONA/KH/2008 du 19 octobre 2008 relative au réaménagement de l'organisation territoriale de l'ONA (Dantez, 2015). L'ONA comprend 6 directions centrales chargées respectivement de l'administration et des finances, des ressources humaines et de la formation, de l'exploitation et de la maintenance, des études et travaux, du patrimoine et des moyens généraux et enfin de la réglementation et de la gestion déléguée. En plus de 3 directions d'assainissement et 13 zones (Figure I-2). L'ONA dispose également d'un laboratoire central, d'un centre de Formation aux Métiers de l'Assainissement (CFMA), d'une cellule centrale d'Hygiène, Santé, Sécurité et Environnement « HSE » créée par la décision n°036/DG/ONA/KH/2012 du 29 mars 2012. Cette cellule est chargée de coordonner, d'orienter et de contrôler l'ensemble des activités en matière d'Hygiène et du travail de l'environnement (ONA, 2020).

I.2.3.3. Missions et objectifs de l'ONA

Dans le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale de l'assainissement, l'ONA est chargé sur le territoire national de la construction des infrastructures d'assainissement, ainsi, de la maintenance, de l'exploitation et de la réhabilitation (Boukhari, 2018). Il assure :

- La protection et la sauvegarde des ressources et environnements hydriques ;
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique ;
- La préservation de la santé publique.

L'ONA assure également pour le compte de l'état, la maîtrise d'ouvrage et d'œuvre déléguée concernant les projets d'études, de diagnostic du réseau d'assainissement et des stations d'épuration. L'office est chargé également selon ONA (2020) de :



U : Unité et D : Direction

Figure I-2 : Organisation de l'ONA.

- Proposer au ministère de tutelle les mesures d'encouragement de l'état ou les incitations à caractère technique ou financier dans le domaine de l'assainissement ;
- Entreprendre toutes actions de sensibilisation, d'éducation, de formation ou d'étude et de recherche dans le domaine de la lutte contre la pollution hydrique ;
- Prendre en charge, éventuellement, les installations d'évacuation des eaux pluviales dans ses zones d'intervention pour le compte des collectivités locales ;
- Proposer à l'autorité de tutelle la politique de tarification et de redevances dans le domaine de l'assainissement et veiller à son application.

Enfin, l'office est chargé des missions opérationnelles suivantes :

- Établir le cadastre des infrastructures de l'assainissement et en assurer sa mise à jour ;
- Élaborer les schémas directeurs de développement des infrastructures d'assainissement relevant de son domaine d'activité.

Parmi les objectifs de l'ONA :

- Évaluer et inventorier le patrimoine existant ;
- Réhabiliter et réparer le réseau ;

- Mettre en place des outils modernes de gestion ;
- Améliorer la performance du service ;
- Étudier les ressources, enjeu environnemental : 99 % des eaux usées non traitées sont déversées dans la mer.

I.2.3.4. Principales activités de l'ONA

Les principales activités de l'ONA se trouvent sur le site officiel de l'office (ONA, 2020). Elles se résument en :

1. Exploitation et maintenance : les réseaux d'assainissement font l'objet de visites et de curages périodiques. L'entretien des ouvrages annexes comprend notamment : le curage des avaloirs et regards, l'entretien des bassins de retenue, des déversoirs d'orage, des postes de relèvement, des eaux usées et des branchements, ainsi que l'exploitation des stations d'épuration et des stations de relevage. Une exploitation efficace du réseau suppose un travail d'entretien rigoureux et permanent du personnel qualifié du service d'assainissement ;
2. Contrôle : L'épuration des eaux usées fait l'objet d'un contrôle régulier de la part d'ONA. Ce contrôle consiste en une série de mesures pratiquées par les exploitants des stations d'épuration. Elle permet de mesurer l'efficacité de l'épuration, de s'assurer du respect des normes de rejets, d'éliminer ou d'évacuer les sous-produits de l'épuration (boues, graisses ... etc.) et de détecter les éventuelles anomalies de fonctionnement de l'installation ;
3. Sensibilisation : L'ONA considère la sensibilisation de la population à la préservation de l'environnement hydrique comme une de ses priorités. L'objectif est de convaincre l'opinion publique de la nécessité de lutter contre le gaspillage et la pollution de cette ressource vitale qu'est l'eau ;
4. Formation : Le CFMA dont dispose l'ONA a pour tâche principale de combler l'écart entre les compétences disponibles sur le marché de l'emploi et les exigences spécifiques de l'activité de l'ONA. Les stages de formation sont axés notamment sur :
 - Connaissance du réseau d'assainissement (cartographie) ;
 - Visite, auscultation et curage du réseau d'assainissement ;
 - Exploitation des STEP (règles de base et normes du métier) ;
 - Maintenance électromécanique des équipements des STEP et des stations de relevage ;
 - Laboratoire assainissement/environnement : les analyses de base en épuration, contrôle de la conformité des rejets ... etc.
5. Hygiène et sécurité : L'activité assainissement génère des risques spécifiques à travers les différentes infrastructures d'exploitation. À cet effet, l'ONA a fait de l'hygiène, la santé et la sécurité du personnel en milieu professionnel un de ses axes principaux de sa stratégie. Pour cela, elle a procédé à :
 - La mise en place de la HSE ;

- L'installation de 50 coordinateurs chargés de l'encadrement des activités HSE dans les unités/directions d'assainissement à travers les 44 wilayas du territoire national ;
- La mise à la disposition du personnel opérationnel des équipements d'opération individuelle et collective conformes aux exigences internationales de santé et de sécurité du travail ;
- Des conventions locales avec les services de médecine de travail sont conclues pour la prise en charge des travailleurs en matière de campagne de vaccination et de suivi médical.

I.3. Contraintes des gestionnaires

Le service d'assainissement en Algérie souffre de beaucoup d'insuffisances qualitatives et quantitatives et les gestionnaires sont confrontés à de nombreuses contraintes de nature institutionnelle, technique et financière (Boukhari, 2018 ; Boukhari & De Miras, 2019). Toutes ces difficultés persistantes et d'insuffisance entravent davantage une gestion efficace du service d'assainissement (Benblidia & Thivet, 2010).

I.3.1. Contraintes institutionnelles

Les chercheurs algériens (Cherrared *et al.*, 2007 ; Benzerra, 2016 ; Boukhari, 2018 et Bedjou, 2020) ont souligné dans leurs travaux que le facteur réglementaire constitue une contrainte pesante dans la bonne gestion du SAU. Ils distinguent essentiellement deux principales causes : (i) Instabilité organisationnelle et institutionnelle et (ii) inadéquation des systèmes juridiques et réglementaires.

- i. Instabilité organisationnelle et institutionnelle : Le service d'assainissement en Algérie a été géré par plusieurs organismes dont les statuts et les dimensions diffèrent d'une institution à une autre. Cela a favorisé une dilution des responsabilités et un manque flagrant de prise en charge des aspects techniques (Benzerra, 2016 ; Bedjou, 2020). De plus, la multiplicité des acteurs locaux en lien avec l'assainissement ne permet pas une cohérence de l'ensemble dans la mesure où chaque organisme défend son territoire d'action sans concertation et donc sans vision d'ensemble (Dantez, 2015). Une collaboration entre les différents services responsable devient une nécessité très difficile à concrétiser sur le terrain (Bedjou, 2020) ;
- ii. Inadéquation des systèmes juridiques et réglementaires : les différents textes, arrêtés et circulaires élaborés depuis l'indépendance de l'Algérie à ce jour étaient en perpétuel changement (Hamchaoui, 2017). Ces modifications récurrentes des lois sont dues aux crises qui secouent le pays, aux évolutions économiques du pays et au changement de responsables. Ces textes élaborés n'ont joué aucun rôle pratique sur le terrain et ils ne semblent pas donner les résultats escomptés (Boukhari & Djebbar, 2011 ; Benzerra, 2016). La mise en place d'un système législatif clair et complet, un renforcement de contrôles techniques et judiciaires sont des actions essentielles pour une meilleure gestion du SE globalement et du SAU particulièrement.

I.3.2. Contraintes techniques

La contrainte de nature technique constitue un frein dans le développement du secteur d'assainissement en Algérie. Dans ce qui suit, nous allons juste énumérer l'essentiel des contraintes dont font face les gestionnaires d'ONA.

- i. Méconnaissance du réseau : les gestionnaires de l'ONA dans la plupart des villes Algériennes ne disposent que d'informations limitées sur le RAU, leur connaissance du réseau est quasi nulle (Dantez, 2015). En effet, les plans à disposition de l'ONA sont obsolètes et ne couvraient que de très petites zones géographiques. Cette méconnaissance du réseau induit à de nombreux problèmes de diagnostic et de gestion ;
- ii. Inaccessibilité du réseau : la méconnaissance du réseau signalée précédemment est intimement liée avec une accessibilité limitée au réseau. En effet, une bonne partie du réseau n'est pas accessible, en raison soit, du problème de recouvrement des regards par le bitume lors de la réfection de la chaussée, soit d'un problème inhérent aux regards eux-mêmes. Ces spécificités conduisent parfois à des longueurs importantes de réseaux sans accès visible, avec des connexions invisibles (Bedjou, 2020) ;
- iii. Incompétence du personnel : le personnel le plus compétent tend à quitter l'établissement, à cause des contraintes financières et à de faibles salaires. En effet, l'ONA se trouve incapable de recruter, de motiver et de garder son personnel qualifié (Boukhari & Djebbar, 2011) ;
- iv. Absence d'une base de données fiable : il est clair que cette contrainte est l'une des raisons de la méconnaissance du réseau. En effet, une bonne gestion du RAU repose sur une connaissance fiable et détaillée du patrimoine (Werey *et al.*, 2012). Les structures responsables de la production des données ne disposent pas d'un système d'information structuré et les données sont stockées sous format papier (Benzerra, 2016). La mise en place d'une procédure efficace de collecte et d'archivage de l'information relative au SAU est primordiale ;
- v. Limitation du matériel et des moyens technologiques : aujourd'hui le secteur d'assainissement exige des appareils de mesure très sophistiqués pour une bonne connaissance du réseau. L'inspection télévisée (ITV) est l'un des instruments de suivi privilégié des gestionnaires pour suivre l'état de santé des actifs (Buco, 2007). Ces instruments se trouvent uniquement au niveau des zones, faute de moyens financiers. Cela veut dire que dans le cas où une unité d'ONA a besoin d'effectuer une ITV, celle-ci doit faire une demande auprès de la direction de la zone dont elle fait partie pour se procurer des appareils nécessaires. Cependant, les responsables de ces zones ne répondent pas toujours favorablement aux demandes faites. Cela revient à l'utilisation de ces appareils par une autre unité, ou bien ils sont en pannes. Bedjou, (2020) a souligné également que les programmes d'investissement colossaux consentis par les autorités depuis 2000 n'ont pas associé les techniques de télécommunication, de l'informatique et du numérique au secteur d'assainissement. Tout ce retard au plan technologique ne fait que freiner le progrès de la gestion des systèmes d'assainissement ;
- vi. Manque de communication et de coordination entre les différents organismes : l'ONA est le gestionnaire du RAU, mais l'APC reste le propriétaire principal de ce

réseau. De ce fait, une coordination entre ces deux organismes et bien d'autres s'impose. Cette absence de coordination peut être expliquée par la non-programmation des réunions périodiques entre les parties concernées et la non-rigourosité des responsables.

I.3.3. Contraintes financières

Après la création d'ADE et d'ONA, le problème de leurs financements s'est posé (Bedjou, 2020). En effet, ces deux établissements ont une autonomie limitée sur les pratiques commerciales. Ils ne peuvent pas prendre des décisions concernant la tarification (Boukhari & Djebbar, 2011). De plus, et pour toutes décisions concernant les ressources humaines, les niveaux de salaire et la structure organisationnelle, ils doivent d'abord obtenir l'accord de la direction générale (Boukhari & Djebbar, 2011). La situation est encore plus délicate pour l'ONA puisqu'elle n'arrive même pas à récupérer la redevance d'assainissement de 20 % récoltée par les établissements de l'eau et qui est destinée à financer l'entretien des réseaux (Cherrared *et al.*, 2007). Il y'a lieu de préciser également que l'ONA finance principalement ses activités grâce aux redevances d'assainissement, aux recettes des produits d'exploitation des réseaux et aux aides de l'État (Benzerra, 2016). Ces contributions financières sont loin de suffire toutes les exigences que nécessite une gestion efficace et efficiente du service d'assainissement. L'obtention donc d'un autofinancement est plus que nécessaire pour le développement de l'ONA (Benzerra, 2016 ; Bedjou, 2020).

À titre d'exemple, les ratios directs d'exploitation des systèmes d'assainissement gérés par l'ONA pour le mois d'Octobre 2019, sont estimés à plus de 15 DA/ m³ assaini (ONA, 2020), le tableau suivant montre la répartition de ces ratios.

Tableau I-1 : La répartition des ratios d'exploitation du SAU.

Activité	Ratio (DA/m³)
Collecte	3.81 DA/m ³ rejeté
Relevage	4 DA/m ³ relevé
Épuration	7.53 DA/m ³ épuré
Ratio total (DA/m ³)	15.33 DA/m ³ assaini

I.3.4. Caractéristiques et état physique du réseau

Le réseau d'assainissement constitue, par définition, un ouvrage collectif. Il impose une interdépendance de différentes parties du milieu urbain en raison de son interaction avec d'autres réseaux publics (Rogers *et al.*, 2012; Bedjou *et al.*, 2019). Le caractère souterrain et le besoin en investissement lourd représentent deux caractéristiques majeures dans la gestion des systèmes d'assainissement (Triantafillou, 1987). En effet, toutes ces caractéristiques rendent la tâche de la gestion du RAU encore plus compliquée. De plus, et d'après Benzerra (2016), l'ONA a hérité d'un patrimoine d'infrastructures assez dégradé. Même si, les chiffres communiqués par les autorités et les médias algériens nous portent à croire que le RAU se trouve en bonne santé. En effet, l'Algérie dispose du deuxième meilleur taux d'accès à l'assainissement du continent africain avec près de 95 % de la population utilisant des installations d'assainissement

(Dantez, 2015). Ce taux de raccordement relativement élevé ne traduit pas l'état réel de dégradation auquel se trouve le RAU de la plupart des villes Algériennes. Faire donc le point sur l'état structural réel du RAU est l'une des conditions importantes pour la mise en place de procédés visant la prolongation de sa durée de vie (Mailhot *et al.*, 2000).

I.3.4.1. Dégradation de l'infrastructure

Il existe plusieurs définitions de la dégradation de l'infrastructure. Pour Triantafillou (1987), le terme "dégradation" est couramment utilisé pour caractériser le mauvais état du réseau, ou mieux, c'est le fait que le réseau ne réussisse pas à remplir son rôle. Aflak (1994) a proposé la définition suivante : « *la situation du réseau technique paraît dégradée lorsque les différences deviennent, ou risquent de devenir, inacceptable entre les performances réelles des fonctions de ce réseau et les objectifs souhaités de son service dans le contexte d'une époque donnée* ».

Une autre définition donnée par Bengassem (2001) et Ennaouri (2010), nous semble intéressante : « *un réseau d'assainissement est dit dégradé lorsqu'il est incapable d'assurer les conditions nécessaires à la réalisation des objectifs qui lui sont assignés. La dégradation est quantifiée par l'écart existant entre l'état réel (performance actuelle) et l'état prévu (performance optimale)* ».

Pour ce qui est de la notion de défaillance ou de dysfonctionnement, il est généralement difficile de les définir, et ce pour deux raisons principales (Bou Nader, 1998 ; Bedjou, 2020) :

- Les usagers sont à l'amont d'un réseau qui fonctionne de façon gravitaire, et les défauts ne produisent pas (sauf dans des cas extrêmes d'effondrement) de désordres observables en surface ;
- La caractérisation d'un dysfonctionnement qui produirait des impacts sur le niveau de service (débordement, inondation) ou sur le milieu récepteur (pollution) ne peut se faire qu'au niveau de l'ensemble du réseau ou d'un sous-système au moins : c'est un réseau ou un sous-système qui produit ce type de dysfonctionnement.

Il apparaît des définitions précédentes qu'il existe principalement deux types de dégradations ou de défaillances : structurales et fonctionnelles. Les défaillances structurales affectent plus ou moins le fonctionnement d'un réseau d'assainissement, elles sont susceptibles d'amplifier les anomalies fonctionnelles qui leur sont très étroitement rattachées (Dion, 2006). Un troisième type de défaillance qui n'apparaît pas dans les définitions données bien qu'il soit aussi important, il s'agit de la défaillance environnementale. Cette dernière se produit lorsqu'il y'a un déversement de pollution d'un RAU sur le milieu naturel (Kessili, 2016). Dans ce qui suit, nous n'allons pas traiter les causes de ces dégradations, mais nous allons juste aborder en quoi consiste ces différentes défaillances.

I.3.4.2. Différentes défaillances

Plusieurs travaux de recherche ont porté sur la détection des défaillances structurales des RAU (Younis & Knight, 2010b ; Kuliczowska, 2016 ; Elmasry *et al.*, 2018 ; Caradot, 2019). Ces recherches sont basées essentiellement sur les ITV ou les CCTV (Closed Circuit

Television) utilisées lors des campagnes d'inspection et d'auscultation pour définir l'état structurel des réseaux. Dans le tableau I-2, nous donnerons les principales défaillances ou désordres qui peuvent survenir à la structure des canalisations telles qu'elles sont donnés par Bucu (2007). La plupart de ces défaillances surviennent dans les RAU des villes algériennes.

Tableau I-2 : Liste des désordres se rapportant à la structure de la canalisation (Bucu, 2007).

Désordre	Description norme EN 13508
Ovalisation	La section transversale de la canalisation a été déformée par rapport à sa forme initiale.
Fissure	Ouverture limitée sans déplacement apparent. Peut-être ouverte ou fermée; peut être circulaire, longitudinale ou multiple.
Rejet	Trois types : A- parties de parois déplacées mais non manquantes, B- parties de parois manquantes et C- perte totale de l'intégrité structurelle.
Dégradation de surface	La surface de la canalisation était endommagée par attaque chimique (y compris la corrosion des conduites métalliques) ou par action chimique.
Branchement pénétrant	Une conduite de raccordement fait saillie dans la canalisation, obstruant ainsi partiellement la section transversale.
Raccord défectueux	Raccord ou branchement défectueux.
Joint d'étanchéité apparent	Tout ou partie du matériau utilisé pour rendre étanche un assemblage entre deux conduites adjacentes fait saillie dans la canalisation.
Déplacement d'assemblage	Déplacement relatif des conduites adjacentes par rapport à la position prévue (déplacement longitudinal supérieur à 10 mm).
Défaut de revêtement	Le revêtement de la canalisation est défectueux.
Réparation défectueuse	Après une réparation réalisée sur le branchement ou le collecteur, ce dernier présente un défaut.
Canalisation poreuse	Le matériau de la conduite est détecté comme poreux (par exemple, en raison d'un défaut de fabrication).
Sol visible par le défaut	Le sol hors de la conduite est visible par le trou laissé par le défaut.
Vide visible par le défaut	Un vide hors de la conduite est visible par le trou laissé par le défaut.
Briquetage	Les éléments de maçonnerie de la structure en briques ou en éléments de maçonnerie se sont déplacés par rapport à leur position initiale.
Mortier manquant	Tout ou partie du mortier du briquetage ou de la maçonnerie est manquant (e).
Défaut de soudage	Défaut de soudage dans la structure de la canalisation.

Contrairement aux défaillances structurales, très peu d'études ont été menées sur les défaillances fonctionnelles. Ces dernières sont affectées par un certain nombre de facteurs tels que la profondeur, l'emplacement de la conduite et le type de sol (Kessili, 2016). Le tableau I-3 rapporte huit (8) principales défaillances fonctionnelles avec leurs descriptions selon la norme EN 13508. Autres études Dion (2006) et Sebti (2011) ont abordé les défaillances environnementales. Ces travaux se sont intéressés essentiellement aux pratiques destinées à l'amélioration de la performance environnementale.

Tableau I-3 : Liste des désordres se rapportant au fonctionnement de la canalisation (Buco, 2007).

Désordre	Description norme EN 13508
Racines	Racines d'arbres ou d'autres plantes poussant dans la canalisation.
Dépôts adhérents	Matériau attaché à la paroi de la canalisation.
Dépôt	Dépôts de matériau sur le radier de la canalisation.
Entrée de terre	Le sol des terrains environnants pénètre dans la canalisation.
Autres obstacles	Des objets dans la canalisation viennent obstruer la section transversale.
Infiltration	Pénétration d'eau de la nappe phréatique.
Exfiltration	Fuite visible de la canalisation.
Vermine	Présence de vermine.

I.4. Quelle résolution pour l'ONA ?

À travers toutes les difficultés et les contraintes déjà citées, l'ONA est mise face à de grands défis. Pour cela, l'ONA devra trouver sa propre voie en fonction de ses capacités de développement, de ses priorités et du contexte dans lequel elle évolue. Selon Benzerra (2016), la résolution de ces problèmes doit inclure trois étapes primordiales :

- i. l'établissement du constat : il faudra identifier toutes les défaillances en matière de gestion du SAU relatives au système physique et à l'organisme de gestion ;
- ii. l'élaboration d'objectifs prioritaires : il faudra établir un consensus avec toutes les parties prenantes afin de parvenir à un processus de planification et de prise de décision ;
- iii. l'importance d'une évaluation régulière : il faudra faire un bilan sur le niveau des objectifs fixés et sur l'éventualité de changer certains détails en fonction des buts visés ou à atteindre.

I.4.1. ONA : une jeune entreprise face à de grands défis

L'un des plus grands défis de l'ONA est la réalisation des objectifs du programme de développement durable (ODD) à l'horizon 2030. L'agenda 2030 constitue désormais le nouveau cadre de développement international visant à faire face, durant les prochaines années, aux défis de la planète. Cet agenda avec ses 17 objectifs et 169 cibles, consacre à travers le sixième objectif « *ODD6 : Garantir un accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau* » un intérêt particulier au développement du secteur d'assainissement. La concrétisation de ces projets par l'ONA exigera la réunion de plusieurs conditions. L'amélioration de la gestion du SAU, la protection contre les inondations et la préservation de l'environnement représentent le triplet principal sur lequel l'ONA axe tous ses efforts afin de relever des défis au centre d'enjeux politiques et socio-économiques (Benzerra, 2016). Le tableau I-4 rapporte 7 conditions nécessaires afin que l'ONA puisse atteindre les ODD. Plusieurs de ces conditions sont extraites du rapport de l'analyse de la situation de l'hygiène et de l'assainissement dans 32 pays africains (Bedaumra *et al.*, 2008).

Tableau I-4 : Les 7 conditions pour atteindre les ODD.

1/ Faire du SAU une priorité politique : très peu de progrès seront réalisés si le SAU ne figure pas dans les priorités de l'Etat. Il faudra donc un engagement clair et une volonté politique suffisante qui doit se traduire en actes.
2/ Développer des politiques et des stratégies efficaces : il existe un besoin clairement identifié pour des politiques et des stratégies nouvelles, efficaces et qui puissent être mises en œuvre rapidement. Ceci implique la nécessité de s'attaquer aux différents obstacles qui peuvent freiner le développement du domaine d'assainissement.
3/ Développer des stratégies durables de financement : comme déjà expliqué dans I.3.2, le financement du secteur doit être amélioré quantitativement et qualitativement. L'obtention d'une indépendance financière est fondamentale pour le développement du secteur.
4/ Préparer des plans d'action réalistes : il est indispensable de reconnaître l'importance d'une approche fondée sur la programmation des plans d'action. Les activités à mettre en œuvre doivent être dans le cadre des politiques et/ou stratégies nationales.
5/ Évaluer les impacts et mesurer les progrès : mesurer les progrès accomplis en matière d'assainissement ne signifie pas seulement suivre la construction des infrastructures, mais aussi, et surtout prendre en considération toutes les dimensions du développement durable, à savoir, sécuritaire, économique, sociale, humaine et environnementale. Une telle démarche ne peut être entreprise sans établir un lien entre le secteur d'assainissement et le reste des secteurs concernés.
6/ Renforcer les capacités du secteur en ciblant les acteurs locaux : le renforcement des capacités doit être une priorité et l'accent devrait être mis sur l'apprentissage et le partage des connaissances et non pas seulement sur la formation. La priorité est de renforcer les acteurs locaux, c'est-à-dire les services communaux, l'ONA, les DRE ... etc.
7/ Encourager la recherche et l'innovation : le secteur d'assainissement tarde à adopter certaines innovations, qu'il s'agisse de technologie ou encore de mécanisme de gestion. Davantage de ressources doivent être également consacrées aux activités de recherche et de développement.

L'État doit donc mobiliser les moyens nécessaires à toutes les institutions pour la mise en œuvre de l'agenda 2030. Le renforcement des capacités et moyens devient une nécessité pour atteindre les objectifs tracés.

I.4.1.1. Moyens humains

Les ressources humaines constituent un élément incontournable dans la conduite et la réussite des projets. Il est donc essentiel de renforcer les services de gestion, par des compétences nationales en rendant le secteur plus attractif, et une gestion plus dynamique des carrières professionnelles (Benzerra, 2016). Dans ce sens, le secteur des ressources en eau s'est engagé dans la réalisation d'écoles spécialisées dans les métiers de l'eau, soit par le biais du financement sur le budget de l'État, soit dans le cadre de la coopération internationale. Le CFMA de Boumerdes est déjà mis en service et l'Institut des métiers de l'assainissement est en cours de réalisation, financé par l'Union européenne.

Des journées d'études techniques et thématiques sont organisées autour de la valorisation des ressources humaines, de la bonne gestion du service public de l'eau, de nouvelles innovations technologiques en relation avec l'eau et l'assainissement en particulier (RAU,

gestion et exploitation des stations d'épuration des eaux usées, technologie d'épuration des eaux et de leur réutilisation, engineering et laboratoires). Les cycles de formation de courte et moyenne durée sont organisés dans les grands pôles universitaires technologiques et les grandes écoles sous tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique ainsi que dans un cadre de la coopération bilatérale et multilatérale (Baghli, 2018). Ces mesures permettront selon Benzerra (2016) de mettre à jour, d'une manière pérenne, les connaissances de l'ensemble des agents du domaine de la gestion du SAU.

I.4.1.2. Moyens matériels

L'une des conditions nécessaires pour une bonne gestion du RAU est sans doute la disponibilité de moyens matériels. En effet, les gestionnaires du réseau ne cessent de réclamer à chaque occasion du manque de matériel dont ils souffrent. Certaines villes ne disposent même pas d'un débitmètre, pluviomètre et d'un détecteur de surverse afin de pratiquer une auto-surveillance efficace du RAU, et pour d'autres villes, leurs matériels est toujours en panne. Ces carences d'équipements expliquent aussi l'absence d'une maintenance préventive et d'un manque de réhabilitation des canalisations. Ce problème est notamment justifié par l'absence d'autofinancement et une contribution financière insuffisante. L'ONA doit donc trouver les solutions urgentes pour qu'elle puisse se procurer de tous les équipements nécessaires pour une bonne gestion et exploitation du RAU.

Dans ce qui suit, nous allons donner un aperçu de l'essentiel du matériels utilisés et exploités par les gestionnaires pour assurer une gestion acceptable du RAU.

1. Dispositif fumigène : ce dispositif permet de détecter les raccordements non conformes de branchement d'eaux pluviales dans le réseau d'eaux usées en système séparatif ;
2. Caméra transistorisée : permet l'inspection d'un réseau section par section entre deux regards de visite. Cette caméra est munie en tête d'un dispositif d'éclairage, elle est étanche et susceptible de se déplacer dans la canalisation de 150 mm à 900 mm de diamètre. Des treuils permettent la traction de la caméra ainsi que son retour en cas d'obstacle infranchissable. Elle est également liée par câble à l'écran et au groupe de contrôle placé à l'intérieur de la camionnette laboratoire ;
3. Dispositif de fraisage : c'est un appareil constitué par un moteur hydromécanique, il est destiné en particulier au fraisage des racines qui s'introduisent dans les canalisations ;
4. Camion K 120 combiné hydrocureur : ce combiné hydrocureur est un équipement utilisé dans les travaux de nettoyage hydrodynamique pour l'aspiration et le curetage des réseaux d'assainissement ;
5. Camion-citerne : avec une citerne de 9000 litres, ce camion remplit la même fonction que le K 120. Il possède une pompe de remplissage haut débit avec prise de mouvement et une rampe d'arrosage à l'arrière de la citerne ;
6. Cureuse tractable : avec une remorque routière, une tête de curage flexible et un pistolet haute pression, cette cureuse convient notamment au débouchage et au curage de raccordements.



K 120 Combiné hydrocureur



Camion-citerne



Cureuse tractable

Figure I-3 : Quelques équipements de l'ONA pour la maintenance du RAU.

I.4.1.3. Capacités financières

Comme déjà expliqué dans la section I.3.2., l'ONA éprouve des difficultés dans la gestion du SAU en raison de sa dépendance financière au trésor public. La mise en œuvre de ses objectifs exigera un investissement financier colossal. Pour cela, et dans le cadre d'orientations du SE visant l'élaboration d'un programme prospectif pour l'horizon 2024, l'ONA est invité par le MRE à la mise en place des solutions adéquates à l'effet d'exploiter ses capacités et d'en faire une source de richesse. Dans ce sens, le MRE plaide pour la révision du cadre juridique régissant l'office datant de 2005, afin que l'établissement soit créateur de richesse et autonome dans la gestion et le financement de ses programmes et projets. À cet égard, plusieurs solutions s'avèrent intéressantes à l'ONA en vue de générer ses propres revenus, nous citons par exemple :

- La revalorisation et la réutilisation des produits issus des opérations d'assainissement telles que la boue et la vase qui pourraient être exploitées dans la production des engrais de bonne qualité pour le secteur agricole selon les résultats des expertises réalisées au niveau de l'office ;
- Le renforcement de coordination avec d'autres secteurs en vue d'exploiter ses ressources en matière d'irrigation des espaces verts et des pelouses de stade ;
- La conclusion des accords avec les établissements publics et privés et la participation aux appels d'offres nationaux.

I.4.1.4. Capacités techniques

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux deux guides techniques édités par les autorités algériennes au profit des acteurs du SAU. Il s'agit du manuel de la gestion de l'assainissement algérien (ONA, 2004) et du guide technique réglementaire pour les projets de pose et réhabilitation des réseaux d'assainissement (DAPE, 2016).

1. Manuel de la gestion de l'assainissement algérien : ce manuel est établi par la Direction générale de l'ONA en 2004, avec la collaboration de la société allemande pour la coopération technique (G.T.Z- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Ce manuel est destiné essentiellement aux unités de l'ONA et aux Directions régionales de l'ONA. Les principales recommandations de ce manuel portent sur les axes suivants (Bedjou, 2020) :
 - a. Les responsabilités et tâches locales ;

- b. Le suivi des usagers et la gestion des dérangements ;
 - c. Les tâches opérationnelles (maintenance) ;
 - d. La réhabilitation ;
 - e. La sécurité du travail et la gestion de la qualité ;
 - f. La gestion des stocks et approvisionnements et le système de rapports.
2. Guide technique pour les projets de pose et réhabilitation des réseaux d'assainissement : ce guide regroupe trois Documents Techniques et Réglementaires (DTR) établis par le Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement (MREE) – Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement (DAPE) entre 2013 et 2015. Ce guide se base ainsi sur : (i) DTR relatif aux règles de pose des canalisations en plastique (PVC et Polyéthylène) destinées aux projets d'assainissement, (ii) DTR relatif aux règles de pose des canalisations en béton, PRV, fonte et acier destinées aux projets d'assainissement, (iii) DTR relatif à la réhabilitation des réseaux d'assainissement. L'objectif principal de ce guide est de fournir aux acteurs du SAU toutes les informations nécessaires afin de favoriser une démarche de qualité pour la conservation d'un patrimoine durable et performant.

Ces deux manuels représentent une bonne référence dans le domaine de la gestion des réseaux d'assainissement. Néanmoins, beaucoup d'incompatibilités avec la réalité du terrain sont relevées (Bedjou, 2020). Une adaptation au contexte algérien par un ajustement de certaines sections serait la solution optimale.

I.5. Conclusion et objectifs de la thèse

Ce premier chapitre nous a permis de comprendre le contexte général de la gestion patrimoniale des RAU en Algérie en nous basant sur des références nationales (Dantez, 2015 ; Benzerra, 2016 ; Boukhari, 2018 et Bedjou, 2020).

En premier lieu, nous avons présenté les aspects législatifs et institutionnels régissant le SE en général et le SAU en particulier. Cette présentation a mis en évidence la chronologie historique de l'évolution des lois depuis l'indépendance du pays à ce jour. Dans un second temps, nous avons pensé qu'il était utile d'exposer les modes de gestion du service d'assainissement existants et le mode adapté par l'Algérie, cela nous a amené à représenter l'ONA le gestionnaire du RAU. Cette tâche nous semble importante afin d'identifier les prérogatives de l'entreprise gestionnaire et surtout cerner sa zone d'intervention. Dans un troisième temps, nous avons présenté les différentes contraintes dont font face les gestionnaires, par la suite, nous avons mis en avant l'état dégradé du réseau et les différentes défaillances qui peuvent survenir sur l'infrastructure. Cela nous a permis d'une part de bien contenir le contexte, la problématique et les difficultés de la bonne gestion patrimoniale du RAU, et d'autre part, de réfléchir aux solutions possibles et adaptables pour l'ONA.

En dernier lieu, nous avons donné les actions nécessaires que l'ONA doit conduire pour bien mener ses tâches. En effet, nous avons explicité l'importance de l'élaboration d'objectifs prioritaires et leur évaluation régulière. L'identification des objectifs est

effectuée en concertation avec toutes les parties prenantes et surtout en fonction des capacités des gestionnaires. Pour cela, nous avons jugé qu'il était bon d'exposer les moyens disponibles auprès de l'ONA et de souligner quelques manquements au niveau des équipements.

Dans ce qui va suivre, nous allons présenter l'outil méthodologique construit pour répondre aux besoins de l'ONA en termes d'évaluation de la gestion patrimoniale de l'infrastructure du RAU. L'outil utilisé a particulièrement exploité les résultats de l'étude de diagnostic et de réhabilitation des réseaux d'assainissement de la ville de Bejaia (ONA, 2018). Cette étude nous a permis de bien cibler les objectifs prioritaires et opérationnels souhaités par les gestionnaires de l'ONA de Bejaia. La présentation de l'outil d'évaluation sera organisée en trois chapitres. Le deuxième chapitre abordera l'intérêt de cet outil et le choix de la méthode d'évaluation.

Dans le troisième chapitre, nous allons nous concentrer sur la présentation de l'outil d'évaluation de la gestion patrimoniale du réseau d'assainissement. En effet, nous allons décrire l'approche méthodologique à suivre pour identifier les objectifs prioritaires, les critères et les indicateurs relatifs à la gestion de l'infrastructure du réseau et nous allons les organiser en une structure hiérarchique. Il sera aussi l'occasion de construire les échelles de performance pour chaque élément de décision qui serviront à la mesure de la performance de la gestion de l'infrastructure du RAU.

Dans le dernier chapitre, nous allons tester l'outil développé sur le cas du réseau s'assainissement de la ville de Bejaia. Cette application constituera un bénéfice pour les gestionnaires puisqu'elle permettra de mesurer l'efficacité et l'efficience de la société de gestion.

Chapitre II.

État de l'art sur l'évaluation de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains

<i>II.1. Introduction</i>	25
<i>II.2. Intérêt de l'évaluation dans la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains</i>	25
<i>II.3. Variété des outils d'évaluation</i>	26
II.3.1. Un outil d'évaluation pour une aide à la décision	27
II.3.1.1. Système des indicateurs de performance	27
II.3.1.1.1. Notion d'indicateur	28
II.3.1.1.2. Rôle des indicateurs	28
II.3.1.1.3. Principaux travaux de développement d'indicateurs de performance	30
II.3.2. Exigences de l'ONA sur son outil d'évaluation	30
<i>II.4. La mesure de la performance</i>	32
II.4.1. Méthodes d'agrégation	33
II.4.2. Méthodes de pondération	33
<i>II.5. Construction de l'outil d'évaluation</i>	34
II.5.1. Frontières du système	34
II.5.2. Adoption d'une approche participative	35
II.5.2.1. Processus de l'identification des objectifs prioritaires	35
II.5.2.2. Construction des échelles de performance	36
<i>II.6. Conclusion</i>	36

II.1. Introduction

La gestion du patrimoine ou comme on l'appelle en anglais « asset management » est une approche qui permet de suivre l'évolution d'un patrimoine et d'anticiper les travaux à réaliser pour son maintien en service tout au long de sa durée de vie (Nafi, 2006). La mise en place d'une telle approche nécessite la définition des objectifs précis permettant l'évaluation de la performance (Nafi & Tourment, 2016).

En Algérie, les gestionnaires de l'ONA reconnaissent leurs besoins croissants pour un outil global d'aide à la décision. Ce dernier doit être capable de quantifier et d'évaluer les points faibles et les points forts du SAU. Par conséquent, plusieurs centres de recherche (institut national de sciences appliquées de Lyon, laboratoire national de génie civil de Lisbonne, institut national de la recherche scientifique de Québec . . . etc.) orientent leurs efforts à l'évaluation de la gestion patrimoniale du service d'assainissement. En effet, des outils d'évaluation sont proposés tenant compte des caractéristiques locales de chaque cas d'études. La mise en œuvre de ces outils devra permettre d'une part de mesurer la performance, et d'autre part, d'atteindre les objectifs fixés au préalable (Igroufa *et al.*, 2020). De plus, un tel outil va constituer un instrument commun et uniforme pour des décisions et des actions cohérentes.

À ce titre, et dans le premier point de ce chapitre, nous allons mettre en lumière l'intérêt de l'évaluation dans la gestion patrimoniale des RAU et la variété des outils d'évaluation. Dans le deuxième point, nous allons nous intéresser à l'approche multicritère d'aide à la décision basée sur l'utilisation des indicateurs de performance mesurables. Pour cela, une synthèse de l'état de l'art sur la notion d'indicateur, son utilité, les critères de sélection ainsi que les principaux travaux de développement d'indicateurs de performance seront réalisés dans le troisième point. Quant au quatrième point, il sera question de la mesure ou de l'évaluation de la performance. Enfin, nous terminerons par éclaircir l'outil d'évaluation adopté en décrivant les étapes à suivre.

II.2. Intérêt de l'évaluation dans la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains

La gestion patrimoniale dans le domaine du SAU a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et de développement ces dernières années (Le Gauffre *et al.*, 2004 ; Cardoso *et al.*, 2004 ; Vasconcelos, 2005 ; Ibrahim, 2008 ; Caradot *et al.*, 2019). En effet, elle est devenue une problématique d'importance croissante pour les gestionnaires (Ahmadi, 2014). Selon Wery *et al.* (2012), la gestion patrimoniale démarre juste après la phase de réalisation de l'infrastructure, et cela dans le but d'assurer sa pérennité par une maintenance tout au long du cycle de vie. De ce fait, cette gestion vise à maintenir le réseau dans un état satisfaisant vis-à-vis des enjeux sanitaires, environnementaux et économiques (Ibrahim *et al.*, 2007). De plus, elle s'intéresse au choix des meilleures actions à mener sur les éléments du patrimoine (Wery *et al.*, 2012 ; Ahmadi, 2014).

Le processus de la gestion patrimoniale d'un RAU selon Ibrahim *et al.* (2007) comprend : l'acquisition d'informations (la phase de constat), l'élaboration d'objectifs prioritaires (la phase des besoins), l'évaluation des performances de l'infrastructure (la phase d'évaluation régulière) et la réhabilitation d'éléments ou de sous-systèmes considérés comme défectueux

ou à risque (la phase de mise en œuvre) (Figure II-1). Cependant, la plus grande difficulté de ces composantes réside dans l'évaluation de l'état présent du patrimoine (Ibrahim, 2008). Par conséquent, parvenir à déterminer l'état et la performance des ouvrages à gérer représente une garantie d'une gestion efficace du SAU. Cette évaluation doit être basée sur des outils spécifiques capables de révéler les lacunes dans la gestion patrimoniale des RAU.

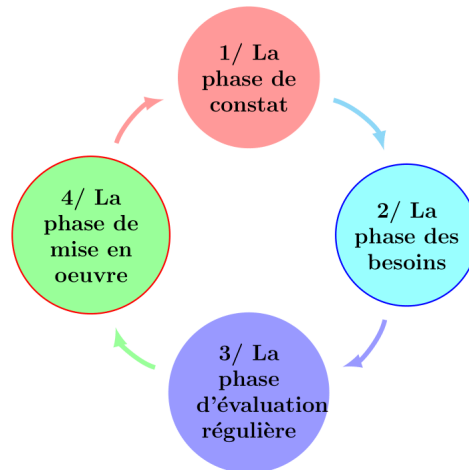


Figure II-1 : Processus de la gestion patrimoniale des infrastructures.

II.3. Variété des outils d'évaluation

Les méthodes d'évaluation de la gestion patrimoniale des RAU sont nécessaires et ont un rôle déterminant dans la réalisation des ODD. En effet, ces outils sont conçus d'une part pour aider au pilotage de la performance (Hamadmad, 2017), et d'autre part, pour soutenir les gestionnaires sur les décisions pertinentes à prendre pour suivre leur progrès (Poveda & Lipsett, 2011a ; Moussaoui, 2018).

Benzerra (2016) a synthétisé dans ses travaux de recherche quelques méthodes susceptibles de suivre la mesure de l'évolution de la durabilité de gestion des services d'assainissement. Ces méthodes s'effectuent soit en se concentrant sur une ou deux dimensions préférentielles du développement durable (environnementale, économique ou sociale) ou à travers l'intégralité des dimensions.

L'analyse du cycle de vie, dont le cadre est normalisé (ISO 14040 et 14044), est une méthode d'évaluation environnementale largement utilisée (Renou, 2006 ; Renou *et al.*, 2008). Autres méthodes d'évaluation environnementales citées par Benzerra (2016) : la méthode de l'analyse de l'exergie, la méthode de l'intensité de matière par unité de service, la méthode de l'analyse de l'empreinte écologique et les méthodes d'évaluation des risques techniques. Dans l'aspect économique, nous retrouvons essentiellement la méthode de l'analyse économique et dans l'aspect social, les méthodes des risques microbiens.

Quant aux méthodes basées sur l'utilisation des indicateurs, elles prennent en compte les trois dimensions à la fois. En effet, ces indicateurs sont fortement recommandés par plusieurs auteurs comme étant des éléments utiles au développement d'outils d'aide à la décision (Kanakoudis *et al.*, 2015 ; Sabie *et al.*, 2020 ; Henriques *et al.*, 2020).

II.3.1. Un outil d'évaluation pour une aide à la décision

Compte tenu de la gravité des lacunes constatées, les gestionnaires de l'ONA commencent à prendre conscience du besoin d'un instrument de travail permettant de leur fournir des bases solides en matière d'aide à la décision. Un outil global d'aide à la décision doit permettre d'apprécier la gestion des services et d'améliorer leur performance. Il devra permettre aux gestionnaires de l'ONA de disposer d'un bilan annuel de l'évaluation de la gestion de leur service et d'entreprendre les optimisations nécessaires afin d'améliorer le service rendu par le système (Benzerra, 2016). Ainsi, l'élaboration, le suivi et le contrôle des stratégies de gestion, à court, à moyen ou à long terme deviennent plus clairs.

Le Système des Indicateurs de Performance SIP est un outil d'évaluation efficace pour une aide à la décision. En effet, un indicateur est considéré comme un élément d'alerte, d'analyse et de décision qui aide les gestionnaires à évaluer le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif bien déterminé (Rivière, 2009). Il nous permet, également, de réaliser une évaluation exhaustive des dimensions environnementale, économique et sociale. De plus, le SIP facilite la conduite d'une gestion axée sur les résultats et l'utilisation optimale des ressources (Hamchaoui, 2017). Il permet donc de minimiser les jugements personnels et les descriptions narratives. A priori, il nous semble que l'utilisation de ces indicateurs est l'option la plus recommandée dans notre cas.

II.3.1.1. Système des indicateurs de performance

Plusieurs travaux ont été menés autour du concept de SIP (Cardoso *et al.*, 2004; Shah *et al.*, 2012; Berrah, 2013; Berrah *et al.*, 2016). De même, diverses agences et organisations partout au monde ont développé des cadres d'évaluation détaillés de performance, incluant plusieurs indicateurs pour couvrir tous les aspects (physique, personnel, opération, satisfaction des usagers, économique ... etc.) (Haider *et al.*, 2013). En effet, le SIP repose sur l'évaluation des indicateurs retenus en fonction des objectifs spécifiques du système étudié (Benzerra, 2016).

Le but de l'utilisation de ces indicateurs est de répondre soit à des objectifs de recherche ou à des expertises, liés à la sphère des spécialistes, soit à des objectifs opérationnels répondant à une demande des décideurs ou un besoin exprimé par les gestionnaires (Benzerra, 2016). La sphère de la communauté scientifique recherche l'évolution et l'amélioration des connaissances de l'ensemble des aspects du système. La recherche de méthodologies et d'outils d'aide à la décision, dont les indicateurs, permettant d'explicitier la complexité des phénomènes observés, constituent le but principal des spécialistes (Benzerra, 2016). Ils permettent, entre autres :

- D'analyser la situation réelle du service (Lejars & Canneva, 2009) ;
- De mesurer les progrès réalisés par rapport aux objectifs fixés (Telemsani, 2012; WAREG, 2017) ;
- De réaliser un *benchmarking* entre les différentes unités de gestion similaires dans le pays (Cardoso *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2019).

L'existence de plusieurs indicateurs oblige le gestionnaire à choisir ceux qui sont représentatifs de l'état du service. Ce choix est retenu par un consensus regroupant toutes les parties prenantes tout en prenant en considération les priorités et les

spécificités de chaque cas (Hamchaoui, 2017).

Les sections suivantes présentent l'état de l'art de la notion d'indicateur, leurs rôles ainsi qu'une synthèse de leurs utilisations par différentes organisations.

II.3.1.1.1. Notion d'indicateur

Il existe dans la littérature un grand nombre de définitions de la notion d'indicateur. Selon l'*International Water Association* (IWA), un indicateur de performance est une mesure quantitative d'un aspect spécifique de la performance de l'exploitant ou de son niveau de service.

Bonnefous & Courtois (2001) définit l'indicateur de performance comme « *une information devant aider un acteur, individuel ou plus généralement collectif, à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif ou devant lui permettre d'en évaluer le résultat* ».

Le Gauffre *et al.* (2004) précise par ailleurs, qu'un indicateur de qualité ou de performance est : « *une mesure qui permet d'apprécier d'une manière pertinente la réalisation d'un critère de qualité de service* ».

La plupart de ces définitions associent l'indicateur à la mesure de l'efficacité de système, au regard d'un objectif ou d'une norme. Sur la base de cette idée, il y a encore d'autres définitions qui nous semblent les plus représentatives de cette notion.

Vasconcelos (2005) souligne que l'indicateur de performance ne doit pas être conçu pour juger de la qualité de travail, mais plutôt comme un moyen de progresser vers des objectifs bien définis. Il guide les gestionnaires sur l'effort restant à fournir pour atteindre les objectifs de performance fixés pas les élus ou les décideurs.

Une autre définition donnée par Anghel *et al.* (2007), nous semble très proche à l'objectif de notre étude : un indicateur de performance est un paramètre, le plus souvent chiffré, permet d'évaluer la performance d'un processus et la qualité d'un service. Ces indicateurs sont regroupés par critères de synthèse, ils sont destinés à aider les responsables à réaliser le suivi du processus ou du service étudié.

Mattersdorf (2010) explique de son côté que l'indicateur de performance est un moyen permettant au gestionnaire d'analyser la situation réelle de son service. Cette analyse permet de répondre aux attentes conjointes de plusieurs parties prenantes.

Bitton (1990), cité par Berrah (2013) donne une définition qui reste la plus courte et la plus générale : « *un indicateur est une mesure objectivée* ». Cette définition met en avant deux notions essentielles : la mesure et l'objectif.

Dans tous les cas, l'indicateur de performance est toujours attaché à la réalisation d'un objectif. Il est associé à une mesure qui donne un résultat au regard de l'atteinte d'un objectif bien déterminé.

II.3.1.1.2. Rôle des indicateurs

Depuis quelques années, les indicateurs de performance font l'objet d'un intérêt considérable des différents acteurs en jeu. En effet, ces indicateurs ouvrent de

nombreuses perspectives à travers quatre démarches principales (Figure II-2) : (1) définition du contenu du service (2) pilotage par les collectivités (3) incitation à l'amélioration et (4) communication vers les usagers (Guérin-Schneider, 2001 ; Guérin-Schneider & Nakhla, 2003 ; Poinard, 2006 ; Hamchaoui, 2017) :

1. Définition : les gestionnaires du service d'assainissement sont en mesure d'exprimer de manière concrète ce qu'elle attend de son service en choisissant une liste d'indicateurs pertinents. La définition des objectifs prioritaires s'effectue en fonction des moyens financiers, matériels et humains dont disposent les gestionnaires ;
2. Pilotage : une fois les indicateurs identifiés, les gestionnaires peuvent suivre et piloter l'évolution annuelle du service ;
3. Incitation : une fois les indicateurs sont adoptés par les gestionnaires, ils peuvent être partagés entre de nombreuses unités. Cela va inciter à une meilleure performance et va permettre une comparaison entre les différentes unités ;
4. Communication : Un indicateur est un outil d'information pour les usagers qui sont de plus en plus attentifs à la gestion des services d'assainissement. Ils permettent de rendre visibles les améliorations du service qui étaient difficilement perçues par l'utilisateur.

Selon le groupe de la Banque Africaine de Développement (BAD, 2000), ces indicateurs constituent des outils de gestion efficaces qui facilitent la conduite d'une gestion axée sur les résultats. Ils rendent le suivi et l'évaluation plus précis et permettent de minimiser les jugements personnels et les descriptions narratives.

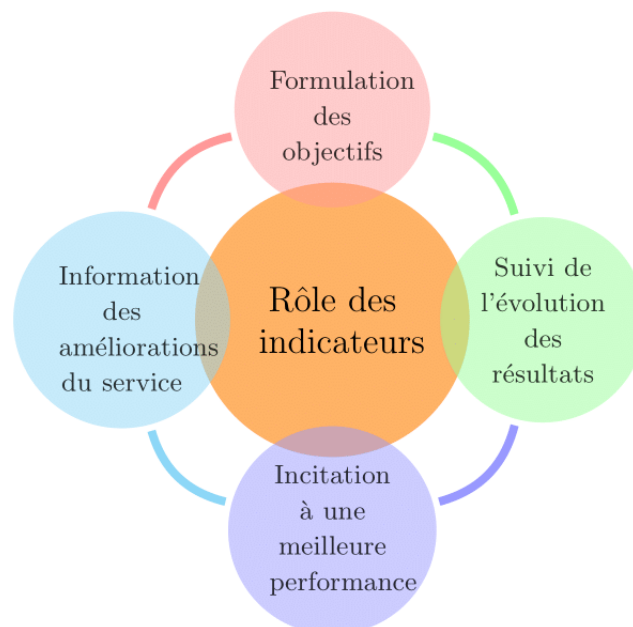


Figure II-2 : Le rôle des indicateurs.

II.3.1.1.3. Principaux travaux de développement d'indicateurs de performance

Plusieurs travaux académiques se sont intéressés à la construction des indicateurs de performance dans le domaine d'assainissement (Canneva & Guérin-Schneider, 2011). Les indicateurs construits ont été définis pour chaque domaine d'étude (Granger, 2009). En effet, le plus grand nombre de publications concerne le développement d'indicateurs tentant de mesurer les performances :

- Du service d'assainissement (Guérin-Schneider, 2001 ; Le Gauffre *et al.*, 2004 ; Cousquer *et al.*, 2005) ;
- Du système d'assainissement (Cherqui *et al.* , 2013 ; Kleidorfer *et al.*, 2014 ; Matzinger *et al.*, 2014) ;
- D'un dispositif du système comme les stations d'épurations (Quadros *et al.* , 2010 ; Silva *et al.*, 2016).

Autres travaux effectués par des groupes de travaux se sont projetés sur le développement d'indicateurs permettant d'évaluer la performance du service. C'est le cas notamment des indicateurs de performance proposés par IWA (Matos *et al.*, 2003), ou ceux définis par l'OfWat (OfWat, 2013). Le tableau II-1 présente quelques organisations et institutions qui ont développé plusieurs indicateurs pour divers objectifs.

II.3.2. Exigences de l'ONA sur son outil d'évaluation

Lors de la construction de l'outil d'évaluation et en particulier les indicateurs, il est indispensable de prendre en compte la limite des moyens financiers, techniques et humains dont dispose l'ONA. En effet, le choix des indicateurs devrait éviter de mettre davantage à rude épreuve les capacités déjà limitées des responsables, en matière de collecte, d'utilisation et d'interprétation de données. Les indicateurs de performance devraient être choisis de manière très rigoureuse et leur nombre ne doit pas être très élevé. C'est pourquoi les services techniques de l'ONA prennent toujours soin, lors de la validation des indicateurs, des points suivants (Benzerra, 2016) :

1. Caractéristiques générales de l'indicateur ;
2. Spécificité locale de l'indicateur ;
3. Clarté de l'indicateur ;
4. Analyse de l'existence ou de la faisabilité de la mesure sur le site étudié ;
5. Estimation du coût de mesure de l'indicateur.

D'ailleurs, plusieurs travaux de recherche académiques se sont penchés sur les propriétés ou les critères de sélection des indicateurs (Guérin-Schneider, 2001 ; Granger, 2009 ; Lin *et al.* , 2012 ; Telemsani, 2012). D'autres recherches au niveau des organisations se sont aussi intéressées à la question, nous retenons essentiellement les travaux de IWA (Matos *et al.*, 2003 ; Alegre *et al.*, 2006) et de la BAD (BAD, 2000).

Selon ces travaux l'indicateur doit mesurer un ou plusieurs objectifs en fonction des besoins des gestionnaires. La figure II-3 synthétise les critères de sélection des indicateurs selon les travaux déjà cités.

Tableau II-1 : Principaux travaux de développement d'indicateurs de performance.

Institutions	Nombre total d'indicateurs	Exemple d'indicateurs	Objectifs	Références
Association internationale de l'eau (IWA)	182	Inspection des conduites (%/an) ; Curage des conduites (%/an) ; Remplacement des tampons des regards (%/an).	Fournir un outil de gestion compréhensif pour toutes les parties prenantes.	Matos <i>et al.</i> , 2003
Bureau anglais des services d'eau (OfWat)	18	Élimination des boues (%).	Inciter à un benchmarking de performances entre les compagnies de gestion.	OfWat, 2013
Réseau international du benchmarking pour les services d'eau et d'assainissement (IBNET)	92	Rupture des conduites (Nbr de ruptures/km/an).	Rendre possible aux services d'eau de 135 pays l'analyse de leurs points forts et points faibles dans leur gestion patrimoniale.	Danilenko <i>et al.</i> , 2014
Coopération européenne du benchmarking (EBC)	24	Nombre total des plaintes (Nbr/1000 Hab/an) ; consommation des STEP en énergie (Kwh/éq.hab)	Permettre aux gestionnaires du SA de 20 pays européens d'améliorer leurs services en appliquant un programme international du benchmarking.	EBC, 2016
Association américaine des travaux de l'eau (AWWA)	73	Conformité réglementaire des eaux usées (%).	Permettre aux gestionnaires de suivre leur performance et d'identifier les points faibles à améliorer.	AWWA, 2015
Autorité régulière des services d'eau et d'assainissement (ERSAR)	48	Effondrement structurel des conduites (Nbr/100 km/an).	Réguler les services portugais de gestion à travers l'application du système d'indicateurs.	LNEC & ERSAR, 2013
Bureau australien de météorologie	182	Nombre de STEP (Nbr) ; Nombre d'interruptions non-programmées (Nbr).	Comparer les performances entre 79 services de gestion d'eau et d'assainissement à travers tout le territoire australien.	Bureau of Meteorology, 2018

Nbr : Nombre ; Hab : Habitant ; STEP : Stations d'Épuration ; éq.hab : équivalent habitant.

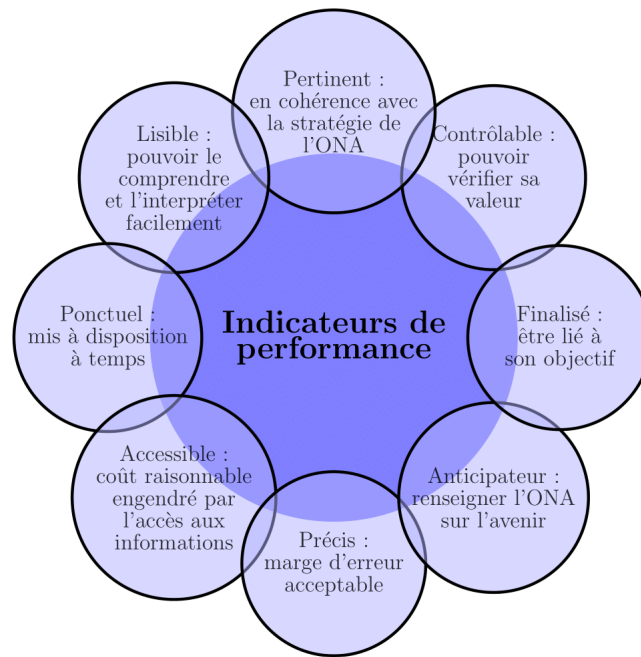


Figure II-3 : Propriétés des indicateurs vus par l'ONA.

II.4. La mesure de la performance

La performance ne prend de sens que si elle se mesure « *what you measure is what you get* » (Kaplan & Norton, 2005). Selon Hamadmad (2017), la mesure de la performance présente un certain nombre de caractéristiques qui varient notamment selon la variable à laquelle elle est associée. En d'autres termes, c'est une information relative à l'atteinte de la valeur espérée de l'objectif. Une autre définition donnée par Nudurupati *et al.* (2011) qui définissent la mesure de la performance comme le processus de quantification de l'efficacité et de l'efficience d'actions antérieures ou programmées. Cette mesure peut être directement exploitée et affichée ou donner suite à des traitements spécifiques, en l'occurrence l'agrégation.

Dans notre cas, la mesure ou l'évaluation de la performance d'un objectif particulier nécessite plusieurs étapes d'agrégation :

- Attribuer une valeur à chaque indicateur associé au critère ;
- Agréger ces évaluations pour mesurer la performance globale attribuée à chaque critère ;
- Déterminer le niveau de satisfaction vis-à-vis d'un objectif particulier en utilisant les évaluations obtenues pour chaque critère.

Il faut donc traduire les données brutes collectées sur le système par une note de performance de chaque indicateur. Cela nécessite la construction des fonctions de performance (échelles de performance) en utilisant des normes nationales, internationales ou, à défaut, des recommandations d'experts. Cette fonction de performance peut s'agir d'une fonction discrète ou continue, linéaire ou logarithmique (Bonièrbale, 2004). Dans ce qui suit, nous allons exposer l'essentiel des méthodes

d'agrégation et de pondération existantes dans la littérature et qui vont nous permettre par la suite d'évaluer ou de mesurer la performance des objectifs définis.

II.4.1. Méthodes d'agrégation

L'agrégation ou encore la fusion est un principe adopté dans de nombreux domaines, en l'occurrence la structuration des données, le traitement d'images et la géoscience (Berrah, 2013). Du moment que le but de cette étude est l'évaluation de la performance d'un certain nombre d'objectifs prioritaires, l'agrégation signifie la prise en considération des performances des critères (Berrah, 2013). Le résultat recherché sera obtenu à partir de l'agrégation et la pondération d'un ensemble d'indicateurs représentatifs. Pour cela, nous serons menés vers les méthodes d'analyse multicritère MDCA (*Multi Criteria Decision Analysis*). La lecture de certains ouvrages qui ont abordé les méthodes d'agrégation (Roy & Bouyssou, 1993; Ben Mena, 2000; Hamchaoui, 2017), il existe principalement trois types d'agrégations : (i) l'agrégation complète (ii) l'agrégation partielle et (iii) l'agrégation locale. Le tableau II-2 synthétise à base des références citées précédemment la définition de chaque type et les méthodes qui lui sont associées.

Tableau II-2 : Types d'agrégation.

Type	Définition	Méthodes
L'agrégation complète	Cette agrégation consiste à inclure toutes les performances dans ce qu'on appellerait en mathématique une fonction d'utilité ou d'agrégation.	WSM (<i>Weight Sum Method</i>) ou Somme des notes; WPM (<i>Weight Product Method</i>) ou Multiplication de ratios; AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>); MAUT (<i>Multi Attribute Utility Theory</i>).
L'agrégation partielle	Cette agrégation 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.	Electre I, II, III, IV; Prométhée I et II; Melchior; Qualifex; Oreste; Regim; Naiade.
L'agrégation locale	Cette agrégation repose sur un caractère itératif, basé sur les préférences du décideur. Elle sélectionne une variante, élabore une proposition de quelques alternatives puis reprend l'analyse en boucle.	Méthodes des cônes d'amélioration; Goal Programming; Goal Programming simplifié; STEM; Méthode Ziont-Wallenius; Approche Branch and Bound; Méthode tabou.

Dans notre cas, le choix s'est porté sur la méthode la plus utilisée qui est l'agrégation complète. La technique optée est la méthode de la somme pondérée que nous allons expliquer en détail dans le chapitre 3.

II.4.2. Méthodes de pondération

L'importance relative des critères et des indicateurs entre eux est un aspect primordial dans l'analyse multicritère. C'est pourquoi les poids doivent être le reflet des points de vue des décideurs (Moura, 2008). Diverses méthodes de pondération de critères existent dans la littérature (Roszkowska, 2013; Zardari *et al.*, 2015; Odu, 2019) et leurs résultats

peuvent beaucoup influencer le résultat final de l'analyse (Moura, 2008).

Dans ce qui suit, nous allons énumérer juste l'essentiel des méthodes de pondération telles qu'elles sont données par Benzerra (2016).

1. Méthode d'attribution de scores (*fixed point scoring*) : elle répartit une somme de points sur l'ensemble des critères (répartition de 100 % par exemple) ;
2. Comparaison par paire (*paired comparison*) : elle compare deux à deux des critères, les plus connus étant la méthode AHP et la méthode MACBETH ;
3. Analyse de jugement (*judgement analysis*) : elle évalue l'importance des alternatives distinctes réelles ou fictives sur des échelles de 1 à 10, 1 à 20 ou 1 à 100 ;
4. Méthode des valeurs attendues (*expected value method*) : elle attribue les poids en fonction uniquement du classement des critères et de leur nombre ;
5. Technique du jeu de cartes : elle distribue le jeu de cartes sur lesquelles sont inscrits les noms de critères ainsi que des cartes blanches. Le décideur a la possibilité de glisser les cartes blanches entre les critères et les classer ;
6. Arbre de pondération : elle décompose les critères sous forme d'une arborescence. La pondération de chaque critère correspond au produit des coefficients des sous-branches et des branches dont il est issu.

Le choix de la méthode de pondération appropriée à notre contexte s'est porté sur l'AHP flou. Un développement de cette méthode sera donné dans le chapitre 3.

II.5. Construction de l'outil d'évaluation

Comme déjà citée dans les sections précédentes, l'évaluation de la gestion est un outil de base en matière d'aide à la décision. Elle dévoile les effets positifs et négatifs de la gestion du service. En effet, au terme de l'exercice de l'évaluation, les gestionnaires peuvent entreprendre les optimisations nécessaires afin d'améliorer le service rendu aux usagers. Dans ce qui suit, nous expliquerons le processus et les étapes nécessaires pour construire l'outil d'évaluation de la gestion patrimoniale de l'infrastructure du RAU.

II.5.1. Frontières du système

L'élaboration d'un modèle d'aide à la décision en matière de gestion du RAU a besoin de plusieurs groupes de données (Benzerra, 2016). Pour le construire, il faut d'abord délimiter les éléments du système impliqués dans l'outil d'évaluation, en tenant compte, des données réellement existantes. En effet, le RAU est souvent composé d'un ensemble d'ouvrages hydrauliques comprenant : des conduites, des regards, des avaloirs, des stations de pompage, des bassins de rétention et de différents ouvrages de contrôle (Bengassem, 2001). Leurs fonctions couvrent la collecte et l'évacuation des eaux usées et pluviales vers une station de traitement ou vers un lieu de déversement approprié. Cependant, leur gestion reste très compliquée en raison de leur caractère souterrain et collectif.

Par conséquent, la définition des frontières du système est cruciale pour l'identification des aspects importants afin de promouvoir les actions vers la construction d'objectifs prioritaires. Dans notre cas, les limites du système étudié seront dévoilées dans le chapitre 3.

II.5.2. Adoption d'une approche participative

L'identification et la sélection des objectifs prioritaires, critères et indicateurs de performance de la gestion de l'infrastructure du RAU est une démarche importante qui influence considérablement les résultats de l'évaluation. En effet, la mise en œuvre d'une méthodologie adaptée représente un réel défi afin de refléter les préoccupations des décideurs et des gestionnaires de l'ONA. Ce processus doit permettre de mesurer et de communiquer avec transparence la performance de la gestion des ouvrages du RAU.

La méthodologie que nous avons adoptée est basée entièrement sur une démarche participative. En fait, l'ONA de Bejaia représente notre principal interlocuteur avec lequel nous souhaitons aller au terme de ce projet. Néanmoins, faire participer les autres acteurs du domaine de la gestion du SAU demeure une étape essentielle pour la concrétisation de l'objectif de notre étude. La mise en œuvre de cette tâche nécessite la prise en compte d'éventuels conflits d'intérêts entre les parties prenantes (Benzerra, 2016). D'ailleurs, la confrontation des diverses options de tous les acteurs va permettre de parvenir à des objectifs qui auront plus de chance d'être atteints (Benzerra *et al.*, 2019).

II.5.2.1. Processus de l'identification des objectifs prioritaires

L'approche participative que nous avons adaptée est structurée sur une succession d'étapes qui s'apparente à un processus de filtrage de critères et d'indicateurs. Nous avons commencé par une large consultation de la littérature appliquée aux domaines de la gestion du service d'assainissement (Matos *et al.*, 2003; Le Gauffre *et al.*, 2004; Cousquer *et al.*, 2005), et de la qualité de l'infrastructure des RAU en particulier (De la Fuente *et al.*, 2016; Hawari *et al.*, 2018). Au niveau local, l'ONA de Bejaia nous a facilité la consultation de sa base de données. Elle est relative aux défaillances des ouvrages ainsi que des rapports d'études de diagnostic et de réhabilitation de son RAU (ONA, 2018).

Ensuite, plusieurs réunions-débats ont été organisées, en présence de chercheurs du Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement LRHAE de l'université Bejaia. Les différentes analyses et critiques ont permis de finaliser une liste d'objectifs, de critères et d'indicateurs de performance. Les intervenants à ces débats ont été invités à parvenir à un consensus sur une liste restreinte en tenant compte des exigences fonctionnelles d'un RAU, d'une base de données réduite, des capacités matérielles et financières limitées de l'ONA.

Cette étape est suivie d'une enquête approfondie au niveau du service de l'ONA de la ville de Bejaia. Elle s'intéresse notamment aux dégradations de l'infrastructure du RAU et les moyens techniques et financiers disponibles. Les débats avec les experts de ce service nous ont permis de dégager deux objectifs prioritaires. Chaque objectif est défini par des critères, qui sont à leur tour, définis par un ensemble d'indicateurs.

II.5.2.2. Construction des échelles de performance

Généralement, tout indicateur est associé à une échelle de performance. Celle-ci est l'un des outils les plus couramment utilisés dans l'évaluation de la gestion des entreprises. Elle fournit une mesure quantitative pour une évaluation objective de la qualité de fonctionnement d'un système ou d'un service (Hamchaoui, 2017). En fonction de l'information qu'on cherche à acquérir, les échelles de performance peuvent prendre divers niveaux de classe de performance avec des bornes limites variées. De même que pour les critères et les indicateurs, la construction des échelles de performance a nécessité plusieurs réunions-débats avec les gestionnaires de l'ONA de Bejaia. Au cours de leur développement, une attention particulière est accordée à la formulation des bornes de niveau de performance de manière la plus rigoureuse possible.

L'usage de ces échelles de mesure ne s'inscrit que dans un cadre évaluatif. L'objectif est donc de mesurer la gestion de l'ONA concernant l'infrastructure du RAU existant afin d'examiner globalement les fonctions assurées par tout le système. Dans le futur, nous espérons comparer la gestion de différents RAU pour éventuellement les améliorer, expliquer des situations particulières ou inciter à de meilleures performances. Cependant, leur utilisation doit être considérée localement et évaluée par les critères et les indicateurs mis en place.

La lecture de la mesure de la performance se fait par la transposée de la valeur de l'indicateur sur une échelle. La valeur de cette performance est finie, quantitative et bornée entre 0 et 1. La valeur 0 sur cette échelle représente la mauvaise performance et la valeur 1 représente la meilleure performance. Cette plage de variation est nécessaire pour faciliter une distinction détaillée de l'évolution de la performance. De plus, ce choix s'adapte bien au choix de la méthode d'évaluation des performances qui est basé sur l'algorithme de la méthode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

II.6. Conclusion

Ce deuxième chapitre s'intéresse à la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains et au processus de son évaluation. Cela nous a permis d'avoir une idée assez claire sur l'importance d'évaluer et de suivre la performance des actions réalisées par les gestionnaires.

En premier lieu, nous avons commencé à exposer, avec plus ou moins de détails, l'intérêt de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement en nous appuyant sur des références internationales (Ibrahim *et al.*, 2007; Ibrahim, 2008; Wery *et al.*, 2012; Ahmadi, 2014). En effet, nous avons constaté qu'il existe plusieurs méthodes d'évaluation du SAU ou d'une partie du système. En ce qui nous concerne, nous sommes intéressées à une approche multicritère d'aide à la décision basée sur l'utilisation des indicateurs de performance mesurables. Nous avons préféré cette méthode d'évaluation pour sa capacité à évaluer le niveau de performance de la gestion du SAU en utilisant des indicateurs et des critères liés aux objectifs recherchés. Cela nous a amenés à présenter un état de l'art sur la notion d'indicateur et son rôle. Par la suite, nous avons recherché les principaux travaux qui ont élaboré les indicateurs de performance dans le domaine de gestion du service d'assainissement. Quels sont ces

indicateurs et pour quels objectifs ont été développés ? Ce sont quelques interrogations que nous nous sommes attelés à éclaircir à travers une recherche bibliographique.

En deuxième lieu, nous avons pensé qu'il était utile d'énoncer les critères de sélection des indicateurs par les gestionnaires d'ONA. L'approche retenue dans cette étude est donc une méthode d'aide à la décision basée sur une vision globale à partir d'un ensemble d'objectifs formulés et évalués à travers des critères et des indicateurs définis en conséquence. L'évaluation de la performance d'un objectif particulier nécessite plusieurs étapes d'agrégation, pour cela, nous avons synthétisé quelques méthodes d'agrégation et de pondération susceptibles d'accomplir cette tâche.

En dernier lieu, nous avons expliqué la procédure suivie pour construire l'outil d'évaluation. En effet, nous avons mis en avant l'importance de l'adoption d'une approche participative pour l'identification des objectifs et la construction des échelles de performance. L'outil construit doit être capable de s'adapter aux spécificités nationales, pour pouvoir convaincre les décideurs de l'intérêt à la mettre en œuvre.

Dans le chapitre suivant, nous allons d'une part développer et détailler l'outil d'évaluation déjà expliqué dans ce présent chapitre, et d'autre part, indiquer et définir les objectifs prioritaires à retenir ainsi que leurs critères et indicateurs associés.

Chapitre III.

Développement d'un outil d'évaluation pour la gestion patrimoniale du réseau d'assainissement

<i>III.1. Introduction</i>	39
<i>III.2. Méthodologie de développement de l'outil d'évaluation</i>	39
III.2.1. Délimitation du système à étudier	40
III.2.2. Identification des objectifs, critères et indicateurs	41
III.2.2.1. Identification des objectifs prioritaires	41
III.2.2.1.1. Objectif O ₁ « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure »	41
III.2.2.1.2. Objectif O ₂ « Encourager une bonne exploitation du réseau »	43
III.2.2.2. Identification des critères	44
III.2.2.2.1. Critère C ₁₁ « Améliorer la connaissance du patrimoine » ...	44
III.2.2.2.2. Critère C ₁₂ « Maintenir un bon état structurel et fonctionnel du réseau »	45
III.2.2.2.3. Critère C ₁₃ « Réduire les obstructions dans le réseau »	46
III.2.2.2.4. Critère C ₁₄ « Réduire les désordres des ouvrages de surface »	46
III.2.2.2.5. Critère C ₂₁ « Améliorer la maintenance du réseau »	47
III.2.2.2.6. Critère C ₂₂ « Initier la réhabilitation des conduites »	48
III.2.2.3. Identification des indicateurs de performance	48
III.2.2.3.1. Indicateurs associés à C ₁₁	48
III.2.2.3.2. Indicateurs associés à C ₁₂	50
III.2.2.3.3. Indicateurs associés à C ₁₃	56
III.2.2.3.4. Indicateurs associés à C ₁₄	59
III.2.2.3.5. Indicateurs associés à C ₂₁	64
III.2.2.3.6. Indicateurs associés à C ₂₂	66
III.2.3. Processus d'évaluation de la performance	67
III.2.3.1. Méthode d'agrégation choisie	67
III.2.3.2. Méthode de pondération choisie	68
III.2.3.3. Calcul de la performance de O ₁ et O ₂	69
III.2.3.3.1. Calcul de la performance des indicateurs associés à C ₁₁	70
III.2.3.3.2. Calcul de la performance des indicateurs associés à C ₁₂	70
III.2.3.3.3. Calcul de la performance des indicateurs associés à C ₁₃	71
III.2.3.3.4. Calcul de la performance des indicateurs associés à C ₁₄	71
III.2.3.3.5. Calcul de la performance des indicateurs associés à C ₂₁	72
III.2.3.3.6. Calcul de la performance des indicateurs associés à C ₂₂	72
III.2.3.3.7. L'échelle de performance adoptée pour les objectifs prioritaires	73
<i>III.3. Conclusion</i>	73

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillons l'outil d'évaluation de la gestion de l'infrastructure du RAU. En effet, cet outil se décompose en deux phases : la phase de construction et la phase d'évaluation. L'adoption d'une démarche participative s'impose au cours des deux étapes pour aller au terme de ce projet. Dans un premier temps, nous définissons les objectifs liés à la thématique de l'infrastructure du RAU. Ces objectifs sont choisis pour leurs caractères prioritaires d'une part. D'autre part, en fonction des moyens disponibles auprès de l'ONA pour leur mise en œuvre. Par la suite, chaque objectif est constitué d'un ensemble de critères évalués au moyen d'indicateurs de performance. En effet, les critères et les indicateurs identifiés seront l'objet d'un éclaircissement et d'un développement approfondis. Dans la continuité de ce chapitre, nous présentons la méthode d'agrégation et de pondération choisies pour mesurer la performance des objectifs. Pour cela, il serait indispensable de construire des échelles de performance pour chaque indicateur identifié. Dans cette tâche, nous veillons à impliquer tous les acteurs en lien avec la gestion du SAU. L'adoption de cet outil devrait permettre aux gestionnaires de l'ONA de prendre connaissance de l'ensemble des actions et fonctions positives et négatives de la gestion des éléments du système. Ce n'est qu'à partir de là que l'amélioration du service à rendre aux usagers pourrait être envisagée.

III.2. Méthodologie de développement de l'outil d'évaluation

Comme déjà expliqué dans la section II.5.2., l'outil d'évaluation adopté est basé entièrement sur une démarche participative. En effet, l'approche méthodologique suivie dans ce manuscrit suit deux étapes essentielles : une phase de construction des indicateurs et une phase d'évaluation ou de calcul de la performance. La première étape consiste à l'identification des indicateurs permettant l'évaluation de la gestion de la qualité de l'infrastructure du RAU. Lors du processus de cette première étape, le recours à des consultations d'experts reste indispensable, en tenant compte des stratégies de gestion de l'ONA et des données pratiques disponibles. En fait, la sélection des indicateurs prend en considération, notamment, les moyens financiers et humains dont dispose l'ONA. Les indicateurs choisis sont, ensuite, regroupés dans un panel de critères et d'objectifs qui les définissent.

La deuxième phase s'intéresse à l'évaluation des indicateurs déjà choisis lors de la précédente étape. Au cours de cette tâche, la construction des fonctions de performance pour chaque indicateur est nécessaire. Cela donne lieu à une transformation de la mesure initiale de l'indicateur en une note de performance. En effet, l'agrégation et la pondération des indicateurs permettent de remonter vers la performance des critères. Ensuite, l'agrégation et la pondération des critères permettent d'obtenir une seule note d'évaluation pour un objectif défini préalablement. La figure III-1 représente une synthèse de l'approche méthodologique adoptée.

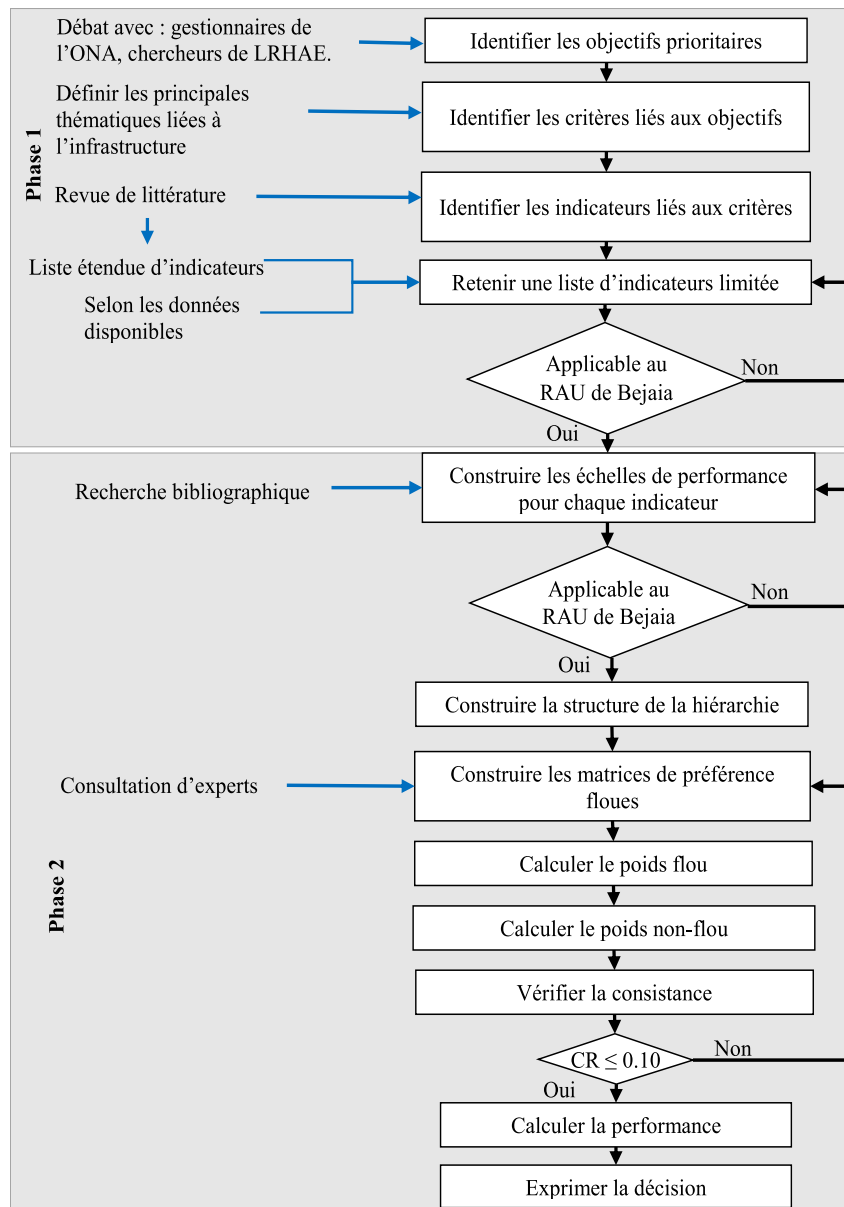


Figure III-1 : Schéma descriptif de la méthodologie adoptée.

III.2.1. Délimitation du système à étudier

Comme nous l'avons déjà expliqué dans le chapitre précédent, il est indispensable de cerner la situation dans laquelle l'entreprise gestionnaire fournit les services aux usagers. Généralement, le contexte local regroupe ainsi plusieurs facteurs : la complexité des ouvrages et des équipements, les normes nationales ou internationales, les contraintes, les interactions avec d'autres systèmes adjacents, les données d'entrées et de sorties du système, les acteurs potentiels, les objectifs à atteindre et notamment les limites des ressources financières de l'entreprise (Matos *et al.*, 2003 ; Benzerra *et al.*, 2012).

Dans notre cas, le choix des éléments du système physique à prendre en compte dépend de la définition des objectifs et du domaine de l'étude, du but de l'évaluation, des contraintes

de données et de leur coût. Par conséquent, le système étudié comprend : les conduites, les regards, les avaloirs, l'organisation technique et politique gérant le système.

III.2.2. Identification des objectifs, critères et indicateurs

L'approche participative adoptée dans l'outil d'évaluation nous a permis de définir deux objectifs prioritaires. Chacun des objectifs sélectionnés a fait l'objet d'une analyse critique et d'une description détaillée. En effet, cette analyse a toujours été attentive aux besoins du SAU et aux moyens réels disponibles. Les deux objectifs se résument à : (i) Assurer une bonne gestion de l'infrastructure et (ii) Encourager une bonne exploitation du réseau.

Pour chacun des deux objectifs, nous avons par la suite construit deux ou plusieurs critères permettant d'évaluer le niveau avec lequel la fonction correspondante était remplie. Ces critères constituent, d'une part, le lien entre les objectifs et les indicateurs de performance et d'autre part, des indices de références pour l'amélioration de la gestion de l'infrastructure du RAU. Les critères associés aux deux objectifs sont synthétisés comme suit :

1. C_{11} : Améliorer la connaissance du patrimoine ;
2. C_{12} : Maintenir un bon état structurel et fonctionnel du réseau ;
3. C_{13} : Réduire les obstructions dans le réseau ;
4. C_{14} : Réduire les désordres des ouvrages de surface ;
5. C_{21} : Améliorer la maintenance du réseau ;
6. C_{22} : Initier la réhabilitation des conduites.

Enfin, nous avons identifié plusieurs indicateurs pour chaque critère. Les figures III-2 et III-3 représentent les critères et indicateurs liés à O_1 et O_2 respectivement.

III.2.2.1. Identification des objectifs prioritaires

Il est reconnu que le rôle de tout objectif est de fournir un angle de vision sur les fonctions du système à évaluer. Un objectif est évalué, essentiellement, sur la base de la construction d'un ensemble de critères identifiants tous les aspects de cet objectif puis de l'évaluation et l'agrégation de la note de ces critères (Benzerra, 2016).

Dans le cadre de cette étude, nous avons identifié les deux objectifs : (i) Assurer une bonne gestion de l'infrastructure et (ii) Encourager une bonne exploitation du réseau. Ces objectifs ont été choisis parce qu'ils sont considérés par les gestionnaires de l'ONA comme étant prioritaires d'une part, et pour les compétences techniques mobilisables, d'autre part. Dans ce qui suit, nous définirons davantage les deux objectifs identifiés.

III.2.2.1.1. Objectif O_1 « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure »

Les équipements du réseau d'assainissement s'usent au fil du temps. Cette action d'usure reflète la diminution de la productivité de l'infrastructure (Fauquert, 2005). Par conséquent, il est important de fournir une gestion patrimoniale de l'infrastructure (Ugarelli & Alegre, 2016). Le succès de la planification d'une telle gestion nécessite de respecter les grands principes suivants tels qu'ils sont repris par Ugarelli & Alegre (2016) :

O : Objectif
 C : Critère
 I : Indicateur

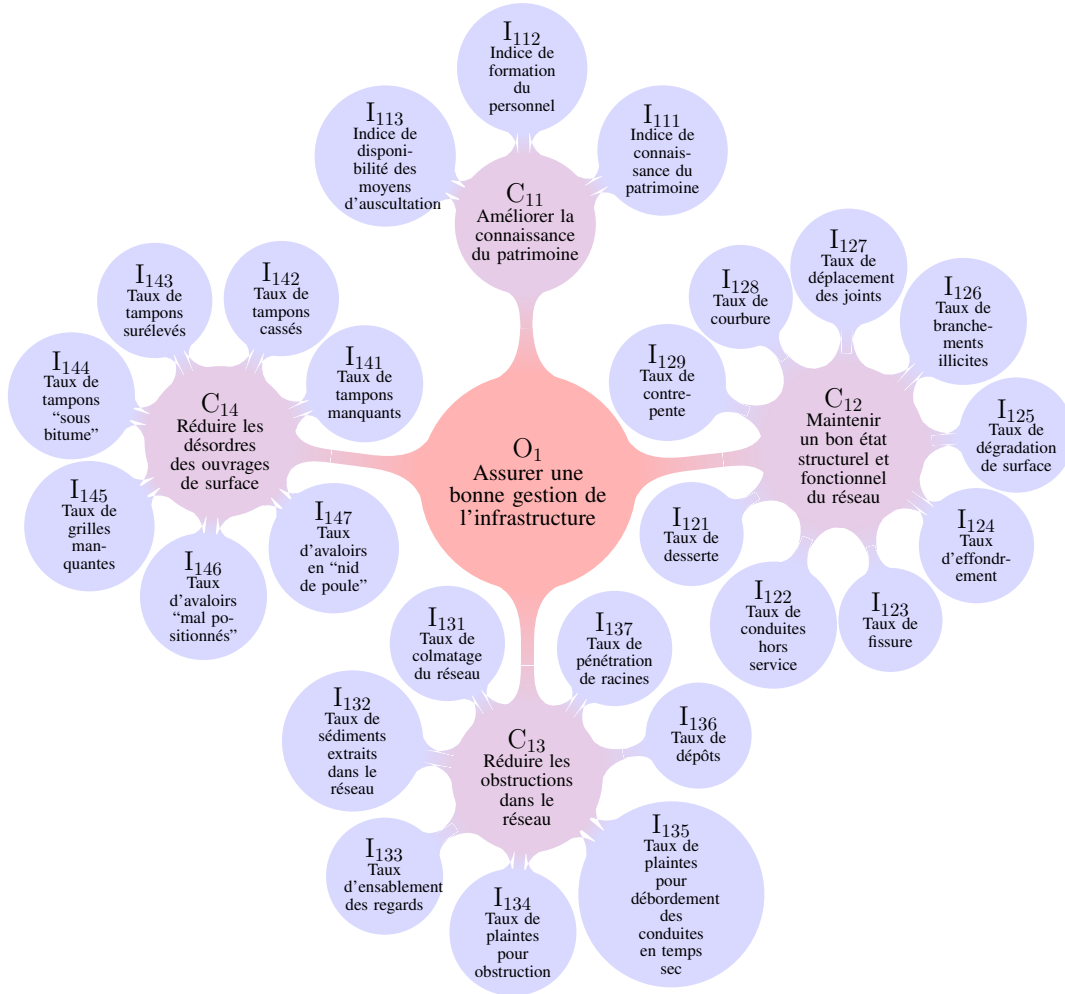


Figure III-2 : Critères et indicateurs liés à O₁.

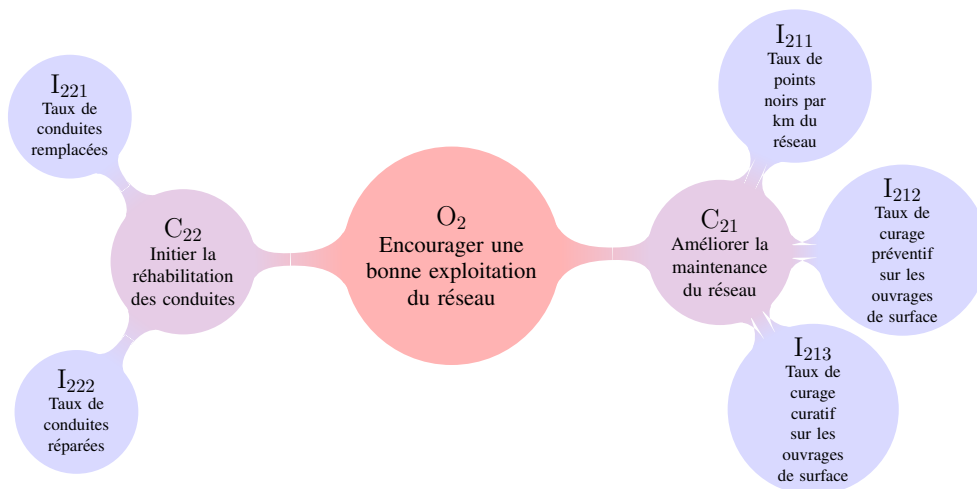


Figure III-3 : Critères et indicateurs liés à O₂.

- Considérer que les infrastructures se comportent comme un système ;
- Planifier à long terme les actions à mener sur la structure du réseau ;
- Répondre aux attentes en matière de performance, de risque et de coût.

Nous rappelons que la gestion de l'infrastructure vise à prolonger la longévité du réseau (Lancelot, 1985) en exécutant certaines opérations. Ces actions se manifestent notamment par l'empêchement de la détérioration de l'infrastructure, l'entretien des ouvrages spéciaux et le maintien en bon état de fonctionnement de l'ensemble du système (Bedjou, 2020). Cette gestion permet également de définir les moyens financiers nécessaires à l'atteinte de ces objectifs en fonctionnement et en investissement (ASTEE, 2015). Il est donc indispensable d'identifier les éléments défaillants avant la perte de service.

Ainsi, la gestion de l'infrastructure du réseau est basée sur une prise de décision efficace pour l'évaluation et la comparaison des alternatives d'interventions (Bedjou, 2020). L'objectif d'une telle approche selon Bedjou (2020) est d'aider les services d'assainissement à mieux maîtriser les notions essentielles suivantes :

- Connaissances sur le service offert ;
- Connaissances actuelles du patrimoine en infrastructures ;
- Prévisions futures sur le service et l'état des infrastructures ;
- Moyens pour la réalisation des objectifs.

Par conséquent, le but recherché par cet objectif est d'assurer une bonne gestion de l'infrastructure en : (a) améliorant la connaissance du patrimoine ; (b) en maintenant un bon état structurel et fonctionnel du réseau ; (c) en réduisant les obstructions dans le réseau et (d) en réduisant les désordres des ouvrages de surface.

III.2.2.1.2. Objectif O₂ « Encourager une bonne exploitation du réseau »

Afin de garantir une gestion patrimoniale efficace, il est important d'intégrer les deux notions suivantes : la gestion de l'état de santé de l'infrastructure et l'exploitation du réseau. Selon ASTEE (2015), il n'y'a pas de limite nette entre ces deux notions, puisque toutes les deux concourent à maintenir le plus longtemps possible le patrimoine en bon état de fonctionnement et de santé. Cependant, elles se distinguent par la différence des actions menées et les capacités techniques et financières déployées. De plus, ce sont souvent des services ou des organisations distinctes qui mettent en œuvre ces deux stratégies.

De ce fait, l'exploitation d'un RAU est avant tout un service fourni aux citoyens pour assurer leur santé, leur sécurité et un milieu de vie de qualité (Dion, 2006). À ces considérations de bases s'ajoutent tous les autres facteurs qui doivent être pris en compte pour mener à bonne fin un projet bien conçu et réalisé dans le respect des objectifs budgétaires et environnementaux.

Dans la littérature, il existe de nombreuses définitions du terme "exploitation". Pour Le Gauffre *et al.* (2004), l'exploitation du patrimoine est un « *ensemble des opérations consistant à faire fonctionner les installations existantes en vue d'obtenir les prestations correspondantes au niveau de qualité convenue* ».

Dion (2006), précise par ailleurs que l'exploitation d'un système urbain constitue l'ensemble des décisions à prendre, des interventions à effectuer et des ressources à mobiliser dans le but de maintenir les ouvrages en bon état de fonctionnement et de la façon la plus efficiente possible. Elle vise, ainsi, à assurer la préservation des performances structurales, fonctionnelles et environnementales.

ASTE (2015), souligne que l'exploitation du SAU correspond à l'ensemble des règles qui régissent l'activité d'un service d'exploitation du RAU, c'est-à-dire toutes les activités qui concourent à faire fonctionner de façon satisfaisante et conforme un réseau existant. Cela concerne majoritairement des activités de fonctionnement : entretien, maintenance programmée et maintenance curative.

La réalisation de cet objectif dans notre cas nécessitera la mise en œuvre de deux conditions essentielles, elles s'agissent de la maintenance du réseau et de la réhabilitation des conduites. Ces deux critères seront expliqués dans les prochaines sections.

III.2.2.2. Identification des critères

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons construit quatre critères C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{14} pour le premier objectif et deux critères C_{21} , C_{22} pour le deuxième objectif. Dans ce qui suit, nous allons expliquer en détail les six critères établis.

III.2.2.2.1. Critère C_{11} « Améliorer la connaissance du patrimoine »

La connaissance du patrimoine constitue la première étape essentielle de la gestion patrimoniale des infrastructures (Florentin & Denis, 2019). En revanche, et contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, les gestionnaires du RAU ne savent pas encore tout sur l'état de leurs réseaux. Ce constat est établi sur la base des références nationales (Benzerra, 2016 ; Boukhari, 2018 ; Bedjou, 2020). Florentin & Denis (2019) décrivent dans leurs rapports que le problème de connaissance du patrimoine peut trouver son explication dans plusieurs origines. Ces raisons peuvent être résumées en deux points essentiels :

1. Les services nouvellement en charge des réseaux ont fait face à un réseau dont ils ne savaient pas grand-chose et qu'il leur fallait littéralement découvrir. La plupart des gestionnaires rencontrés ont ainsi mis au moins cinq ans à établir un inventaire et un diagnostic du réseau ;
2. La production des connaissances du réseau passe d'abord par une série d'opérations parfois laborieuses de reconstitution de l'histoire du réseau. Il s'agit ici de récupérer et de traiter les archives des différentes institutions qui ont eu la charge du réseau dans le passé.

Par conséquent, les gestionnaires des RAU ont tout intérêt à s'appuyer sur des enquêtes de terrain afin de récolter et de transformer des informations de natures variées en données utiles à la gestion patrimoniale. Ces données doivent être générées au fil des interventions quotidiennes par celles et ceux qui sont directement en contact avec le réseau. Cela, va permettre de compléter la connaissance historique et d'alimenter la mémoire du réseau en tenant à jour ses transformations au plus près des réalités du

terrain. À cet égard, la connaissance doit être pensée à la fois comme un instrument et un objet de la gestion patrimoniale (Florentin & Denis, 2019). Elle gagne ainsi à être elle-même « patrimonialisée » et doit pour cela bénéficier d'investissements spécifiques et être soigneusement entretenue. D'où l'intérêt de la nécessité d'améliorer considérablement la connaissance sur les réseaux. Elle impose ainsi aux gestionnaires d'établir un descriptif détaillé de leurs réseaux.

Dans cette présente étude, l'évaluation des trois indicateurs suivants va nous permettre d'évaluer la performance du critère C_{11} :

- ☞ I_{111} : Indice de connaissance du patrimoine ;
- ☞ I_{112} : Indice de formation du personnel ;
- ☞ I_{113} : Indice de disponibilité des moyens d'auscultation.

III.2.2.2.2. Critère C_{12} « Maintenir un bon état structurel et fonctionnel du réseau »

La détermination de l'état structurel et fonctionnel des infrastructures constitue un des piliers importants en vue d'assurer une bonne gestion patrimoniale (Tshumuka, 2010). Ceci implique l'évaluation fréquente des conditions structurelles et hydrauliques du RAU. En effet, le rôle de la structure physique de l'ouvrage consiste, d'une part, à fournir à tout moment le support matériel nécessaire à l'écoulement des eaux d'assainissement dans des conditions adéquates ainsi que, d'autre part, à résister aux sollicitations statiques et dynamiques du sol qui l'encaisse (Aflak, 1994). Il faudra donc surveiller les caractéristiques structurelles du réseau, à savoir, la pente, la résistance à l'attaque mécanique et chimique, les raccords entre les éléments constructifs, l'étanchéité ... etc.

De même, il suffit parfois qu'une partie d'un réseau présente des défaillances pour juger de l'inefficacité fonctionnelle de l'ensemble du réseau (Bengassem, 2001). Cette efficacité fonctionnelle représente la qualité d'hydraulicité qui lui permet d'évacuer les eaux d'assainissement qui comprennent les eaux usées et les eaux pluviales (Aflak, 1994).

Par conséquent, le but recherché par ce critère est de maintenir un bon état structurel et fonctionnel du réseau. L'évaluation de ces deux états dans notre cas passe par l'évaluation des neuf indicateurs suivants :

- ☞ I_{121} : Taux de desserte ;
- ☞ I_{122} : Taux de conduites hors service ;
- ☞ I_{123} : Taux de fissure ;
- ☞ I_{124} : Taux d'effondrement ;
- ☞ I_{125} : Taux de dégradation de surface ;
- ☞ I_{126} : Taux de branchements illicites ;
- ☞ I_{127} : Taux de déplacement des joints ;
- ☞ I_{128} : Taux de courbure ;
- ☞ I_{129} : Taux de contre-pente.

III.2.2.2.3. Critère C_{13} « Réduire les obstructions dans le réseau »

Dans le domaine du réseau d'assainissement, l'obstruction est définie en fonction du type de dépôts accumulés et de la réduction de la section transversale (Vasconcelos, 2005). Cette réduction de section peut être partielle ou totale et elle résulte, en général, des causes suivantes (Triantafillou, 1987) :

- i. La pénétration des racines : ce problème d'intrusion des racines constitue un facteur important d'obstruction des collecteurs. Il caractérise souvent les branchements du réseau en raison de leur emplacement près de la surface et de leur mauvaise construction initiale ;
- ii. Le rejet des objets non conformes aux principes du fonctionnement du réseau : parmi ces rejets, nous retrouvons des rejets des papiers de toilette et d'emballages légers, des rejets de ciment des chantiers urbains ... etc. De même, en période automnale, les feuilles mortes peuvent entraîner l'engorgement des conduites de transfert, si les bouches d'égout ne sont pas régulièrement entretenues ;
- iii. L'encrassement par des dépôts des matériaux solides : cet encrassement résulte de la sédimentation des matières solides, véhiculées par les effluents. Ces matières solides sont de nature minérale et organique dont la composition et la quantité dépendent de la nature du rejet ;
- iv. L'ensablement dans les réseaux unitaires : le problème de présence de sables dans les ouvrages constitue un facteur de réduction de la capacité d'hydraulique et d'obstruction du réseau. Ces dépôts sont composés essentiellement de galets, graviers, sables et argiles.

En effet, l'évaluation de la performance du critère C_{13} passe par l'évaluation des sept indicateurs suivants :

- ☞ I_{131} : Taux de colmatage du réseau ;
- ☞ I_{132} : Taux de sédiments extraits dans le réseau ;
- ☞ I_{133} : Taux d'ensablement des regards ;
- ☞ I_{134} : Taux de plaintes pour obstruction ;
- ☞ I_{135} : Taux de plaintes pour débordement des conduites en temps sec ;
- ☞ I_{136} : Taux de dépôts ;
- ☞ I_{137} : Taux de de pénétration de racines.

III.2.2.2.4. Critère C_{14} « Réduire les désordres des ouvrages de surface »

Nous entendons par désordre des ouvrages de surface toute anomalie présente au niveau des ouvrages d'assainissement reliés à la surface urbaine. Nous considérons les regards et les avaloirs comme étant les principaux ouvrages en relation directe avec la surface urbaine. Parmi ces désordres, nous retrouvons essentiellement : absence ou cassement des tampons des regards et grilles d'avaloirs, surélévation des tampons des regards, mal positionnement des avaloirs ... etc.

En Algérie, ces anomalies sont très fréquentes en raison de la présence des défauts dans la phase initiale de réalisation de l'ouvrage (Benzerra, 2016). Cela revient selon Benzerra (2016) à la faiblesse des maîtres de l'œuvre en matière de savoir-faire, d'une part. D'autre part, au manque de contrôle et de suivi de la part du maître de l'ouvrage qui signe la réception du projet sans vérifier la qualité de tous les ouvrages et travaux réalisés. Par conséquent, les causes des désordres des ouvrages de surface peuvent être résumées en quatre points essentiels :

- i. Étude de conception insuffisante ;
- ii. Mauvaise qualité de réalisation ;
- iii. Choix de matériaux inadapté ;
- iv. Mauvaises conditions d'exploitation.

Par conséquent, l'évaluation des sept indicateurs suivants va nous permettre d'évaluer la performance du critère C_{14} :

- ☞ I_{141} : Taux de tampons manquants ;
- ☞ I_{142} : Taux de tampons cassés ;
- ☞ I_{143} : Taux de tampons surélevés ;
- ☞ I_{144} : Taux de tampons sous bitume ;
- ☞ I_{145} : Taux de grilles manquantes ;
- ☞ I_{146} : Taux d'avaloirs mal positionnés ;
- ☞ I_{147} : Taux d'avaloirs en nid de poule.

III.2.2.2.5. Critère C_{21} « Améliorer la maintenance du réseau »

Dans le domaine de gestion des RAU, la maintenance regroupe l'ensemble des opérations d'exploitation afin de garantir leurs exigences fonctionnelles (Bedjou, 2020). Le Gauffre *et al.* (2004), explique de son côté que la maintenance représente « *toutes les activités destinées à maintenir ou à réhabiliter un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management* ».

Dans notre problématique, la maintenance est soit curative (correction immédiate) ou préventive (maintenance programmée). D'après Vasconcelos (2005), la maintenance curative peut être immédiate, différée ou opérationnelle selon les délais de réponse existant entre la manifestation de l'élément déclencheur de l'intervention et sa réalisation. La maintenance préventive, quant à elle, est réalisée à intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation du fonctionnement du réseau (Vasconcelos, 2005).

L'évaluation de la performance du critère C_{21} passe par l'évaluation de trois indicateurs :

- ☞ I_{211} : Taux de points noirs par km du réseau ;
- ☞ I_{212} : Taux de curage préventif sur les ouvrages de surface ;
- ☞ I_{213} : Taux de curage curatif sur les ouvrages de surface.

III.2.2.2.6. Critère C_{22} « Initier la réhabilitation des conduites »

La réhabilitation des conduites ou la réhabilitation du réseau comprend l'ensemble des opérations qui permettent de rétablir l'état physique des ouvrages (Triantafillou, 1987). Son objectif est la conservation du réseau et la prolongation de sa durée de vie.

Plusieurs autres définitions de la réhabilitation peuvent être relevées dans la littérature. En guise de synthèse, Yahiaoui (2000), Vasconcelos (2005) et Ibrahim (2008) définissent la réhabilitation comme « *toute mesure entreprise pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'évacuation et d'assainissement urbain* ». Ben Tagherouit (2011) précise que la réhabilitation des réseaux vise à modifier physiquement le système ou son mode d'opération pour atteindre un ou plusieurs objectifs. Ces objectifs sont essentiellement l'amélioration des performances structurales, hydrauliques et environnementales.

Par conséquent, la réhabilitation peut être réalisée par une action ou une combinaison d'actions telles que remplacement, rénovation ou encore réparation. Ces différents concepts sont définis dans plusieurs normes, nous retenons les définitions données par Bou Nader (1998) :

- i. Le renouvellement : c'est la construction d'un nouveau collecteur, dont les capacités et les propriétés sont les mêmes que celles de l'ancien ;
- ii. La réparation : c'est la rectification des dégâts structurels, et la reconstruction d'éléments de longueur ;
- iii. La rénovation : c'est la remise en état d'une longueur donnée du réseau existant, pour améliorer ses performances, en excluant tout type d'entretien courant ;
- iv. Le renforcement : en plus du réseau existant, un deuxième améliorera les capacités totales d'écoulement ;
- v. Le remplacement : c'est la construction d'un nouveau collecteur, dont les performances, englobant celles de l'ancien, leur sont en général supérieures.

L'évaluation de la performance du critère C_{22} passe par l'évaluation de deux indicateurs :

- ☞ I_{221} : Taux de conduites remplacées ;
- ☞ I_{222} : Taux de conduites réparées.

III.2.2.3. Identification des indicateurs de performance

Le choix des indicateurs appropriés puis leur validation par l'ONA de Bejaia suivent une logique qui respecte ses capacités déjà très limitées. En effet, nous avons construit au total 31 indicateurs, dont 26 indicateurs associés à O_1 et 5 indicateurs associés à O_2 . Dans ce qui suit, nous allons définir chaque indicateur identifié.

III.2.2.3.1. Indicateurs associés à C_{11}

1) I_{111} « Indice de connaissance du patrimoine »

Les gestionnaires du SAU ont besoin d'une connaissance détaillée du RAU pour gérer convenablement ses composantes (ASTEE, 2015). Par ce fait, cette connaissance doit contenir (AFNOR & FNSA, 2014) :

- ☞ Des données d'inventaire (Type d'effluent, caractéristiques de la canalisation ... etc.);
- ☞ Des informations relatives à l'état (rapports d'inspection, rapports vidéo, des mesures de sédiments);
- ☞ Des informations sur les nettoyages antérieurs (zones à problèmes récurrents);
- ☞ Des données sur les débits (mesures, modèles hydrauliques);
- ☞ Des données sur les performances (inondations, obstructions de canalisations, effondrement, odeurs, problèmes de septicité ... etc.).

Dans le cas de cette étude, cet indice est exprimé en pourcentage (%). Les gestionnaires de l'ONA sont invités à attribuer un chiffre de 0 à 100 % selon la qualité des informations disponibles sur le réseau. Ces pourcentages sont établis sur la base d'échelle proposée par Cousquer *et al.* (2005) :

- ☞ 0 % : absence de plan du réseau;
- ☞ 20 % : plan complet du réseau, mais informations incomplètes sur les tronçons;
- ☞ 40 % : plan du réseau avec informations complètes sur chaque tronçon, mais autres informations relatives aux ouvrages particuliers incomplets;
- ☞ 60 % : informations descriptives complètes sur le réseau et les grands ouvrages;
- ☞ 80 % : informations complètes sur le réseau et les grands ouvrages, comprenant un descriptif complet et existence d'un plan pluriannuel de renouvellement;
- ☞ 100 % : informations complètes sur le réseau et les grands ouvrages, comprenant un descriptif complet et mises en œuvre d'un plan pluriannuel de renouvellement et d'investissements.

2) I₁₁₂ « Indice de formation du personnel »

La formation du personnel occupe une place importante dans la stratégie de développement de l'ONA. En effet, et comme déjà indiqué dans la section I.2.3.4, le CFMA de Boumerdes offre des stages de formation aux personnels sur les règles de base des différents métiers de l'assainissement. Par conséquent, l'indicateur « *Indice de formation du personnel* » vise à prendre connaissance du nombre d'heures de formation du personnel durant la période annuelle d'évaluation.

Cet indicateur est inspiré de la liste d'indicateurs de performance proposés par IWA (Matos *et al.*, 2003). Il est classé dans le groupe « indicateurs du personnel » et dans le sous-groupe « formation du personnel ». La formule de calcul est donnée comme suit :

$$I_{for-per} = \frac{N_{heu}^{for}}{N_{emp}^{tot}} \times 365$$

Avec :

- $I_{for-per}$: Indice de formation du personnel (heures/employés/an);
- N_{heu}^{for} : Nombre d'heures de formation (heures);
- N_{emp}^{tot} : Nombre total d'employés.

3) I_{113} « Indice de disponibilité des moyens d'auscultation »

La réussite du diagnostic d'un RAU dépend directement de la qualité de l'information recueillie lors de l'auscultation (Bengassem, 2001). Cette qualité est affinée par l'organisation d'un programme d'inspection plus ou moins sophistiqué (ASTEE, 2015). Pour cela, il est important de disposer d'abord de moyens d'auscultation nécessaires pour détecter les multiples problèmes et défauts internes du RAU. D'où l'intérêt de ce présent indicateur. En effet, il vise à révéler le pourcentage de disponibilité des principaux moyens d'auscultation chez les gestionnaires du réseau.

Semblablement à I_{111} , cet indice est exprimé en pourcentage (%). Les gestionnaires de l'ONA sont invités à attribuer un chiffre de 0 à 100 % selon les moyens d'auscultation disponibles et les méthodes d'inspection employées. Ces méthodes peuvent inclure (ASTEE, 2015) :

- ☞ Des inspections pédestres ou télévisées des ouvrages ;
- ☞ Des techniques de localisation terrestre ;
- ☞ Un système de géolocalisation (GPS) ;
- ☞ La technique de détection au laser (Lidar).

III.2.2.3.2. Indicateurs associés à C_{12}

1) I_{121} « Taux de desserte »

Le taux de desserte au réseau public d'assainissement est défini comme étant le rapport de la population desservie sur la population résidant dans le périmètre urbain multiplié par 100 (MHA, 2017). Dans ce contexte, l'Algérie a engagé depuis les deux dernières décennies, un programme de développement de l'assainissement sur l'ensemble du territoire national. Ce programme vise notamment à l'amélioration du taux d'accès à l'assainissement. Elle a dans cette optique (CIODD, 2019) :

- ☞ Doublé, depuis 2000, le linéaire de son réseau d'assainissement qui est passé de 21.000 km en 1990 à 47.000 km en 2019. En plus, un programme de réalisation de 2.000 km de réseau est en cours ;
- ☞ Nettement amélioré le taux de desserte : en 1970, seulement 35 % de la population totale estimée à 14.7 millions d'habitants étaient raccordés à un réseau public d'assainissement. Ce taux a atteint 91 % en 2019, avec un taux d'accès à l'assainissement de 95 % en comptabilisant l'assainissement autonome et individuel pour une population qui s'élève à 40 millions d'habitants.

2) I_{122} « Taux de conduites hors service »

Ce présent indicateur est défini comme étant le quotient entre la somme des longueurs des conduites hors service et la longueur totale de toutes les conduites. Les conduites hors service considérées sont celles touchées par les anomalies, citées ci-dessous, durant la période d'évaluation :

- ✓ Colmatage à 100 % de tronçons de conduites ;
- ✓ Effondrement de tronçons de conduites.

La formule de calcul de l'indicateur "taux de conduites hors service" est donnée comme suit :

$$T_{con-hs} = \frac{L_{con-col} + L_{con-eff}}{L_{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{con-hs} : Taux de conduites hors service (%);
- $L_{con-col}$: Longueur des conduites colmatées à 100 %;
- $L_{con-eff}$: Longueur des conduites effondrées;
- L_{tot} : Longueur totale de toutes les conduites.

3) I₁₂₃ « Taux de fissure »

Dans la littérature, il existe plusieurs explications de la fissuration des conduites. Selon Tshumuka (2010), les fissures sont des défauts superficiels fermés qui ne dépassent pas 5 mm de largeur et qui n'entraînent pas de déplacement transversal de la paroi de la conduite. Il est difficile de distinguer les fissures des cassures lorsque les cassures sont fermées du côté intérieur de la paroi. Dans le contexte algérien, plusieurs facteurs sont liés à l'apparition des fissures sur les conduites (ONA, 2018). Certains sont liés à la qualité de la conduite elle-même, d'autres à la qualité des travaux de pose et d'autres, liés, aux surcharges que subit la conduite. Ces fissures peuvent s'évoluer rapidement dans le temps et provoquent l'effondrement de la conduite et de la chaussée.

Cet indicateur est défini comme étant le quotient du nombre d'observations de fissure par le nombre total d'observations effectuées lors de l'auscultation du réseau et pendant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{fiss} = \frac{N_{obs}^{fiss}}{N_{obs}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{fiss} : Taux de fissure (%);
- N_{obs}^{fiss} : Nombre d'observations de fissure;
- N_{obs}^{tot} : Nombre total d'observations.



Figure III-4 : Exemple de fissures dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

4) I_{124} « Taux d'effondrement »

L'effondrement a eu lieu lorsqu'une conduite flexible affiche une variation de diamètre de plus de 25 % ou lorsqu'une conduite rigide a perdu son intégrité structurale (Tshumuka, 2010). Vasconcelos (2005), explique par ailleurs qu'il existe principalement deux types d'effondrement :

- ☞ Effondrement partiel : rupture d'une partie du tronçon sans conduire, à court terme, vers une obstruction totale de la canalisation ;
- ☞ Effondrement total : rupture de la canalisation entraînant la ruine de l'ouvrage et son obstruction totale.

Tout comme l'indicateur précédent, cet indicateur correspond au rapport du nombre d'observations d'effondrement par le nombre total d'observations effectuées lors des inspections télévisées. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{eff} = \frac{N_{obs}^{eff}}{N_{obs}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{eff} : Taux d'effondrement (%) ;
- N_{obs}^{eff} : Nombre d'observations d'effondrement ;
- N_{obs}^{tot} : Nombre total d'observations.



Figure III-5 : Exemple d'un effondrement dans une conduite du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

5) I_{125} « Taux de dégradation de surface »

C'est un désordre peu évolutif dans le temps et qui survient dans les zones de fortes pentes favorisant les vitesses excessives (ONA, 2018). Ces fortes vitesses de l'eau chargée entraînent la dégradation de surface des conduites. Il y'a lieu de préciser également que ces dommages de surface sont dus essentiellement aux attaques chimiques et biologiques (Tshumuka, 2010). En effet, le rejet d'effluents non conformes à la réglementation et l'inadaptation des matériaux constituent les principales causes des dégradations de surface des conduites du RAU (Vasconcelos, 2005).

Cet indicateur est défini comme étant le quotient du nombre d'observations de dégradation de surface par le nombre total d'observations effectuées lors de l'auscultation du réseau

et pendant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{\text{Dé-su}} = \frac{N_{\text{obs}}^{\text{Dé-su}}}{N_{\text{obs}}^{\text{tot}}} \times 100$$

Avec :

- $T_{\text{Dé-su}}$: Taux de dégradation de surface (%);
- $N_{\text{obs}}^{\text{Dé-su}}$: Nombre d'observations de dégradation de surface;
- $N_{\text{obs}}^{\text{tot}}$: Nombre total d'observations.



Figure III-6 : Exemples de dégradation de surface dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

6) I_{126} « Taux de branchements illicites »

Les branchements illicites relevés sur la structure des RAU sont dans leur majorité des branchements individuels (ONA, 2018). En effet, et dans le contexte algérien, l'autorisation de branchement particulier est délivrée par une simple demande à une commission de la Daïra et la réalisation du branchement se fait par le demandeur de branchement lui-même. L'absence de regard pousse l'individu à se brancher directement sur la conduite.

De plus, le branchement se fait par un trou sur la conduite par des moyens non adaptés, ce qui entraîne l'apparition des fissures dans la conduite et de ce fait des infiltrations et exfiltrations. Cette action entraîne aussi des problèmes de fonctionnement en raison de la pénétration du branchement jusqu'à l'intérieur de la conduite (Berland, 2004).

Par conséquent, l'indicateur " *taux de branchements illicites* " correspond au quotient du nombre d'observations de branchements illicites par le nombre total d'observations effectuées lors des inspections télévisées. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{\text{Bra-ill}} = \frac{N_{\text{obs}}^{\text{Bra-ill}}}{N_{\text{obs}}^{\text{tot}}} \times 100$$

Avec :

- $T_{\text{Bra-ill}}$: Taux de branchements illicites (%);
- $N_{\text{obs}}^{\text{Bra-ill}}$: Nombre d'observations de branchements illicites;
- $N_{\text{obs}}^{\text{tot}}$: Nombre total d'observations.



Figure III-7 : Exemples de branchements illicites dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

7) I_{127} « Taux de déplacement des joints »

On parle de déplacement des joints lorsque la conduite présente un déplacement latéral à l'emplacement d'un joint (Tshumuka, 2010). Il apparaît notamment dans les premières années de réalisation, puis la conduite se stabilise après tassement du sol (ONA, 2018). Ce défaut est lié à plusieurs facteurs notamment (Tshumuka, 2010 ; ONA, 2018) :

- ☞ La nature des joints des conduites ;
- ☞ Les charges en surface ;
- ☞ Une perte de support latéral due à des travaux de construction à proximité ;
- ☞ Une insuffisance de dispositifs de retenue à l'emplacement des coudes et des tés ;
- ☞ Des erreurs de construction initiale ;
- ☞ Des secousses sismiques.

Semblablement aux indicateurs précédents, le " taux de déplacement des joints " se réfère au rapport du nombre d'observations de déplacement des joints par le nombre total d'observations effectuées lors des inspections télévisées. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{\text{Dép-joi}} = \frac{N_{\text{obs}}^{\text{Dép-joi}}}{N_{\text{obs}}^{\text{tot}}} \times 100$$

Avec :

- $T_{\text{Dép-joi}}$: Taux de déplacement des joints (%) ;
- $N_{\text{obs}}^{\text{Dép-joi}}$: Nombre d'observations de déplacement des joints ;
- $N_{\text{obs}}^{\text{tot}}$: Nombre total d'observations.

8) I_{128} « Taux de courbure »

La conception des tracés et la qualité des travaux de pose sont à l'origine de présence de courbures dans les collecteurs. Ces courbures ne sont pas évolutives dans le temps et ne constituent pas un défaut majeur dans le fonctionnement du réseau (ONA, 2018). Cependant, elles peuvent gêner l'inspection des conduites.

Par conséquent, l'indicateur " *taux de courbure* " est défini comme étant le quotient du nombre d'observations de courbure par le nombre total d'observations effectuées lors de

l'auscultation du réseau et pendant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{cou} = \frac{N_{obs}^{cou}}{N_{obs}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{cou} : Taux de courbure (%);
- N_{obs}^{cou} : Nombre d'observations de courbure;
- N_{obs}^{tot} : Nombre total d'observations.

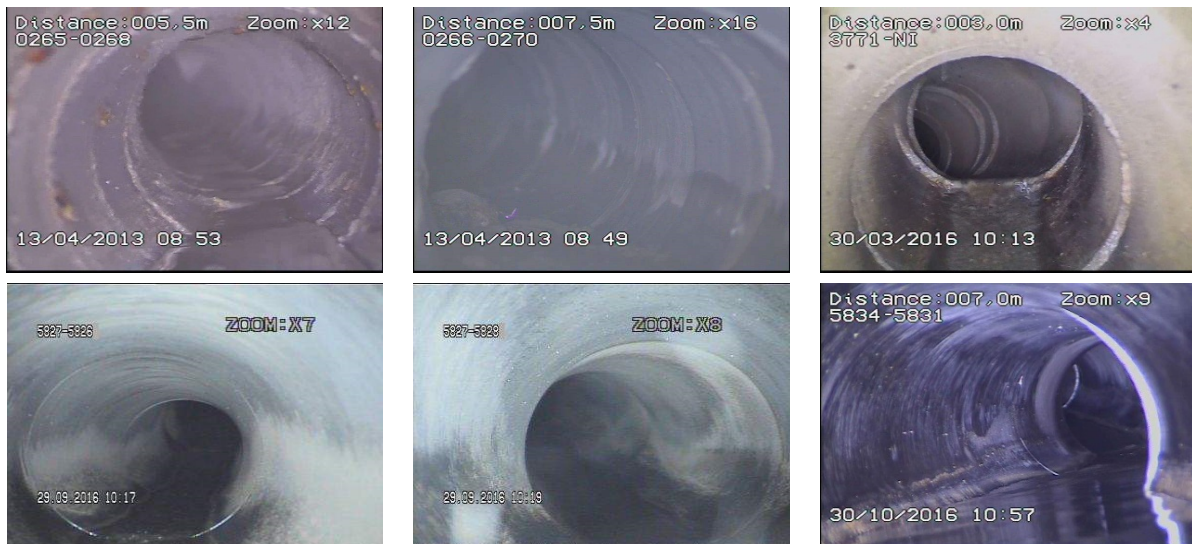


Figure III-8 : Exemples de courbures dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

9) I_{129} « Taux de contre-pente »

De la même manière que les indicateurs précédents, le taux de contre-pente correspond au rapport du nombre d'observations de contre-pente par le nombre total d'observations effectuées lors des inspections télévisées. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{con-pen} = \frac{N_{obs}^{con-pen}}{N_{obs}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- $T_{con-pen}$: Taux de contre-pente (%);
- $N_{obs}^{con-pen}$: Nombre d'observations de contre-pente;
- N_{obs}^{tot} : Nombre total d'observations.

Ces contre-pentes sont des problèmes structurels liés à la qualité des travaux de pose. Ils génèrent de la stagnation des eaux, qui peuvent évoluer dans le temps par le cumul des dépôts (ONA, 2018).

III.2.2.3.3. Indicateurs associés à C_{13}

1) I_{131} « Taux de colmatage du réseau »

Les eaux usées et pluviales transportées par les réseaux d'assainissement contiennent des particules solides en concentration variable (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2006). Si la vitesse d'écoulement n'est pas suffisante, les sédiments peuvent s'accumuler progressivement et conduire à une obstruction quasiment complète du collecteur.

Par conséquent, cet indicateur est défini comme étant le quotient du linéaire du réseau colmaté par le linéaire total du réseau, durant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{col}^{rés} = \frac{L_{rés}^{col}}{L_{rés}^{tot}} \times 100$$

Avec :

$T_{col}^{rés}$: Taux de colmatage du réseau (%);

$L_{rés}^{col}$: linéaire du réseau colmaté;

$L_{rés}^{tot}$: linéaire total du réseau.

2) I_{132} « Taux de sédiments extraits dans le réseau »

La gestion des sédiments demeure une action essentielle au bon fonctionnement hydraulique du réseau (Visiedo, 2013). En effet, l'accumulation des sédiments est à l'origine des contraintes d'exploitation du RAU par les gestionnaires (Hemmerle *et al.*, 2013). Il est donc utile d'estimer la quantité des sédiments extraits dans le réseau.

Par conséquent, l'indicateur « taux de sédiments extraits dans le réseau » est défini comme étant le rapport du volume de sédiments extraits par le volume total du réseau, durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{séd}^{ext} = \frac{V_{séd}^{ext}}{V_{rés}^{tot}} \times 100$$

Avec :

$T_{séd}^{ext}$: Taux de sédiments extraits (%);

$V_{séd}^{ext}$: Volume de sédiments extraits (m^3);

$V_{rés}^{tot}$: Volume total du réseau (m^3).



Figure III-9 : Exemples de sédiments extraits du RAU de la ville de Bejaia.

3) I_{133} « Taux d'ensablement des regards »

Lorsque les particules de sable transportées par les eaux de ruissellement se déposent dans les regards, on dit qu'il y'a ensablement des regards (Diop, 2006). Ce phénomène entraîne une réduction de la capacité d'évacuation des regards, ce qui explique leur incapacité à prendre en charge la totalité des eaux de ruissellement (Diop, 2006).

Le taux d'ensablement des regards est défini comme étant le quotient du nombre de regards ensablés par le nombre total des regards, durant la période d'évaluation. La mode de calcul est le suivant :

$$T_{reg}^{ens} = \frac{N_{reg}^{ens}}{N_{reg}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{reg}^{ens} : Taux de regards ensablés (%);
- N_{reg}^{ens} : Nombre de regards ensablés;
- N_{reg}^{tot} : Nombre total de regards.

4) I_{134} « Taux de plaintes pour obstruction »

Cet indicateur est défini comme étant le quotient du nombre de plaintes pour cause d'obstruction par le nombre total de plaintes enregistrées, durant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{plai}^{obst} = \frac{N_{plai}^{obst}}{N_{plai}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{plai}^{obst} : Taux de plaintes pour obstruction (%);
- N_{plai}^{obst} : Nombre de plaintes pour obstruction;
- N_{plai}^{tot} : Nombre total de plaintes.

Ce présent indicateur nécessite seulement l'enregistrement de toutes les plaintes, formulées dans ce sens (Benzerra, 2016). Il recouvre celles formulées par téléphone, par lettre ou lorsque c'est la personne concernée qui s'est personnellement déplacée au siège de l'entreprise gestionnaire pour déposer sa plainte. Toutes ces plaintes doivent être prises en considération pendant la période d'évaluation.

5) I_{135} « Taux de plaintes pour débordement des conduites en temps sec »

De la même manière que l'indicateur précédent, ce taux est défini comme étant le rapport du nombre de plaintes pour débordement des conduites en temps sec par le nombre total de plaintes. Le temps sec correspond aux trois mois d'été, à savoir, juin, juillet et août. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{plai-déb}^{tem-sec} = \frac{N_{plai-déb}^{tem-sec}}{N_{plai}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- $T_{plai-déb}^{tem-sec}$: Taux de plaintes pour débordement des conduites en temps sec (%);
- $N_{plai-déb}^{tem-sec}$: Nombre de plaintes pour débordement des conduites en temps-sec;
- N_{plai}^{tot} : Nombre total de plaintes.

6) I₁₃₆ « Taux de dépôts »

Les dépôts apparaissent en général dans les collecteurs de faibles vitesses, ou suite, à des obstacles durs comme les déchets du béton et les bois de coffrage (ONA, 2018). Ce désordre est très évolutif dans le temps et peut entraîner selon ONA (2018) : (i) la diminution de la capacité hydraulique des conduites, (ii) la fermentation des matières organiques et (iii) l'obstruction totale des conduites. Vasconcelos (2005), précise également que les types de dépôts peuvent être résumés en quatre points essentiels :

- ☞ Dépôts de sédiments : accumulation de matières solides véhiculées par l'effluent. Présence localisée ou continue d'une couche de matériaux solides en radier (boues, sables ... etc.);
- ☞ Dépôts ou résidus de chantier : accumulation de matériaux solides lors de travaux ;
- ☞ Dépôts de graisse : accumulation de matières grasses, véhiculées par l'effluent et adhérents à l'intrados de l'ouvrage ;
- ☞ Dépôts de concrétions : cristallisation sous forme de carbonates de diverses compositions (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ... etc.).

Dans cette étude, ce taux de dépôts correspond au rapport du nombre d'observations de dépôts par le nombre total d'observations effectuées lors des inspections télévisées. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{dép} = \frac{N_{obs}^{dép}}{N_{obs}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- $T_{dép}$: Taux de dépôts (%);
- $N_{obs}^{dép}$: Nombre d'observations de dépôts;
- N_{obs}^{tot} : Nombre total d'observations.



Figure III-10 : Exemples de dépôts dans les conduites du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

7) I₁₃₇ « Taux de pénétration de racines »

Ce problème affecte les canalisations construites à proximité d'arbres et de végétation arbustive (Vasconcelos, 2005). De plus, ces racines peuvent atteindre un ouvrage à grande profondeur (racines pénétrantes) ou à grande distance (racines traçantes). Ce phénomène peut être accentué en sol sec, car les racines tentent de pénétrer dans la canalisation à la recherche d'eau (Belhadj, 1994 ; Vasconcelos, 2005 ; ONA, 2018).

En effet, le présent indicateur " *taux de pénétration de racines* " est défini comme étant le quotient du nombre d'observations de pénétration de racines par le nombre total d'observations effectuées lors de l'auscultation du réseau et pendant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{\text{pén-rac}} = \frac{N_{\text{obs}}^{\text{pén-rac}}}{N_{\text{obs}}^{\text{tot}}} \times 100$$

Avec :

- $T_{\text{pén-rac}}$: Taux de pénétration de racines (%);
- $N_{\text{obs}}^{\text{pén-rac}}$: Nombre d'observations de pénétration de racines;
- $N_{\text{obs}}^{\text{tot}}$: Nombre total d'observations.



Figure III-11 : Exemple de pénétration de racines dans une Conduite du RAU de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

III.2.2.3.4. Indicateurs associés à C₁₄

1) I₁₄₁ « Taux de tampons manquants »

D'après l'enquête effectuée par Bedjou, 2016, les tampons des regards dans certaines villes algériennes sont à 60 % en béton et à 40 % en fonte.

Cet indicateur est défini comme étant le quotient du nombre de regards sans tampons par le nombre total de regards durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est le suivant :

$$T_{\text{tam}}^{\text{man}} = \frac{N_{\text{tam}}^{\text{man}}}{N_{\text{reg}}^{\text{tot}}} \times 100$$

Avec :

- $T_{\text{tam}}^{\text{man}}$: Taux de tampons manquants (%);
- $N_{\text{tam}}^{\text{man}}$: Nombre de tampons manquants;

N_{reg}^{tot} : Nombre total de tampons ou de regards.



Figure III-12 : Quelques regards sans tampon dans la ville de Bejaia.

2) I_{142} « Taux de tampons cassés »

La forme de dommage la plus fréquente des regards est la casse de leurs couvercles. En effet, le cassement de ces tampons peut trouver son explication dans :

- ✓ La mauvaise qualité du matériau du tampon ;
- ✓ La dégradation du matériau du tampon ;
- ✓ Le passage fréquent de véhicules et d'engins à proximité ou au-dessus des regards.

Ce taux de tampons cassés correspond au rapport du nombre de regards avec tampons cassés par le nombre total de regards durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{tam}^{cass} = \frac{N_{tam}^{cass}}{N_{reg}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{tam}^{cass} : Taux de tampons cassés (%) ;
- N_{tam}^{cass} : Nombre de tampons cassés ;
- N_{reg}^{tot} : Nombre total de regards.



Figure III-13 : Quelques regards avec tampons cassés dans la ville de Bejaia.

3) I_{143} « Taux de tampons surélevés »

La surélévation des regards a eu lieu lorsque les tampons se trouvent à quelque 15 cm en surélévation par rapport au niveau de la chaussée. Le problème se pose notamment lorsque les regards surélevés se trouvent dans une montée de la route. En effet, les automobilistes se trouvent incapables de franchir ces tampons surélevés sans s'arrêter carrément. D'où la nécessité d'effectuer un démarrage en côte sur une montée. Il suffit alors que le moteur d'un poids lourd chargé cale, pour que cela puisse causer de multiples accidents routiers.

L'indicateur " *taux de tampons surélevés* " est défini comme étant le quotient du nombre de regards avec tampon surélevés par le nombre total de regards pendant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{tam}^{sur} = \frac{N_{tam}^{sur}}{N_{reg}^{tot}} \times 100$$

Avec :

T_{tam}^{sur} : Taux de tampons surélevés (%);

N_{tam}^{sur} : Nombre de tampons surélevés;

N_{reg}^{tot} : Nombre total de regards.



Figure III-14 : Quelques tampons surélevés dans la ville de Bejaia.

4) I_{144} « Taux de tampons sous bitume »

Le tampon sous bitume est l'un des problèmes majeurs des regards dans les villes algériennes. La principale raison de ce problème est l'absence de communication et de coordination entre les deux services techniques d'hydraulique et des travaux publics de l'APC. Une telle situation a obligé les gestionnaires de l'ONA de confier la tâche de l'enlèvement du bitume couvrant les regards aux parties spécialisées.

Ce présent indicateur I_{144} correspond au rapport du nombre de tampons sous bitume par le nombre total de regards durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{tam}^{sous-bit} = \frac{N_{tam}^{sous-bit}}{N_{reg}^{tot}} \times 100$$

Avec :

$T_{tam}^{sous-bit}$: Taux de tampons sous-bitume (%);

$N_{tam}^{sous-bit}$: Nombre de regards ou tampons sous-bitume;

N_{reg}^{tot} : Nombre total de regards.



Figure III-15 : Quelques tampons sous-bitume dans la ville de Bejaia.



Figure III-16 : Exemples d'opérations de l'enlèvement du bitume couvrant les regards.

5) I_{145} « Taux de grilles manquantes »

Dans les villes algériennes, on constate souvent l'absence des grilles des avaloirs. Cela, peut causer un danger pour la sécurité des citadins, des automobilistes et même les animaux.

Ce taux de grilles manquantes correspond au rapport du nombre d'avaloirs sans grilles par le nombre total d'avaloirs durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{gri}^{man} = \frac{N_{gri}^{man}}{N_{ava}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{gri}^{man} : Taux de grilles manquantes (%);
- N_{gri}^{man} : Nombre de grilles manquantes;
- N_{ava}^{tot} : Nombre total d'avaloirs ou de grilles.



Figure III-17 : Quelques avaloirs sans grille dans la ville de Bejaia.

6) I_{146} « Taux d'avaloirs mal positionnés »

Dans notre cas, nous entendons par un avaloir mal positionné tout avaloir conçu incorrectement. En d'autres termes, il se trouve dans une fausse ou mauvaise place. Ce problème engendre notamment la stagnation et la non-évacuation des eaux pluviales.

En effet, l'indicateur " *taux d'avaloirs mal positionnés* " est défini comme étant le quotient du nombre d'avaloirs mal positionnés par le nombre total d'avaloirs pendant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{ava}^{mal-pos} = \frac{N_{ava}^{mal-pos}}{N_{ava}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- $T_{ava}^{mal-pos}$: Taux d'avaloirs mal positionnés (%);
- $N_{ava}^{mal-pos}$: Nombre d'avaloirs mal positionnés;
- N_{ava}^{tot} : Nombre total d'avaloirs.



Figure III-18 : Exemple d'un avaloir mal positionné dans la ville de Bejaia.

7) I_{147} « Taux d'avaloirs en nid de poule »

Pour des raisons de confort et de sécurité, un avaloir doit être conçu au même niveau que la voirie (Benzerra, 2016). Malheureusement, dans beaucoup de cas, cette norme de conception n'est pas respectée en Algérie.

Par conséquent, ce présent indicateur I_{147} correspond au rapport du nombre d'avaloirs en nid de poule par le nombre total d'avaloirs durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{ava}^{nid-poule} = \frac{N_{ava}^{nid-poule}}{N_{ava}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- $T_{ava}^{nid-poule}$: Taux d'avaloirs en nid de poule (%);
- $N_{ava}^{nid-poule}$: Nombre d'avaloirs en nid de poule;
- N_{ava}^{tot} : Nombre total d'avaloirs.



Figure III-19 : Quelques avaloirs en nid de poule dans la ville de Bejaia.

III.2.2.3.5. Indicateurs associés à C_{21}

1) I_{211} « Taux de points noirs par km du réseau »

Un point noir sur le réseau est selon Cousquer *et al.* (2005) un site structurellement sensible (contre-pente, intrusion de racines, déversement anormal par temps sec). Il se caractérise par la répétition du problème ou par l'obligation d'y intervenir au moins 2 fois par an.

Une autre définition donnée par FNCCR (2009), explique que le point noir constitue tout point du réseau qui nécessite au moins deux curages (curatifs ou préventifs) par an. Il faut préciser également qu'un point noir n'est pas nécessairement le fait d'une mauvaise conception du système de collecte, mais qu'il est parfois le fait de certaines contraintes.

Kellouche (2019), précise par ailleurs que dans le contexte algérien, les principales causes de ces points noirs sont : le sous-dimensionnement, la dégradation, le colmatage et la cassure des conduites. De ce fait, l'objectif de l'indicateur " taux de points noirs par km du réseau " est le recensement et le suivi des points noirs dans le RAU. Il indique le nombre de points noirs par centaines de km.

2) I_{212} « Taux de curage préventif sur les ouvrages de surface »

Le curage préventif consiste à effectuer des interventions sur certains ouvrages du RAU dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance (Poinard, 2006). Il permet de : (a) garantir la performance, (b) maintenir la valeur du patrimoine, (c) prolonger la durée d'exploitation et (d) permettre l'inspection ou la rénovation du réseau.

Nous considérons les regards et les avaloirs comme étant les principaux ouvrages de surface. Par conséquent, l'indicateur " *taux de curage préventif sur les ouvrages de*

surface " est défini comme étant le quotient du nombre de regards et avaloirs curés à titre préventif par le nombre total des regards et avaloirs durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{cp} = \frac{N_{ouv}^{cp}}{N_{ouv}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{cp} : Taux de curage préventif sur les ouvrages de surface (%);
- N_{ouv}^{cp} : Nombre de regards et avaloirs curés à titre préventif;
- N_{ouv}^{tot} : Nombre total des regards et avaloirs.



Figure III-20 : Quelques opérations de curage préventif sur les ouvrages de surface dans la ville de Bejaia.

3) I_{213} « Taux de curage curatif sur les ouvrages de surface »

Le curage curatif est effectué après défaillance (Poinard, 2006), il est caractérisé par son caractère aléatoire et requiert de grandes ressources humaines et matérielles. Il permet de : (a) éliminer une obstruction afin de restaurer l'écoulement, (b) restaurer la fonction du réseau, (c) éliminer les dépôts afin de réduire les problèmes d'odeurs.

Tout comme l'indicateur précédent, les ouvrages de surface se réfèrent aux regards et avaloirs. Cet indicateur correspond au rapport du nombre de regards et avaloirs curés à titre curatif par le nombre total des regards et avaloirs durant la période d'évaluation. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{cc} = \frac{N_{ouv}^{cc}}{N_{ouv}^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{cc} : Taux de curage curatif sur les ouvrages de surface (%);
- N_{ouv}^{cc} : Nombre de regards et avaloirs curés à titre curatif;
- N_{ouv}^{tot} : Nombre total des regards et avaloirs.



Figure III-21 : Quelques opérations de curage curatif sur les ouvrages de surface dans la ville de Bejaia.

III.2.2.3.6. Indicateurs associés à C_{22}

1) I_{221} « Taux de conduites remplacées »

Comme déjà expliqué dans la définition du C_{22} , le remplacement se concrétise par l'implantation de nouvelles conduites à la place des anciennes (Triantafillou, 1987). Les fonctions, de nouveaux collecteurs, peuvent être les mêmes ou améliorées par rapport à celles des anciens.

Cette technique de remplacement est une méthode classique, couramment utilisée jusqu'à présent pour faire face à la détérioration des matériaux. Cependant, ce type d'intervention est devenu une solution de plus en plus chère puisqu'elle exige beaucoup de travaux d'excavation. De plus, les possibilités de son application restent limitées en raison de la difficulté de l'ouverture de chantiers dans les centres des grandes villes. Ce présent indicateur est donc défini comme étant le quotient de la longueur des canalisations remplacées par la longueur totale du réseau. Le mode de calcul est le suivant :

$$T_{con}^{Rem} = \frac{L_{con}^{Rem}}{L^{tot}} \times 100$$

Avec :

- T_{con}^{Rem} : Taux de conduites remplacées (%);
- L_{con}^{Rem} : Longueur de conduites remplacées;
- L^{tot} : Longueur totale du réseau.



Figure III-22 : Exemple de remplacement d'une conduite dans la ville de Bejaia.

2) I₂₂₂ « Taux de conduites réparées »

De la même manière que l'indicateur précédent, le taux de conduites réparées correspond au rapport de la longueur des canalisations réparées par la longueur totale du réseau durant la période d'évaluation. Le mode de calcul est donné comme suit :

$$T_{con}^{Rép} = \frac{L_{con}^{Rép}}{L^{tot}} \times 100$$

Avec :

- $T_{con}^{Rép}$: Taux de conduites réparées (%);
- $L_{con}^{Rép}$: Longueur de conduites réparées;
- L^{tot} : Longueur totale du réseau.

Il y'a lieu de préciser que ces réparations visent à rectifier les défauts et les dommages localisés (par exemple des fuites). Ils s'agissent des interventions ponctuelles qui concernent les faibles longueurs et ne devraient pas modifier sensiblement le résultat global (Cousquer *et al.*, 2005).

III.2.3. Processus d'évaluation de la performance

Comme déjà expliquée dans la section II.4, l'évaluation de la performance d'un objectif particulier nécessite plusieurs étapes d'agrégation. Afin d'appliquer toutes ces agrégations, nous avons choisi la méthode de la somme pondérée pour sa simplicité et sa clarté. Pour donner un poids à chaque élément de décision, le choix a été fixé sur la méthode FAHP. Dans ce qui vient, nous allons expliquer davantage ces deux méthodes.

III.2.3.1. Méthode d'agrégation choisie

L'agrégation des indicateurs nécessite une grande clarté et une simplicité de réalisation, c'est pourquoi nous avons opté pour la méthode de la somme pondérée (dite aussi la méthode des additions linéaire). La somme pondérée est l'une des méthodes les plus utilisées (Benzerra, 2016; Hamchaoui, 2017), elle consiste à attribuer une note de performance à chaque indicateur, qui sera multiplié par un coefficient de pondération.

$$P(O_K) = \sum_{j=1}^{n_j} P(C_{Kj})W_j$$

Avec :

- $P(O_K)$: valeur de performance de l'objectif O_K ;
- $P(C_{Kj})$: valeur de performance du critère C_j associé à l'objectif O_K ;
- W_j : Valeur du coefficient de pondération du critère C_j ;
- n_j : Nombre de critères associés à l'objectif O_K .

III.2.3.2. Méthode de pondération choisie

Le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP) introduit par Thomas Saaty (1980), est l'une des approches les plus utilisées dans l'analyse multicritère d'aide à la décision. Cette méthode procède par combinaisons deux à deux des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport aux éléments du niveau supérieur (Kessili & Benmamar, 2016). La méthode commence par la définition de l'objectif principal à atteindre, à partir de là, elle décompose cet objectif en une structure hiérarchique de critères et de sous critères d'évaluation. Dans le dernier niveau hiérarchique, nous retrouvons les éléments à évaluer. Parmi les avantages de cette méthode, nous retiendrons sa capacité de structurer un problème complexe et multicritère.

Par ailleurs, l'AHP possède certains inconvénients : elle ne présente pas les avantages possibles de la gestion des jugements imprécis lors de la conversion des échelles verbales en une échelle numérique. Cela est dû à l'incertitude des comparaisons par paires. Par conséquent, et afin de résoudre l'incertitude des évaluations linguistiques, plusieurs chercheurs (Balusa & Gorai, 2019; Biswas *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2009) préconisent l'intégration de la logique floue avec AHP, ce qui donne, Fuzzy AHP (FAHP). Cette méthode est relativement nouvelle. Elle est introduite par Van Laarhoven & Pedrycz (1983) qui représente l'extension de l'AHP pour la prise de décision dans un environnement incertain et flou. En effet, elle prend en compte l'incertitude associée au jugement humain. Elle permet d'offrir une conversion floue de l'échelle verbale en échelle numérique. Ceci est rendu possible à travers l'incorporation des nombres flous dans les comparaisons par paire. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'utiliser la FAHP. Son application repose sur les principes fondamentaux suivants :

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. Pour remplir les matrices de préférence, une échelle de valeurs doit être choisie pour l'identification du degré d'importance d'un élément par rapport à un autre. Le tableau III-1 représente l'échelle d'importance adoptée pour chaque niveau de la hiérarchie. Elle permet au décideur d'introduire les jugements de manière à se rapprocher le plus possible de la réalité.

Tableau III-1 : Échelle d'importance utilisée pour les comparaisons par paire (Khashei-Siuki *et al.*, 2020).

Variable linguistique	Note numérique	Nombres flous	Nombres flous réciproques
Extrêmement fort	9	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)
Intermédiaire	8	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)
Très fort	7	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Intermédiaire	6	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
Fort	5	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Intermédiaire	4	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
Moyennement fort	3	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Intermédiaire	2	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
Aussi fort	1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

4. Déterminer le poids de chaque élément de décision. Pour se faire, la procédure de calcul se résume comme suit :

- a) Calculer la moyenne géométrique : pour chaque ligne des matrices constituées lors de l'étape précédente. La moyenne géométrique floue est déterminée à l'aide de la formule suivante : $\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n}$ avec \tilde{r}_i : moyenne géométrique ; \tilde{a}_{ij} : la valeur floue du nombre 1 jusqu'à nombre j ; n : le nombre des éléments. le produit entre deux nombres flous $\tilde{a} = (l_1, m_1, n_1)$ et $\tilde{b} = (l_2, m_2, n_2)$ est défini par $\tilde{a} \otimes \tilde{b} = (l_1 l_2, m_1 m_2, n_1 n_2)$ avec $l_1 \leq m_1 \leq n_1$ et $l_2 \leq m_2 \leq n_2$.
- b) Déterminer le poids flou d'un élément i avec l'expression suivante : $\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}$ avec \tilde{w}_i : Poids flou et les lois utilisées lors de l'application sont $\tilde{a} \oplus \tilde{b} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, n_1 + n_2)$ et $(\tilde{a})^{-1} = (1/n_1, 1/m_1, 1/l_1)$.
- c) Calculer le poids normalisé avec la formule suivante : $w_i = A_i / \sum_{i=1}^n A_i$ avec A_i : la moyenne arithmétique des trois composantes du poids flou.

5. Vérifier la cohérence des jugements. Pour cela, nous devons calculer le ratio de consistance CR . Si $CR \leq 0.1$, la matrice est considérée comme suffisamment cohérente, autrement, les évaluations nécessitent une révision pour réduire les incohérences (Boukhari, 2018). Le ratio est donné par $CR = CI/RI$, avec RI des coefficients de cohérences aléatoires qui sont déterminés à partir du tableau III-2 et $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$. λ_{max} représente la valeur propre, elle est déterminée à partir de la formule suivante : $\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n M_{ij} w_i / w_i$ avec M_{ij} : la matrice de préférence non-floue établie dans l'étape 3.

Tableau III-2 : Valeurs du coefficient RI (Benzerra *et al.*, 2012).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

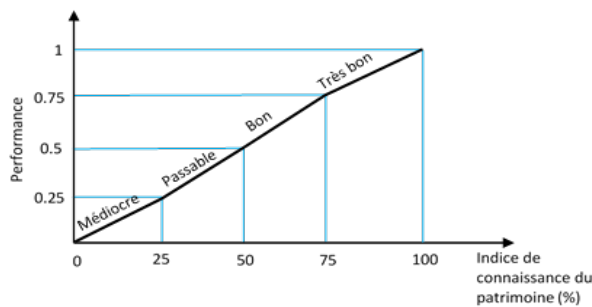
III.2.3.3. Calcul de la performance de O_1 et O_2

Comme déjà expliquée précédemment, la mesure de la performance de O_1 et O_2 passe par plusieurs étapes. La construction des échelles de performances pour chaque indicateur

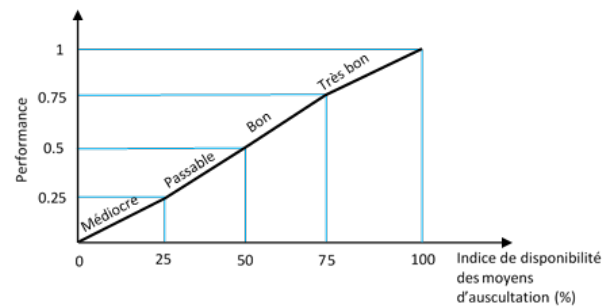
défini est l'une des étapes primordiales. En effet, ces fonctions permettent de transformer les données brutes en notes de performance. Dans ce qui suit, nous allons exposer les échelles de performance construites pour chaque indicateur.

III.2.3.3.1. Calcul de la performance des indicateurs associés à C_{11}

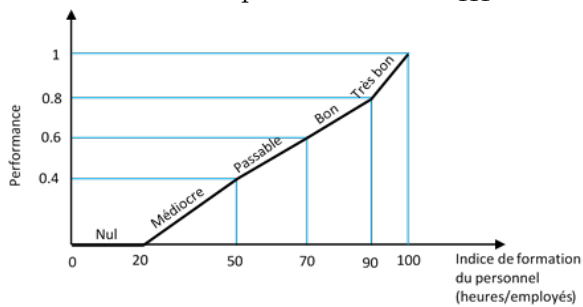
Les fonctions de performances construites pour évaluer les trois indicateurs associés à C_{11} sont définies dans la figure III-23. Par exemple, la performance des deux indicateurs I_{111} et I_{112} est meilleure quand le pourcentage varie de 75 % à 100 %. Lorsque ce dernier est compris entre 50 % et 75 %, la performance se situe dans la bonne classe. Par contre, si le pourcentage fluctue entre 25 et 50 %, la performance est, dans ce cas-là, passable. Enfin, la performance est médiocre lorsque l'indice est inférieur ou égal à 25 %.



Échelle de performance de I_{111}



Échelle de performance de I_{112}



Échelle de performance de I_{113}

Figure III-23 : Échelles de performance des indicateurs associés à C_{11} .

III.2.3.3.2. Calcul de la performance des indicateurs associés à C_{12}

Dans le cas du critère C_{12} , nous avons construit neuf échelles de performances pour les neuf indicateurs définis. La figure III-24 représente un exemple de la fonction construite pour le taux de contre-pente. La performance est bonne ou très bonne lorsque le pourcentage est inférieur à 10 %. Cependant, si le pourcentage varie entre 10 % et 30 %, la performance se situe, soit dans la classe passable, soit dans la classe médiocre. Aussi, la performance est nulle, quand le pourcentage dépasse les 30 %. Les échelles de performances proposées pour évaluer le reste des indicateurs sont montrées dans l'annexe 1.

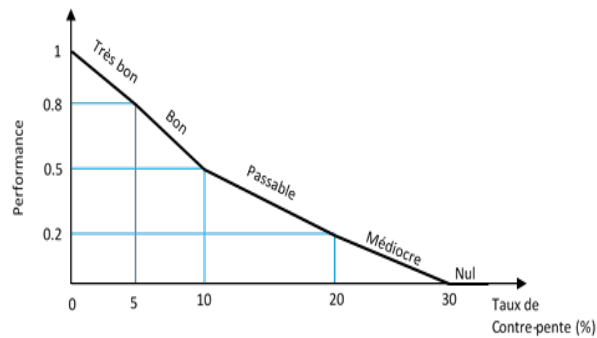


Figure III-24 : Échelle de performance de I_{129} .

III.2.3.3.3. Calcul de la performance des indicateurs associés à C_{13}

Pour le critère C_{13} , sept fonctions de performances ont été construites. La figure III-25 représente un exemple de la fonction de performance établie pour le taux de pénétration de racines. La performance est très bonne quand le pourcentage évolue de 0 % à 5 %. Lorsque ce dernier est compris entre 5 % et 15 %, la performance se situe dans la bonne classe. Cependant, si le pourcentage varie entre 15 et 30 %, la performance est passable. Et puis, elle est médiocre lorsque le taux est compris entre 30 % et 40 %. Enfin, la performance est nulle lorsque le taux dépasse les 40 %. Les fonctions de performances proposées pour évaluer les six autres indicateurs sont affichées dans l'annexe 1.

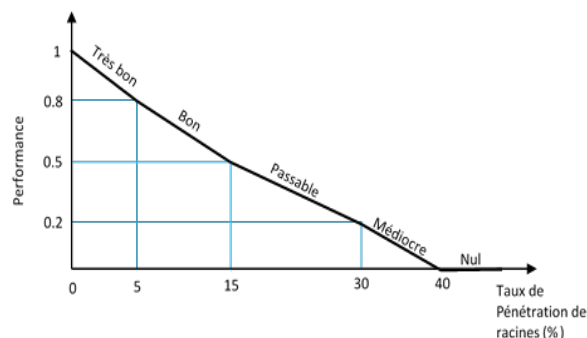


Figure III-25 : Échelle de performance de I_{137} .

III.2.3.3.4. Calcul de la performance des indicateurs associés à C_{14}

Les fonctions de performance construite pour évaluer les indicateurs associés à C_{14} sont illustrées dans l'annexe 3. Par contre, un exemple de la performance du taux de tampons manquants est représenté dans la figure III-26. En effet, la performance est très bonne ou bonne quand le pourcentage varie de 0 % à 4 % ou de 4 % et 8 % respectivement. Lorsque le pourcentage est compris entre 8 et 12 %, la performance est, dans ce cas-là, passable. Aussi, la performance est médiocre lorsque le taux évolue de 12 à 15 %. Enfin, elle est nulle, en cas le pourcentage dépasse les 15 %.

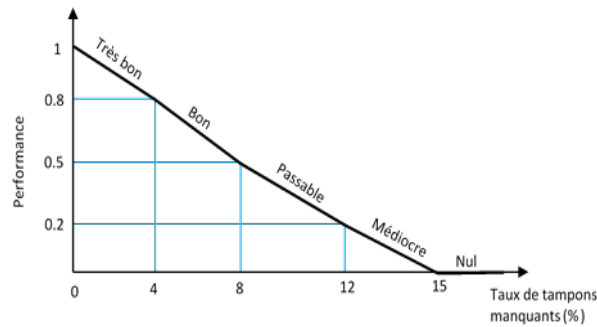


Figure III-26 : Échelle de performance de I_{141} .

III.2.3.3.5. Calcul de la performance des indicateurs associés à C_{21}

Pour évaluer les indicateurs associés à C_{21} , nous avons construit trois échelles de performances pour les trois indicateurs définis. Par exemple, la figure III-27 représente la performance du taux de points noirs par km du réseau. La performance est bonne ou très bonne lorsque le pourcentage est inférieur à 20 %. Quand ce dernier est compris entre 20 % et 30 %, la performance se situe dans la classe passable. Par contre, si le pourcentage évolue de 30 % à 40 %, la performance est, dans ce cas-là, médiocre. Dès que le taux dépasse les 40%, la performance est nulle. Les échelles de performance des deux indicateurs restants sont présentées dans l'annexe 1.

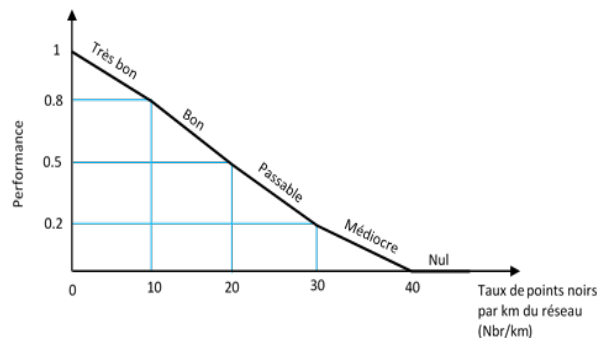


Figure III-27 : Échelle de performance de I_{211} .

III.2.3.3.6. Calcul de la performance des indicateurs associés à C_{22}

Concernant le critère C_{22} , nous avons construit deux échelles de performances pour les deux indicateurs identifiés. Semblablement aux indicateurs précédents, quatre classes de performance ont été définies : médiocre, passable, bonne et très bonne. Concernant l'axe des abscisses, le taux est délimité à 40 %. Cette délimitation est le résultat d'une réflexion engagée avec les parties prenantes. De plus, nous avons supposé que le taux de défauts observés lors des inspections télévisées soit nettement supérieur au taux de remplacement ou de réparation des conduites. Les fonctions de performance sont montrées dans la figure III-28.

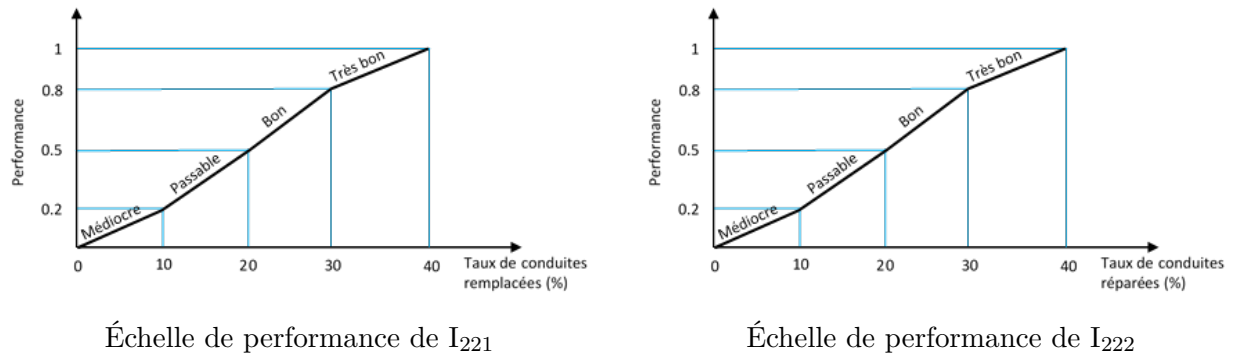


Figure III-28 : Échelles de performance des indicateurs associés à C₂₂.

III.2.3.3.7. L'échelle de performance adoptée pour les objectifs prioritaires

Du moment que le but de cette étude est l'évaluation de la performance des objectifs prioritaires, il est utile d'attribuer une échelle de performance aux deux objectifs identifiés. Le but est de donner une signification aux valeurs obtenues. Dans notre cas, nous avons établi la même échelle pour les deux objectifs définis (Tableau III-3). En effet, nous avons divisé l'échelle de performance en quatre parties égales :

- ☞ Une valeur de la performance de l'objectif allant de 0.00 à 0.25 correspond à une performance médiocre ;
- ☞ Une valeur de la performance de l'objectif allant de 0.25 à 0.50 correspond à une performance passable ;
- ☞ Une valeur de la performance de l'objectif allant de 0.50 à 0.75 correspond à une bonne performance ;
- ☞ Une valeur de la performance de l'objectif allant de 0.75 à 1.00 correspond à une très bonne performance.

Tableau III-3 : Échelle de performance adoptée pour les deux objectifs prioritaires.

Performance	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00
Évaluation	Médiocre	Passable	Bon	Très bon

III.3. Conclusion

L'outil d'évaluation que nous avons proposé est composé de deux phases. Une phase de construction et une phase d'évaluation. À travers une large consultation avec les parties prenantes, la phase de construction a permis d'identifier les objectifs prioritaires liés à la gestion de la qualité de l'infrastructure du RAU. Ensuite, les objectifs prioritaires sont subdivisés en critères afin de mieux cerner le sens de leur définition. Chaque critère est composé d'un ensemble d'indicateurs de performance adaptés au contexte local et aux stratégies de gestion de l'ONA. Dans cette étude, nous avons retenu deux objectifs prioritaires à savoir « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure » et « Encourager une bonne exploitation du réseau ». Le premier objectif comporte 4 critères et 26 indicateurs

et le deuxième objectif regroupe 2 critères et 5 indicateurs.

La phase d'évaluation a permis d'obtenir des notes de performance de chaque indicateur. Ce qui a nécessité la transformation de la mesure initiale de l'indicateur en une note à l'aide des échelles de performances. À cet effet, nous avons construit avec tous les acteurs concernés des fonctions de performance pour chaque indicateur.

Par la suite, la performance des critères est déduite par pondération et agrégation des notes de performances des indicateurs associés à chaque critère. De même, l'agrégation et la pondération des critères fourniront ainsi la performance des deux objectifs prioritaires.

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 la somme pondérée pour sa clarté et sa simplicité.

Concernant la méthode de pondération, le choix s'est porté sur la méthode FAHP. Le choix de cette méthode est motivé notamment pour sa capacité de prendre en compte l'incertitude associée au jugement humain.

Enfin, le dernier chapitre suivant, nous allons présenter l'application concrète de la méthodologie de l'outil d'évaluation de la gestion de l'infrastructure du RAU de la ville de Bejaia.

Chapitre IV.
Application au cas du réseau de Bejaia

<i>IV.1. Introduction</i>	76
<i>IV.2. Présentation de la ville de Bejaia</i>	76
IV.2.1. Situation physique	76
IV.2.2. Climat	77
<i>IV.3. Présentation du système d'assainissement de la ville de Bejaia</i>	78
IV.3.1. Le réseau d'assainissement	78
IV.3.1.1. Les conduites	79
IV.3.1.2. Les regards et avaloirs	80
IV.3.2. Les canaux à ciel ouvert	81
<i>IV.4. Création de l'Office National d'Assainissement : unité de la ville de Bejaia</i> ..	82
IV.4.1. Centre de Bejaia	83
IV.4.1.1. Structure administrative	83
IV.4.1.2. Outils et matériels	84
<i>IV.5. Application de l'outil d'évaluation développé</i>	84
IV.5.1. Application de la méthode FAHP et présentation des résultats	85
IV.5.1.1. Construction des comparaisons par paire et l'obtention des matrices de jugement	85
IV.5.1.2. Calcul du poids et la cohérence des jugements	87
IV.5.2. Interprétation des résultats et discussions	92
<i>IV.6. Conclusion</i>	93

IV.1. Introduction

Ce quatrième chapitre se rapporte à l'application de l'outil d'évaluation sur le réseau d'assainissement de la ville de Bejaia. En effet, notre objectif à travers l'exploitation de cet outil est d'améliorer la gestion de l'infrastructure du RAU. À ce titre, il serait indispensable de débiter par une collecte d'une base de données nécessaire au calcul des indicateurs définis. L'organisation de réunions de travail avec les différents responsables et acteurs de l'assainissement serait la première démarche à entreprendre. Pour cela, nos principaux interlocuteurs sont les gestionnaires de l'ONA, unité de Bejaia. Cependant, les gestionnaires n'ont pas été les décideurs principaux dans la réalisation de cette application. Les résultats présentés ne les engagent donc en aucune manière.

IV.2. Présentation de la ville de Bejaia

L'une des villes de premier ordre du littoral algérien, Bejaia. Cette ville dotée d'une situation géographique des plus stratégiques que compte le nord algérien a suscité la convoitise de plusieurs civilisations ayant traversé l'espace méditerranéen (Aouni, 2014). En effet, les traces laissées par le déferlement continu de civilisations ayant marqué l'évolution de l'humanité témoignent de la richesse de son histoire. Elle est bordée par une série de montagnes boisées, de la mer et d'une plaine en bande étroite (Figure IV-1). Bejaia est caractérisée en particulier par la présence de l'oued Soummam, et d'autres oueds tels qu'oued Seghir et oued Achallal (Aouni, 2014). Dans ce qui suit, nous allons juste présenter la localisation de la ville de Bejaia, ainsi que ses caractéristiques météorologiques.

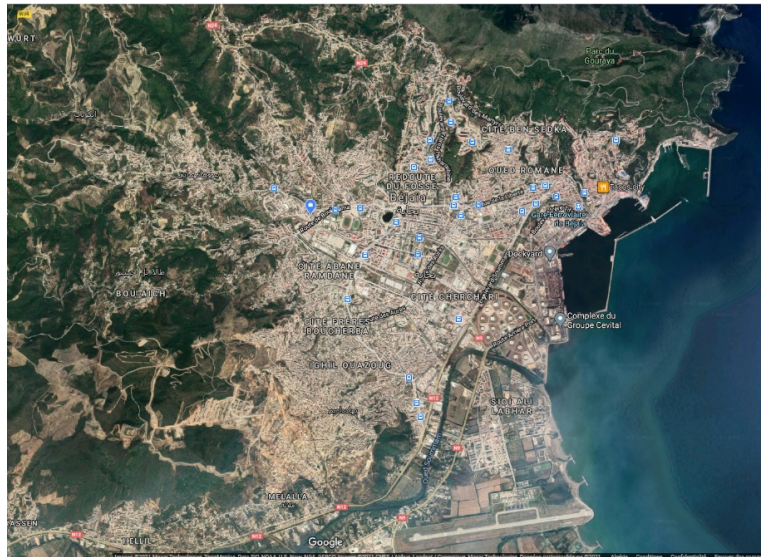


Figure IV-1 : Vue du ciel de la ville de Bejaia (source : <https://maps.google.com>).

IV.2.1. Situation physique

Bejaia, appelée aussi en berbère « Tamnadt n Bgayet » est une ville côtière située au nord-est de l'Algérie. Le territoire de la wilaya s'étend sur une superficie de 322.348 ha. Elle est limitée par la mer méditerranée au Nord, la wilaya de Jijel à l'Est, les wilayas de

Sétif et Bordj Bou Arreridj au Sud, les wilayas de Bouira et Tizi Ouzou à l'Ouest (Figure IV-2).

La commune de Bejaia est le chef-lieu de la wilaya et représente également une Daïra. Elle est limitée par : (ONA, 2018)

- ☞ La mer méditerranée au Nord et à l'Est ;
- ☞ La commune de Tichy au Sud-Est ;
- ☞ La commune de Tala Hamza au Sud ;
- ☞ La commune d'Oued Ghir au Sud-Ouest ;
- ☞ La commune de Toudja à l'Ouest.



Figure IV-2 : Situation géographique de la ville de Bejaia (Algérie) (Aouni, 2014).

IV.2.2. Climat

La ville de Bejaia bénéficie d'un climat tempéré du type méditerranéen, avec un hiver pluvieux et doux et un été chaud et sec (ONA, 2018). En effet, les données issues des observations de la station climatologique de l'aéroport de Bejaia fournies par l'Office National de la Météorologie et reprises par l'ONA (2018) dévoilent :

- ✓ Température
 - Les températures moyennes mensuelles varient de 11°C en janvier et 26°C en août ;
 - Les températures minimales moyennes mensuelles descendent à 7°C ;
 - Les températures maximales moyennes mensuelles sont de l'ordre de 31°C.
- ✓ Précipitations
 - La hauteur moyenne des précipitations annuelles est de 762 mm ;
 - La pluviométrie de juin, juillet et août représente 6.5 % de la pluviométrie annuelle ;

- La pluviométrie de la période allant de novembre à février représente plus de 58 % de la pluviométrie annuelle ;
- Le mois le plus pluvieux est le mois de décembre avec une pluviométrie de 134.6 mm ;
- Le mois le plus sec est le mois d'août avec une pluviométrie moyenne de 10.2 mm.

IV.3. Présentation du système d'assainissement de la ville de Bejaia

Le SAU de la ville de Bejaia a bénéficié d'un diagnostic exhaustif exécuté par le groupement français SCE et l'unité de l'ONA de Bejaia. Ce diagnostic rentre dans le cadre de la grande campagne de réalisation de schéma directeur des RAU lancé par l'Algérie. En effet, le système d'assainissement de la ville de Bejaia se caractérise essentiellement de (ONA, 2018) :

- ✓ Deux stations d'épuration :
 - Centre-ville : datant de 1983 et d'une capacité 80 000 équivalent-habitants ;
 - Sidi Ali el Bhar : datant de 2013 et d'une capacité de 25 000 équivalent-habitants.
- ✓ Trois stations de pompage : 2 sur réseau unitaire et 1 sur réseau eaux pluviales ;
- ✓ Réseau d'assainissement majoritairement unitaire ;
- ✓ Mode de fonctionnement principalement gravitaire ;
- ✓ Taux de collecte allant de 90 % à 95 % ;
- ✓ Taux de traitement de 10 %.

IV.3.1. Le réseau d'assainissement

Le réseau d'assainissement de la ville de Bejaia est structuré autour de deux stations d'épuration (ancienne ville et Sidi Ali el Bhar) et de douze bassins de collecte des eaux usées. Ces bassins de collecte sont désignés par les abréviations suivantes : SMina (SM), Sidi Ahmed (SA), Ville (VI), TIzi (TI), Ancienne Ville (AVI), TEzeboucht (TE), BOukhiama (BO), IHaddaden (IH), Hauteur TIzi (HTI), Bir Selam (BS), Sidi Ali el Bhar (SAB), Zone Industrielle (ZI). Les bassins sont illustrés dans la figure IV-3.

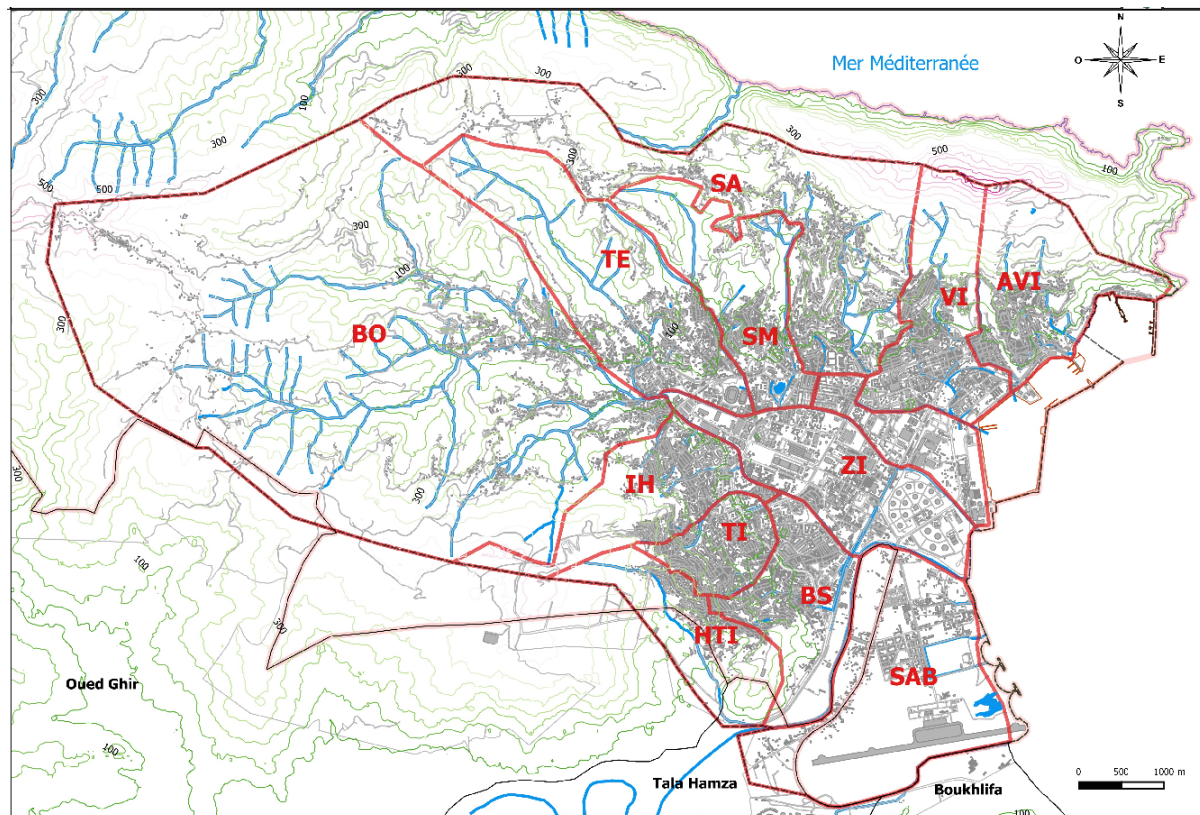
Le bassin de collecte (HTI) se rejette directement en mer via des rejets dans l'oued Soummam et de certains de ses affluents.

Concernant le bassin de collecte (ZI), il reçoit les eaux usées de 6 bassins (BS, TI, IH, BO, TE et SM). Ce dernier peut également envoyer une partie de ces eaux dans le bassin du centre-ville.

Quant au bassin de (SA), il se raccorde partiellement au bassin de (ZI) mais se rejette aussi en partie directement au milieu récepteur. Enfin, le bassin de (ZI) se raccorde partiellement à la station d'épuration du centre-ville, mais l'essentiel des eaux usées collectées se rejettent directement au milieu récepteur. De même, les deux bassins (VI et AVI) se raccordent en partie à la station d'épuration, et en majorité se rejettent

directement au milieu récepteur.

L'exutoire des oueds et des deux stations d'épuration est la mer méditerranée au niveau du golfe de Bejaia.



— : Oueds; — : Courbes de niveau.

Figure IV-3 : Les bassins de collecte des eaux usées de la ville de Bejaia (ONA, 2018).

IV.3.1.1. Les conduites

Le linéaire total des conduites du RAU de la ville de Bejaia est de l'ordre de 312 km (ONA, 2018). Nous avons noté également que 99.4 % du linéaire global du réseau est au mode gravitaire, de type unitaire et de forme circulaire.

Concernant le matériau dominant les conduites, il s'agit du béton. En effet, les conduites anciennes de la seconde partie du 20^{ème} siècle sont généralement en béton. De plus, les entreprises réalisatrices privilégient les conduites fabriquées in situ pour des raisons économiques. Le tableau IV-1 représente la répartition des matériaux des conduites de la ville de Bejaia.

Tableau IV-1 : Répartition des matériaux des conduites (ONA, 2018).

Matériau	Linéaire (ml)	Pourcentage (%)
Brique	23	0.01
Béton	248669	79.56
PEHD	1613	0.52
PVC lisse	42274	13.52
Acier	23	0.01
Non renseigné	19398	6.38
Total général	312000	100.00

Nous avons constaté au même titre qu'il n'existe pas de données au sujet de l'âge des conduites. En effet, l'âge de 88.3 % du linéaire du réseau n'est pas renseigné (ONA, 2018). Selon ONA (2018), les causes de cette absence de données peuvent se synthétiser ainsi :

- ☞ Les archives des plans de projets et de récolement ont voyagé entre différents acteurs locaux. Elles se sont perdues ou ont été détruites dans les transferts ;
- ☞ Les gestionnaires ne reçoivent jamais les plans de récolement après travaux des entreprises ;
- ☞ Les gestionnaires réalisent des travaux dans l'urgence pour solutionner un problème sans plans et sans note de calcul ;
- ☞ Une partie des réseaux devenue publique a été réalisée par des acteurs privés ou simples riverains, puis les réseaux ont été rétrocédés aux gestionnaires sans plans.

Concernant la profondeur du réseau et selon ONA (2018), la majorité des conduites ont des profondeurs allant de 1 à 3 m. Cependant, 10 % des conduites ont une faible profondeur. Ceci peut engendrer un risque de casse supplémentaire selon l'implantation de ces conduites. 5 % des conduites ont une profondeur importante pouvant atteindre 7 m dans certains cas. Ce phénomène est plutôt concentré dans la partie basse et plane de la ville de Bejaia à proximité des oueds Seghir et Serir jusqu'à la station d'épuration du centre-ville. La surprofondeur des conduites peut engendrer des problématiques d'exploitation du réseau.

IV.3.1.2. Les regards et avaloirs

Le nombre de regards recensés dans la zone d'étude est de l'ordre de 9787 (ONA, 2018). Ceci induit un regard tous les 25 m en moyenne.

De plus, 91.3 % des fermetures des regards sont accessibles (ONA, 2018). Cependant, l'accessibilité de la fermeture ne garantit pas la capacité d'un opérateur à manipuler et à ouvrir la fermeture du regard (par exemple tampon soudé, ou encore dalle béto avec des joints cimentés au cadre . . . etc.). La figure IV-4 représente un exemple d'une tentative de dégagement d'une dalle de regard.



Figure IV-4 : Tentative de dégagement d'une dalle d'un regard.

Concernant les fermetures des regards et selon ONA (2018) :

- ✓ Les matériaux de fermeture sont constitués de :
 - 74 % en matériaux fonte ;
 - 19 % en matériaux béton ;
 - 07 % non identifiés.
- ✓ Les formes de fermeture se répartissent de la manière suivante :
 - 71 % circulaires ;
 - 22 % carrés ou rectangulaires ;
 - 07 % non identifiés.
- ✓ Le plus grand nombre des fermetures circulaires sont en fonte et la majorité des fermetures carrées ou rectangulaires sont en béton ;
- ✓ 24 % des dalles de formes carrées ou rectangulaires ont des dimensions supérieures à 1 m en largeur et en longueur.

Pour ce qui est des avaloirs, leur nombre est de 5010 (ONA, 2018). En effet, les anomalies enregistrées se résument en particulier aux : grilles d'avaloirs manquantes, des avaloirs en nid de poule, des avaloirs mal positionnés ... etc. Ces multiples désordres sont détaillés dans le chapitre III.

IV.3.2. Les canaux à ciel ouvert

Bejaia est parcourue par de nombreux canaux à ciel ouvert (oueds). En effet, ce nombre important de cours d'eau est la résultante de la topographie naturelle de la ville conjointe à une abondance pluviométrique. Les oueds les plus notables sont les suivants (ONA, 2018) :

- ☞ Oued Soummam : c'est le cours d'eau le plus important de la Kabylie avec ses 200 km de longueur. Il ne traverse pas les principales zones urbaines, cependant son embouchure se situe au sud de Bejaia. À noter que les projets de développement des deux communes de Bejaia et Oued Ghir conduiront à terme à intégrer la partie aval de cet oued dans une zone urbaine plutôt dense ;
- ☞ Oued Serir : est l'un des deux principaux oueds urbains de la ville de Bejaia. Il passe au sud de la zone industrielle du centre de la ville pour rejoindre la Soummam ;

- ☞ Oued Seghir : le deuxième plus grand oued urbain de la ville de Bejaia. Il se sépare de l'oued Serir juste avant les zones les plus urbanisées de la ville, puis rejoint directement la mer en contournant la zone industrielle centrale par le nord.

Il y'a lieu de signaler que la plupart des cours d'eau de la ville sont contaminés par des déchets ménagers, industriels et de construction (Figure IV-5). Il en résulte que ces cours d'eau ne remplissent plus leurs fonctions primaires (évacuation des eaux pluviales et habitat de faune et de flore). De plus, leur contamination et leur encombrement induisent des problématiques sanitaires et de protection des biens et des personnes (inondation).



Figure IV-5 : État d'un oued situé à proximité d'un marché.

IV.4. Création de l'Office National d'Assainissement : unité de la ville de Bejaia

L'unité d'assainissement de la ville de Bejaia a été créée le 1er septembre 2006 par décision n°460/ONA/ARA/KH/2006 (ONA, 2018). L'objectif est de transférer à l'ONA les missions, moyens et actifs des régies et services des 52 communes de la wilaya à travers huit centres (Bejaia, Aokas, Kherrata, El-Kseur, Amizour, Sidi-Aich, Akbou et Tazmalt). La gestion du RAU de la ville de Bejaia a été transférée de l'APC à l'ONA en date du 01/08/2008 (ONA, 2018). Le siège de l'unité est situé actuellement à Sidi Ali el Bhar (Figure IV-6).

Concernant les domaines d'intervention de l'unité, ils sont comme suit (ONA, 2018) :

- ✓ Exploitation
- ✓ Études et projets
 - Enquêtes et diagnostic des ouvrages d'assainissement ;
 - Expertise de branchements et canalisations nouvellement posées ;
 - Travaux topographiques en surface et en souterrain ;
 - Mise à jour et établissement des plans du réseau.

- ✓ Laboratoire central
 - Contrôler et suivre la qualité des eaux épurées des stations d'épuration ;
 - Entreprendre des recherches dans le domaine de l'épuration et de la valorisation des eaux usées et des boues.
- ✓ Maintenance
 - Changement de pièces d'usure ;
 - Interventions sur des parties ou ensembles des ouvrages ;
 - Interventions de dépannage d'urgence.



Figure IV-6 : Siège de l'unité de l'ONA de la ville de Bejaia.

IV.4.1. Centre de Bejaia

Le centre de Bejaia est un organe essentiel de l'unité de l'ONA. Sa tâche est d'exécuter les projets et les interventions confiées par l'unité (curage, entretien des stations d'épuration et stations de relevage, réhabilitation du réseau ... etc.). Ce centre est situé dans la ville de Bejaia à l'arrière-port (ex arrêt de bus). Il est chargé de gérer tout ce qui dépend de l'assainissement au niveau des deux daïras : Bejaia et Tala-Hamza.

IV.4.1.1. Structure administrative

Le centre de Bejaia est constitué du personnel suivant (ONA, 2018) :

- 1) Chef du centre : il veille au bon déroulement de la gestion et de l'exploitation du RAU de plusieurs communes de la ville ;
- 2) Coordinateur d'exploitation : il conduit les opérations d'exploitation du réseau d'assainissement ;
- 3) Chefs d'équipe d'exploitation : chaque chef d'équipe est chargé de réaliser avec son équipe les interventions planifiées ou d'urgence. Ces interventions consistent aux opérations de curage manuel ou mécanique et à de petites réparations au niveau des collecteurs ;

- 4) Agents d'exploitation : sont chargés du curage des ouvrages d'assainissement et d'entretien des différentes installations ;
- 5) Surveillant pompiste : il assure la mise en service, l'entretien et la surveillance des ouvrages d'assainissement ;
- 6) Chefs d'équipe hydromécanique : chaque chef d'équipe hydromécanique est responsable des différentes interventions réalisées avec camion hydro-cureur ;
- 7) Agent administratif polyvalent : est le responsable du syndicat.

IV.4.1.2. Outils et matériels

Pour le bon fonctionnement du réseau, le centre est disposé de divers outils et matériels dont il a besoin pour effectuer des interventions rapides et efficaces. En plus du matériel déjà cité dans le chapitre 1, le centre dispose également de :

- 1) Outils manuels : sont des outils à utilisation directe avec les mains. Ils sont utilisés pour les travaux de curage manuels et dans des endroits inaccessibles. On note par exemple : la pelle, la louche, les fourchettes, les brouettes ... etc. ;
- 2) Motopompe : sont des pompes hydrauliques avec des moteurs à combustion interne, et elles sont faciles à transporter ;
- 3) Moyens de transport : véhicules et camions pour le transport du personnel.

IV.5. Application de l'outil d'évaluation développé

Grâce aux différentes données recueillies par l'unité de l'ONA de la ville de Béjaia durant l'année 2018 (Tableau IV-2), nous pourrions évaluer la performance des deux objectifs prioritaires identifiés. La performance du premier objectif (i) : « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure » est obtenue à partir de l'évaluation de la performance de 4 critères et 26 indicateurs qui le composent. La performance du deuxième objectif (ii) : « Encourager une bonne exploitation du réseau » est déterminée à partir de l'évaluation de la performance de ses 2 critères et de ses 5 indicateurs. Dans ce qui suit, nous représenterons les étapes et les résultats de l'évaluation de ces deux objectifs.

Tableau IV-2 : Valeurs annuelles (*) des indicateurs identifiés (ONA, 2018).

Indicateur	Valeur	Indicateur	Valeur	Indicateur	Valeur	Indicateur	Valeur
I ₁₁₁	50.00	I ₁₂₆	06.51	I ₁₃₅	41.90	I ₁₄₆	00.78
I ₁₁₂	20.00	I ₁₂₇	09.83	I ₁₃₆	33.32	I ₁₄₇	01.20
I ₁₁₃	51.25	I ₁₂₈	23.69	I ₁₃₇	00.66		
I ₁₂₁	83.00	I ₁₂₉	00.41	I ₁₄₁	00.81	I ₂₁₁	21.00
I ₁₂₂	02.41	I ₁₃₁	11.00	I ₁₄₂	02.77	I ₂₁₂	04.63
I ₁₂₃	04.69	I ₁₃₂	29.20	I ₁₄₃	07.69	I ₂₁₃	31.64
I ₁₂₄	01.95	I ₁₃₃	08.80	I ₁₄₄	12.90	I ₂₂₁	01.60
I ₁₂₅	18.92	I ₁₃₄	75.59	I ₁₄₅	02.19	I ₂₂₂	00.96

(*) unités : [I₁₁₃] = heures/employés/an, [I₁₃₂] = m³/km, [I₂₁₁] = Nombre de points/km/an, autres en [%].

IV.5.1. Application de la méthode FAHP et présentation des résultats

Dans un premier temps, nous avons utilisé les échelles de performance établies pour chaque indicateur (voir chapitre III). Ces échelles de performance transforment la valeur brute de chaque indicateur à une note comprise entre 0 et 1. Cela nous permet d'avoir les notes de performance de tous les indicateurs construits (Figure IV-7).

Les deux premières étapes de la méthode FAHP liées à la définition des objectifs prioritaires et à la structuration hiérarchique du problème ont déjà été effectuées lors du processus de l'identification des objectifs, critères et indicateurs (paragraphe III.2.2.).

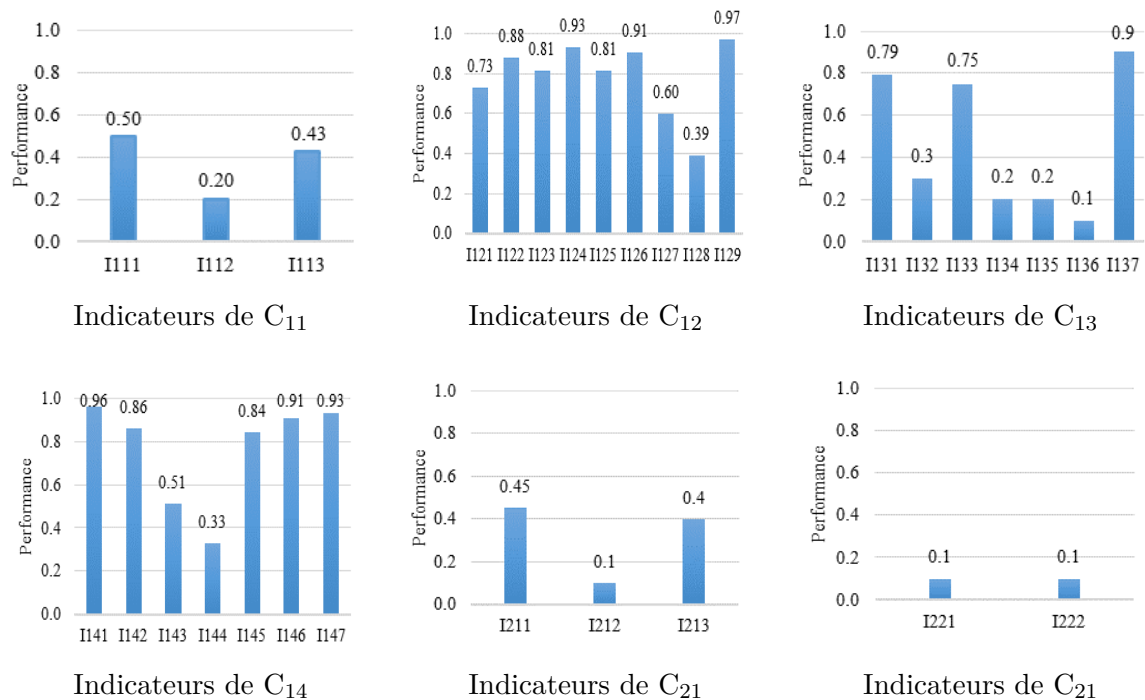


Figure IV-7 : Performance des indicateurs identifiés.

IV.5.1.1. Construction des comparaisons par paire et l'obtention des matrices de jugement

La troisième étape de la méthode FAHP est effectuée avec l'aide des experts de l'ONA de Bejaia. Elle consiste à la construction de matrices pour chaque niveau hiérarchique. La comparaison des indicateurs par paires est réalisée en établissant les priorités entre indicateurs liés au même critère. Ces priorités sont hiérarchisées en fonction du facteur le moins important au facteur le plus important.

Le degré d'importance accordé aux différents éléments de décision permet d'introduire les jugements des experts dans les tableaux ci-dessous en utilisant l'échelle d'importance (voir tableau III-1). Dans ce qui suit, nous présenterons les matrices de préférences avec les notes numériques et les nombres flous des indicateurs liés à C_{11} , C_{21} , C_{22} et des critères liés à O_1 et O_2 . Les autres matrices seront présentées dans l'annexe 2.

Tableau IV-3 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{11} .

	I_{111}	I_{112}	I_{113}
I_{111}	1	0.25	0.2
I_{112}	4	1	0.5
I_{113}	5	2	1

Tableau IV-4 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{11} .

	I_{111}	I_{112}	I_{113}
I_{111}	(1, 1, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.167, 0.2, 0.25)
I_{112}	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)
I_{113}	(4, 5, 6)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)

Tableau IV-5 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{21} .

	I_{211}	I_{212}	I_{213}
I_{211}	1	0.5	0.33
I_{212}	2	1	1
I_{213}	3	1	1

Tableau IV-6 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{21} .

	I_{211}	I_{212}	I_{213}
I_{211}	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(0.25, 0.33, 0.5)
I_{212}	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
I_{213}	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

Tableau IV-7 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{22} .

	I_{221}	I_{222}
I_{221}	1	3
I_{222}	0.33	1

Tableau IV-8 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{22} .

	I_{221}	I_{222}
I_{221}	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
I_{222}	(0.25, 0.33, 0.5)	(1, 1, 1)

Tableau IV-9 : Matrice des préférences entre les critères liés à l'objectif O_1 .

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	1	0.33	0.33	0.2
C_{12}	3	1	0.5	0.25
C_{13}	3	2	1	0.25
C_{14}	5	4	4	1

Tableau IV-10 : Matrice des préférences floues entre les critères liés à l'objectif O_1 .

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	(1, 1, 1)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.167, 0.2, 0.25)
C_{12}	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)
C_{13}	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)
C_{14}	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)

Tableau IV-11 : Matrice des préférences entre les critères liés à l'objectif O_2 .

	C_{21}	C_{22}
C_{21}	1	0.25
C_{22}	4	1

Tableau IV-12 : Matrice des préférences floues entre les critères liés à l'objectif O_2 .

	C_{21}	C_{22}
C_{21}	(1, 1, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)
C_{22}	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)

IV.5.1.2. Calcul du poids et la cohérence des jugements

La quatrième étape de la méthode FAHP, relative au calcul des poids associés à chaque élément de toutes les matrices (indicateur et critère), est reportée dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV-13 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{11} .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
I_{111}	(0.322, 0.368, 0.437)	(0.068, 0.097, 0.150)	0.105	0.097
I_{112}	(1.000, 1.260, 1.710)	(0.210, 0.333, 0.588)	0.377	0.348
I_{113}	(1.587, 2.154, 2.621)	(0.333, 0.570, 0.901)	0.601	0.555
Somme				1

Tableau IV-14 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{12} .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
I₁₂₁	(0.181, 0.207, 0.243)	(0.012, 0.017, 0.028)	0.019	0.017
I₁₂₂	(0.257, 0.453, 0.614)	(0.017, 0.038, 0.072)	0.042	0.038
I₁₂₃	(2.403, 3.235, 4.007)	(0.155, 0.273, 0.470)	0.299	0.267
I₁₂₄	(0.449, 0.589, 0.807)	(0.029, 0.050, 0.095)	0.058	0.051
I₁₂₅	(1.14, 1.691, 2.339)	(0.074, 0.143, 0.274)	0.163	0.146
I₁₂₆	(1.216, 1.483, 1.819)	(0.078, 0.125, 0.213)	0.139	0.124
I₁₂₇	(0.978, 1.312, 1.8)	(0.063, 0.111, 0.211)	0.128	0.114
I₁₂₈	(1.499, 2.062, 2.67)	(0.097, 0.174, 0.313)	0.195	0.173
I₁₂₉	(0.409, 0.819, 1.199)	(0.026, 0.069, 0.141)	0.079	0.070
Somme				1

Tableau IV-15 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{13} .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
I₁₃₁	(0.822, 1.099, 1.521)	(0.070, 0.123, 0.231)	0.141	0.127
I₁₃₂	(0.702, 1.058, 1.412)	(0.060, 0.118, 0.215)	0.131	0.117
I₁₃₃	(0.449, 0.639, 0.905)	(0.038, 0.071, 0.138)	0.082	0.074
I₁₃₄	(2.122, 2.882, 3.578)	(0.180, 0.322, 0.544)	0.349	0.313
I₁₃₅	(1.817, 2.373, 3.067)	(0.154, 0.265, 0.466)	0.295	0.265
I₁₃₆	(0.299, 0.392, 0.581)	(0.025, 0.044, 0.088)	0.053	0.047
I₁₃₇	(0.37, 0.497, 0.704)	(0.031, 0.056, 0.107)	0.065	0.058
Somme				1

Tableau IV-16 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{14} .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
I₁₄₁	(1.336, 1.748, 2.242)	(0.130, 0.216, 0.362)	0.236	0.217
I₁₄₂	(1.338, 1.926, 2.435)	(0.130, 0.238, 0.393)	0.254	0.233
I₁₄₃	(0.548, 0.704, 1.000)	(0.053, 0.087, 0.161)	0.101	0.092
I₁₄₄	(0.943, 1.135, 1.416)	(0.092, 0.140, 0.228)	0.153	0.141
I₁₄₅	(1.285, 1.56, 1.774)	(0.125, 0.193, 0.286)	0.201	0.185
I₁₄₆	(0.288, 0.36, 0.497)	(0.028, 0.045, 0.080)	0.051	0.047
I₁₄₇	(0.46, 0.653, 0.923)	(0.045, 0.081, 0.149)	0.091	0.084
Somme				1

Tableau IV-17 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{21} .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
I₂₁₁	(0.439, 0.552, 0.796)	(0.115, 0.170, 0.295)	0.193	0.186
I₂₁₂	(1, 1.257, 1.437)	(0.262, 0.387, 0.533)	0.394	0.379
I₂₁₃	(1.257, 1.437, 1.58)	(0.330, 0.443, 0.586)	0.453	0.435
Somme				1

Tableau IV-18 : Poids normalisé des indicateurs liés au critère C_{22} .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
I₂₂₁	(1.414, 1.732, 2)	(0.522, 0.751, 1.045)	0.773	0.743
I₂₂₂	(0.5, 0.574, 0.707)	(0.185, 0.249, 0.369)	0.268	0.257
Somme				1

Tableau IV-19 : Poids normalisé des critères liés à l'objectif O_1 .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
C₁₁	(0.319, 0.384, 0.5)	(0.049, 0.073, 0.130)	0.084	0.077
C₁₂	(0.273, 0.783, 1.072)	(0.042, 0.149, 0.279)	0.157	0.143
C₁₃	(0.796, 1.107, 1.411)	(0.123, 0.210, 0.368)	0.234	0.214
C₁₄	(2.449, 2.991, 3.499)	(0.378, 0.568, 0.912)	0.619	0.566
Somme				1

Tableau IV-20 : Poids normalisé des critères liés à l'objectif O_2 .

	Moyenne géométrique (\tilde{r}_i)	Poids flou (\tilde{w}_i)	CoA (Center of Area)	Poids normalisé (w_i)
C₂₁	(0.447, 0.5, 0.574)	(0.159, 0.200, 0.263)	0.207	0.203
C₂₂	(1.732, 2, 2.236)	(0.616, 0.800, 1.026)	0.814	0.797
Somme				1

La dernière étape de la méthode FAHP consiste au calcul du ratio de cohérence, cela nous permet de vérifier la consistance des jugements. Les résultats sont récapitulés dans les tableaux IV-21 au IV-28.

Tableau IV-21 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{11} .

C₁₁	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance C ₁₁
I₁₁₁	0.500				
I₁₁₂	0.200	3.027	0.014	0.024	0.357
I₁₁₃	0.430				

Tableau IV-22 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{12} .

C_{12}	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance C_{12}
I_{121}	0.73				
I_{122}	0.88				
I_{123}	0.813				
I_{124}	0.933				
I_{125}	0.813	9.696	0.087	0.059	0.745
I_{126}	0.906				
I_{127}	0.6				
I_{128}	0.39				
I_{129}	0.97				

Tableau IV-23 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{13} .

C_{13}	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance C_{13}
I_{131}	0.79				
I_{132}	0.3				
I_{133}	0.75				
I_{134}	0.2	7.444	0.074	0.056	0.363
I_{135}	0.2				
I_{136}	0.1				
I_{137}	0.9				

Tableau IV-24 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{14} .

C_{14}	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance C_{14}
I_{141}	0.96				
I_{142}	0.86				
I_{143}	0.51				
I_{144}	0.33	7.444	0.074	0.056	0.779
I_{145}	0.84				
I_{146}	0.91				
I_{147}	0.93				

Tableau IV-25 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{21} .

C_{21}	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance C_{21}
I_{211}	0.45	3.025	0.012	0.021	0.296
I_{212}	0.1				
I_{213}	0.4				

Tableau IV-26 : Ratio de cohérence de la matrice du critère C_{22} .

C_{22}	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance C_{22}
I_{221}	0.1	2	0	0	0.1
I_{222}	0.1				

Tableau IV-27 : Ratio de cohérence de la matrice de l'objectif O_1 .

O_1	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance O_1
C_{11}	0.357	4.158	0.053	0.058	0.653
C_{12}	0.745				
C_{13}	0.363				
C_{14}	0.779				

Tableau IV-28 : Ratio de cohérence de la matrice de l'objectif O_2 .

O_2	Performance	Valeur propre λ_{max}	Indice de consistance CI	Ratio de cohérence CR (< 0.1)	Performance O_2
C_{21}	0.296	2	0	0	0.140
C_{22}	0.1				

Comme le montrent les tableaux ci-dessus, les ratios de cohérence calculés pour toutes les matrices sont tous inférieurs à 0.1. Les jugements des préférences sont alors acceptables.

L'agrégation des notes de performance des indicateurs et des valeurs des poids respectifs par la méthode de la somme pondérée nous offre la performance de chaque critère (Figure IV-8). De même, l'agrégation de la performance des critères avec leurs poids nous a permis d'estimer la performance des deux objectifs étudiés (Figure IV-9).

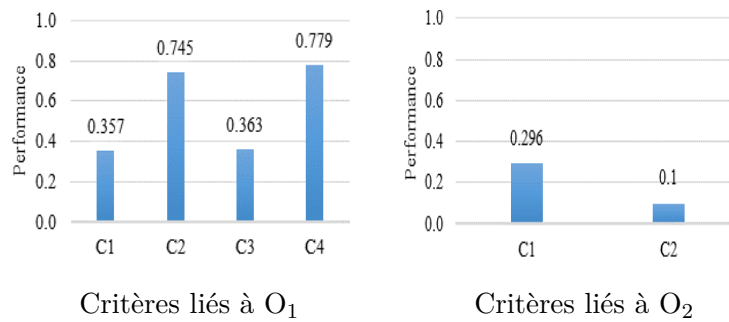


Figure IV-8 : Performance des critères.

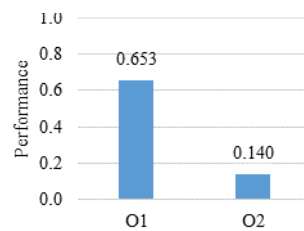


Figure IV-9 : Performance des objectifs.

Selon ces résultats et l'échelle de performance adoptée pour les deux objectifs (voir la section III.2.3.3.7), la performance de O₁ se situe dans une bonne classe, par contre, la performance de O₂ se situe dans la classe de qualité médiocre.

IV.5.2. Interprétation des résultats et discussions

La performance obtenue pour le premier objectif « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure » est de bonne qualité ($P_{O_1}=0.653$). La lecture de cette performance à ce niveau hiérarchique ne peut donner, aux gestionnaires, qu'un aperçu global de la performance de sa gestion. Cependant, c'est l'analyse au niveau des performances des indicateurs que celui-ci peut agir afin d'améliorer la performance globale. En effet, plusieurs indicateurs (I_{112} , I_{113} , I_{128} , I_{132} , I_{134} , I_{135} , I_{136} et I_{144}) présentent des performances inférieures à 0.5. Cela peut s'expliquer par le fait que ces indicateurs nécessitent plus de moyens financiers et matériels. Quant aux autres indicateurs, ils affichent tous une performance de bonne ou de très bonne qualité.

Pour le deuxième objectif « Encourager une bonne exploitation du réseau », sa performance est située dans la classe de qualité médiocre ($P_{O_2}=0.140$). L'analyse des 5 indicateurs qui lui sont associés, indique qu'ils ont tous une qualité faible. Leur note de performance varie entre 0.1 et 0.4. En effet, parmi ces indicateurs, trois d'entre eux (I_{212} , I_{221} et I_{222}) présentent une note de performance très faible égale à 0.1. Cette situation dévoile entre autres : i) Une absence de coordination et de communication entre le propriétaire du réseau (l'Assemblée Populaire Communale de Bejaia), et le gestionnaire du réseau (l'ONA); ii) Un manque de moyens nécessaires pour une bonne exploitation du réseau; iii) Une disparité des actions de toutes les parties prenantes. Par ailleurs, les deux indicateurs restant I_{211} et I_{213} présentent quant à eux une performance acceptable de 0.4.

IV.6. Conclusion

Un outil d'évaluation de la gestion patrimoniale du réseau d'assainissement a été développé sur le cas de la ville de Bejaia. Son application a permis de confirmer son caractère opérationnel via deux objectifs prioritaires : (i) « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure » et (ii) « Encourager une bonne exploitation du réseau ». À travers cette application, nous avons recensé les données nécessaires auprès des gestionnaires de l'unité de l'ONA de Bejaia. Cela, nous a permis d'évaluer les deux objectifs prioritaires définis sur la base de l'ensemble de critères et des indicateurs qui le composent.

La qualité de l'objectif « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure » à laquelle veut aboutir les gestionnaires de l'ONA est de bonne qualité ($P_{O1}=0.653$). Cependant, cela ne veut pas dire que la situation est totalement satisfaisante. En effet, les gestionnaires doivent se concentrer plus sur les indicateurs de moindres performances. Cela va permettre d'une part d'apporter les ajustements nécessaires pour améliorer les points faibles et, d'autre part, d'atteindre une performance meilleure.

Concernant l'objectif « Encourager une bonne exploitation du réseau », sa performance est située dans la classe de qualité médiocre ($P_{O2}=0.140$). Après cette connaissance, les gestionnaires de l'ONA ainsi que tous les responsables locaux de l'exploitation du RAU de la ville de Bejaia doivent agir tous ensemble. À cet effet, ils doivent mener des actions d'une manière efficace pour atteindre un niveau acceptable de performance.

La nouvelle tendance du développement durable oblige les responsables de l'ONA à une modification des méthodes de gestion des ouvrages de RAU. La méthodologie adoptée repose sur une approche multicritère et participative des différentes parties prenantes. Elle est adaptée au contexte local et intègre les besoins et les attentes des gestionnaires de l'ONA. Le modèle d'évaluation développé représente un outil d'aide à la décision. Son adoption et son application réelle sur le terrain facilitera la découverte des défaillances dans le suivi, l'exploitation et la gestion des RAU et d'augmenter sa durée de vie.

Conclusion générale et perspectives

Nous assistons, ces dernières années, à l'émergence d'un nouveau principe intégré dans le domaine du SAU : la gestion patrimoniale de l'infrastructure du réseau. L'objectif d'un tel concept est d'aider les services d'assainissement à mieux maîtriser les deux notions suivantes : la connaissance du patrimoine et les moyens nécessaires pour la réalisation des objectifs. Cela n'est possible que s'il existe un moyen d'évaluation de l'état réel de l'infrastructure.

Les indicateurs de performance est l'une des approches les plus simples pour l'évaluation de la performance des services. En effet, elle permet de répondre aux attentes conjointes de plusieurs parties prenantes. D'une part, celles exprimées par le propriétaire du patrimoine, d'autre part, celles des gestionnaires et des usagers du même service. Par conséquent, notre but est de mettre à la disposition des gestionnaires du RAU un outil permettant d'apprécier la gestion patrimoniale de l'infrastructure du réseau en utilisant les indicateurs de performance.

L'analyse de la problématique adoptée dans cette thèse nous a permis, dans le premier chapitre, de passer en revue le contexte législatif et institutionnel de la gestion du service d'assainissement en Algérie. Dans ce contexte, nous avons présenté les différents modes de gestion existants et celui adopté par les autorités. En effet, la gestion du service de l'assainissement en Algérie est majoritairement publique et elle est gérée par l'ONA. Ce dernier peine à assurer de bonnes prestations en raison de plusieurs contraintes que nous avons énumérées. Par la suite, nous nous sommes intéressés à la présentation de certaines conditions nécessaires au développement de l'ONA. L'application des pistes de sorties identifiées reste encore à un stade préliminaire du fait de manque de moyens. Pour cela, il est indispensable de renforcer les capacités techniques et financières de l'ONA pour qu'elle puisse atteindre ses objectifs.

Le deuxième chapitre a permis de réaliser une synthèse bibliographique sur l'évaluation de la gestion patrimoniale des RAU. En effet, un nombre important de travaux ont abordé la question de la diversité des outils d'évaluation pour une aide à la décision. La prise de connaissance des différentes méthodes existantes nous a permis de privilégier l'approche multicritère d'aide à la décision en utilisant des indicateurs de performance quantifiable. Ceci nous a amené à définir : la notion d'indicateur, son utilité ainsi que les exigences de sa sélection. L'établissement d'un état de l'art sur les méthodes permettant de mesurer la performance, nous a guidé d'opter pour celles qui s'adaptent mieux à l'outil développé. Enfin, et dans la dernière section de ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le processus de la construction de l'outil d'évaluation. À cet effet, nous avons mis en valeur l'importance de l'adoption d'une approche participative pour identifier les éléments nécessaires à l'évaluation de la gestion patrimoniale du RAU.

Dans le troisième chapitre, nous avons exposé l'outil d'évaluation de la gestion patrimoniale de l'infrastructure du RAU. La méthodologie de développement de cet outil est composée d'une phase de construction et d'une phase d'évaluation. La première a pour but d'identifier les objectifs prioritaires liés à la gestion patrimoniale du réseau d'assainissement. Par la suite, chaque objectif prioritaire est défini par un ensemble de

critères évalués à leur tour par des indicateurs. Le choix de ces éléments de décision a nécessité des débats et des collaborations avec toutes les parties prenantes.

La phase évaluation a pour objectif de mesurer la performance. Les valeurs des indicateurs sont transposées sur des échelles de performance pour obtenir des notes de performance. Il y'a lieu de préciser que les échelles de performance ont été construites suite à une large consultation avec les gestionnaires d'ONA. Par la suite, la performance des critères est déduite par pondération et agrégation des notes de performance des indicateurs. De même, la performance des objectifs prioritaires est déduite par pondération et agrégation des notes de performance des critères. La méthode d'agrégation choisie est la méthode de la somme pondérée pour sa clarté et sa simplicité. Concernant le calcul des coefficients de pondération, le choix a été porté sur la méthode FAHP. La motivation de ce choix revient à la capacité de la méthode de prendre en compte les incertitudes associées au jugement humain.

Concernant le quatrième et dernier chapitre, nous avons donné un aperçu sur le SAU de la ville de Bejaia et ses caractéristiques. Par la suite, nous avons effectué une application de l'outil d'évaluation sur le réseau d'assainissement de la même ville. Les résultats ont dévoilé que la performance de l'objectif « Assurer une bonne gestion de l'infrastructure » est de bonne qualité et la performance de l'objectif « Encourager une bonne exploitation du réseau » est d'une qualité médiocre. Enfin, une interprétation des résultats est effectuée en conséquence.

Nous estimons que notre objectif principal, qui réside dans le développement d'un outil d'évaluation de la gestion patrimoniale de l'infrastructure du RAU, est atteint. Le modèle développé semble répondre aux attentes des gestionnaires de l'ONA de la ville de Bejaia. En effet, l'exploitation de cet outil permet d'une part d'entreprendre les démarches nécessaires pour l'amélioration des éléments de faibles performances. D'autre part, de mieux agir sur les défaillances du réseau et d'augmenter sa durée de vie. Actuellement, l'outil est en cours d'application par l'ONA, le retour d'expériences apportera éventuellement des éléments d'ajustement et d'amélioration. Au-delà, son application sur d'autres villes est possible. Dans ce sens, il serait intéressant d'organiser des rencontres nationales entre les différentes unités de l'ONA afin de ressortir avec une série commune d'éléments de décision. Ce n'est qu'à partir de là que le principe de *benchmarking* pourrait être engagé pour inciter les gestionnaires à de meilleures performances.

Enfin, ce travail nous ouvre des perspectives de recherche intéressantes telles que :

- Programmer l'outil d'évaluation pour faciliter le traitement des données et la visualisation des résultats ;
- Appliquer l'outil d'évaluation sur plusieurs cas d'études afin d'obtenir suffisamment de statistiques et de retour d'expérience ;
- Tester d'autres méthodes d'aide à la décision ;
- Organiser des rencontres nationales entre les différentes unités d'ONA afin de ressortir avec un panel commun d'indicateurs, de critères et d'objectifs, accompagné de leurs échelles de performance.

Bibliographie

- Abdelbaki C., Zerouali M. (2012). *Modélisation d'un réseau d'assainissement et contribution à sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique-Cas du chef lieu de commune de Chetouane-Wilaya de Tlemcen Algérie*. Larhyss Journal, n° 10, pp. 101-113.
- Aflak A., (1994). *Elaboration d'un cadre méthodologique pour l'aide à la décision en matière de gestion de la maintenance de réseau technique urbain d'assainissement*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 301 p.
- Aflak A. (2008). *Etude patrimoniale des réseaux d'assainissement d'Oran (Algérie)*. TSM, n° 11, pp. 93-104.
- AFNOR. FNSA. (2014). *Norme NF EN 14654-1 « Gestion et contrôle des opérations d'exploitation dans les réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments Partie 1 : nettoyage »*. 37 p.
- Ahmadi M., (2014). *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : impact de la qualité des données et du paramétrage du modèle utilisé sur l'évaluation de l'état des tronçons et des patrimoines*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 200 p.
- Ahmane K., (2014). *Le contrat international de l'eau : Contribution à une étude de Partenariat public-privé*. Mémoire de Magister. Université d'Oran, Algérie, 180 p.
- Alegre H., Baptista J.M., Cabrera E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R., (2006). *Performance Indicators for Water Supply Services*. Second ed. International Water Association Publishing, London.
- Anghel D.C., Boudouh T., Garro O., Ungureanu I. (2007). *Développement d'indicateurs de performance pour l'évaluation du processus de conception-Approche basée sur l'analyse des itérations en conception*. 18 ème Congrès Français de Mécanique, Grenoble, 6 p.
- Aouni M., (2014). *Centralités urbaines et développement touristique à Bejaia (Algérie)*. Thèse de Doctorat. Université de Reims Champagne-Ardenne, France, 305 p.
- ASTEE. (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement) (2013). *Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable*. Paris, 52 p.
- ASTEE. (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement) (2015). *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement*. Bonnes pratiques, 248 p.
- AWWA. (American Water Works Association) (2015). *Benchmarking Performance Indicators for Water and Wastewater Utilities : 2013 Survey Data and Analyses Report*. Denever, CO, USA.

- BAD. (Banque Africaine de Développement) (2000). *Indicateurs sectoriels et indicateurs de performance de projet dans le sous-secteur de l'adduction d'eau et de l'assainissement*. Département de l'évaluation des opérations, 25 p.
- Baghli N., (2018). *Elaboration d'une méthodologie d'organisation de l'information pour une meilleure gestion des ressources en eau*. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, Algérie, 129 p.
- Balusa B.C., Gorai A.K. (2019). *Sensitivity analysis of fuzzy-analytic hierarchical process (FAHP) decision-making model in selection of underground metal mining method*. Journal of Sustainable Mining, vol. 18, pp. 8-17
- Bedaumra K., Gichuri W., Diop O., Cross P., Itoua B.J.R., Jallow S. (2008). *L'Afrique peut-elle se permettre de manquer les objectifs de développement du millénaire pour l'assainissement*. Analyse de la situation de l'hygiène et de l'assainissement dans 32 pays africains, 58 p.
- Bedjou A., Boudouka A., Bosseler B. (2019). *Assessment of wastewater asset management effectiveness in the case of rare data and low investments*. International Journal of Environmental Science and Technology, vol. 16, n° 7.
- Bedjou A., (2020). *Identification et organization des connaissances utiles pour l'aide à la décision dans la gestion de la maintenance des réseaux d'assainissement et des cours d'eau urbains*. Thèse de Doctorat. Université de Batna, Algérie, 216 p.
- Belhadj N., (1994). *Variations par temps de pluie des débits dans les réseaux d'eaux usées de type séparatif : identification des composantes et modélisation des infiltrations*. Thèse de Doctorat. École Nationale des Ponts et Chaussées, France, 394 p.
- Ben Mena S. (2000). *Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., vol. 4, n° 2, pp. 15-23.
- Ben Tagherouit W., (2011). *Optimisation de la réhabilitation hydraulique et structurale des réseaux d'égout*. Thèse de Doctorat. Montréal, Canada, 147 p.
- Benblidia M., Thivet G. (2010). *Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre*. Les Notes d'analyse du CIHEAM, n° 58, 15 p.
- Benblidia M. (2011). *L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique-Etude nationale Algérie*. Ed. Plan Bleu-Valbonne, France, 24 p.
- Bengassem J., (2001). *Elaboration d'un système d'aide au diagnostic hydraulique et structural des réseaux d'assainissement urbains*. Thèse de Doctorat. Université de Québec, Canada, 163 p.
- Benzerra A., Cherrared M., Chocat B., Cherqui F., Zekiouk T. (2012). *Decision support for sustainable urban drainage system management : A case study of Jijel, Algeria*. Journal of Environmental Management, vol. 101, pp. 46-53.
- Benzerra A., (2016). *Méthodologie pour l'évaluation de la durabilité en matière*

- d'assainissement urbain*. Thèse de Doctorat. Université de Bejaia, Algérie, 225 p.
- Benzerra A., Hamchaoui S., Igroufa M., Berreksi A. (2019). *Decision support tool for sustainable monitoring of the urban drainage system in relation to its target environments*. Première conférence internationale sur l'eau et le climat, Annaba, Algérie.
- Berland J.M. (2004). *Réhabilitation des réseaux d'assainissement en zone rurale*. Document technique. FNDAE, n° 32, 49 p.
- Bertrand-Krajewski J.L., Bardin J.P., Gibello C. (2006). *Mesure et modélisation de l'accumulation des sédiments dans un collecteur d'assainissement unitaire*. Revue Européenne de Génie Civil, vol. 10, n° 3, pp. 339-359.
- Berrah L., (2013). *La quantification de la performance dans les entreprises manufacturières : de la déclaration des objectifs à la définition des systèmes d'indicateurs*. Habilitation à diriger des recherches. Université de Savoie, 157 p.
- Berrah L., Clivillé V., Montmain J., Mauris G. (2016). *The contribution concept for the control of a manufacturing multi-criteria performance improvement*. Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 27, pp. 1-12.
- Biswas T.K., Akash S.M., Saha S. (2018). *A fuzzy-AHP Method for Selection Best Apparel Item to Start-Up with New Garment Factory : A case Study in Bangladesh*. Int. J. Res .Ind. Eng, vol. 7, n° 1, pp. 32-50
- Bonièrbale T., (2004). *Éléments pour l'évaluation de la qualité environnementale des systèmes d'assainissement urbains*. Thèse de Doctorat. Université de Marne-La-Vallée, 285 p.
- Bonnefous C., Courtois A. (2001). *Indicateurs de performance*. Hermès.
- Bou Nader E., (1998). *Conduite du diagnostic, et évaluation des collecteurs des infrastructures urbaines de l'assainissement*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 265 p.
- Boukhari S., Djebbar Y. (2011). *Les services d'eau potable et d'assainissement face aux exigences du développement durable, cas de la ville de Souk-Ahras*. Séminaire d'Échange International "Aux Interfaces du Développement Durable", Bejaia.
- Boukhari S., Djebbar Y., Amarchi H., Sohani A. (2017). *Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services : the case of Algeria*. Water Supply, vol. 18, n° 4, pp. 1282-1293.
- Boukhari S., (2018). *La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie*. Thèse de Doctorat. Université d'Annaba, Algérie, 241 p.
- Boukhari S., De Miras C. (2019). *Performance économique des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie, cas de SOUK-AHRAS*. Journal of Water Science, vol. 32, n° 1.

- Buco J., (2007). *Analyse et modélisation du comportement mécanique des conduites enterrées*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 282 p.
- Bureau of Meteorology. (2018). *National Performance Report 2016-2017 : Urban Water Utilities, Part A*. Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.
- Canneva G., Guérin-Schneider L. (2011). *La construction des indicateurs de performance de services d'eau en France : mesurer le développement durable ?*. Natures Sciences Sociétés, EDP Sciences, vol. 19, n° 3, pp. 213-223.
- Caradot N., Riechel M., Rouault P., Caradot A., Lengemann N., Eckert E., Ringe A., Clemens F., Cherqui F. (2019). *The influence of condition assessment uncertainties on sewer deterioration modelling*. Structure and Infrastructure Engineering, vol. 16, pp. 287-296.
- Caradot N., (2019). *L'utilisation de modèles de détérioration pour l'élaboration de stratégies de gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement*. Thèse de Doctorat. Université de Lyon, France, 155 p.
- Cardoso M.A., Coelho S., Matos R., Alegre H. (2004). *Performance assessment of water supply and wastewater systems*. Urban Water Journal, vol. 1, n° 1, pp. 55-67.
- Cardoso M. A., Silva M. S., Coelho S. T., Almeida M. C., Covas D. I. C. (2012). *"Urban Water Infrastructure Asset Management – a Structured Approach in Four Water Utilities"*. Water Science and Technology, vol. 66, n° 12.
- Cheraba A.H., (2012). *La concession : Nouveau mode de gestion pour les entreprises publiques algériennes : cas de la distribution de l'eau en Algérie*. Mémoire de Magister. Université d'Oran, Algérie, 311 p.
- Cherqui F., Granger D., Métadier M., Fletcher T., Barraud S., Lalanne P., Litrico X. (2013). *Indicators related to BMP performance : operational monitoring propositions*. 8^{ème} conférence NOVATECH, Lyon, France.
- Cherrared M., Chocat B., Benzerra A. (2007). *Problématique et faisabilité du développement durable en matière d'assainissement urbain en Algérie*. NOVATECH, Lyon, France, 8 p.
- CIODD. (Comité Interministériel chargé du suivi et de la mise en œuvre des ODD) (2019). *Progression de la mise en œuvre des ODD*. Rapport National Volontaire Algérie, 176 p.
- Cossio C., Norrman J., McConville J., Mercado A., Rauch S. (2020). *Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries*. Environmental and Sustainability Indicators, vol. 6.
- Cousquer Y., Dumont J., Hanus F., Lavoux T., Prime J.L. (2005). *Les indicateurs de performance appliqués aux services publics de l'eau et de l'assainissement-constats et propositions*. Rapport n° 2004-0062-1- 11 avril 2005. 120 p.

- Daher, S., Zayed, T., Elmasry, M., Hawari, A. (2018). *Determining relative weights of sewer pipelines' components and defects*. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, vol. 9, n° 1.
- Dantez M., (2015). *Diagnostic du système d'assainissement et schéma directeur de la ville de Bejaia*. Mémoire d'ingénieur de l'ENGEES. École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, France, 114 p.
- D.A.P.E. (Direction de l'assainissement et de la protection de l'environnement). (2016). *Guide technique pour les projets de pose et réhabilitation des réseaux d'assainissement*. Ed. Ministry of water resources and the environment, Algeria, 240 p.
- De la Fuente A., Pons O., Josa A., Aguado A. (2016). *Multi-criteria decision making in the sustainability assessment of sewerage pipe systems*. Journal of Cleaner Production, vol. 112, pp. 4762-4770.
- Dion Y., (2006). *Restructuration hydraulique et environnementale des réseaux d'assainissement*. Maîtrise en génie de la construction de l'École de Technologie Supérieure de Montréal. Canada, 143 p.
- Diop I., (2006). *Contribution à l'amélioration du réseau d'assainissement pluvial de Dakar : cas de l'ensablement*. Mémoire d'ingénieur de conception. Dakar, Sénégal, 99 p.
- Drouiche N., Chaffour N., Naceur M.W., Lounici H., Drouiche M. (2012). *Towards sustainable water management in Algeria*. Desalination Water Treatment, vol. 50, n° 1-3, pp. 272-284.
- EBC. (2016). *Learning from international best practices : 2016 water and wastewater benchmark*. Public report of European Benchmarking Co-operation.
- Elmasry M., Zayed T., Hawari A. (2018). *Defect-based ArcGis tool for prioritizing inspection of sewer pipelines*. Journal of pipeline systems engineering and practice, vol. 9.
- Ennaouri I., (2010). *Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux*. Mémoire de Maîtrise Ès Sciences Appliquées. École Polytechnique de Montréal, Canada, 93 p.
- Fauquert G. (2005). *Le renouvellement des infrastructures des services d'eau et d'assainissement : pratique et problématique*. Flux 2005/2-3, n° 60/61, pp. 83-95 .
- Florentin D., Denis J., (2019). *Gestion patrimoniale des réseaux d'eau et d'assainissement en France*. Rapport de recherche. Caisse des dépôts-Institut pour la recherche et Banque des territoires, 137 p.
- FNCCR. (Services publics locaux de l'énergie, de l'eau et de l'environnement) (2009). *Analyse comparative des services d'assainissement*. Rapport collectif, 83 p.

- Granger D., (2009). *Méthodologie d'aide à la gestion durable des eaux urbaines*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 210 p.
- Guérin-Schneider L., (2001). *Introduire la mesure de performance dans la régulation des services d'eau et d'assainissement en France. Instrumentation et organisation*. Thèse de Doctorat. Montpellier : ENGREF, 447 p.
- Guérin-Schneider L., Nakhla M. (2003). *Les indicateurs de performance : une évolution clef dans la gestion et la régulation des services d'eau et d'assainissement*. Flux n° 52/53, pp. 55-68.
- Hadjar H., (2014). *Le partenariat public-privé : transfert de connaissances managériales et apprentissage Cas d'entreprises publiques algériennes*. Thèse de Doctorat. Université de Nice-Sophia Antipolis, France, 331 p.
- Haider H., Sadiq R., Tesfamariam S. (2013). *Performance indicators for small-and medium-sized water supply systems : a review*. NRC Research Press, 40 p.
- Hamadmad H., (2017). *Définition d'une expression temporelle de la performance des entreprises manufacturières*. Thèse de Doctorat. Université Grenoble Alpes, France, 112 p.
- 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, Algérie, 247 p.
- Hawari A., Alkadour F., Elmasry M., Zayed T. (2018). *Condition assessment model for sewer pipelines using fuzzy-based evidential reasoning*. Australian Journal of Civil Engineering, vol. 16, pp. 23-37.
- Hemmerle N., Carnacina I., Larrarte F., Joannis C., Chebbo G. (2013). *Étude des dépôts à l'échelle du tronçon : potentialités des nouveaux outils de bathymétrie*. Journées Eau et Environnement, Nantes, France.
- Henriques A.A., Camanho A.S., Amorim P., Silva J.G. (2020). *Performance benchmarking using composite indicators to support regulation of the Portuguese wastewater sector*. Utilities Policy, vol. 66.
- Ibrahim M., Le Gauffre P., Cherqui F., Werey C. (2007). *Gestion des réseaux d'assainissement-Evaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir d'inspections visuelles*. AUGC, 9 p.
- Ibrahim M., (2008). *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains : évaluation et agrégation d'indicateurs de performance précis ou flous*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 189 p.
- Igroufa M., Benzerra A., Seghir A. (2020). *Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems*. Water Science & Technology, vol. 83, n° 3, pp. 537-548.

- Kanakoudis V., Tsitsifli S., Zouboulis A.I. (2015). *WATERLOSS Project : developing from theory to practice an integrated approach towards NRW reduction in urban water systems*. Desal. Water Treat, vol. 54, pp. 2147-2157.
- Kaplan R.S., Norton D.P. (2005). *The balanced scorecard, measures that drive performance*. Harvard Business Review, pp. 71-82.
- Kellouche A. (2019). *Suivi cartographique des points noirs dans les réseaux d'assainissement*. 4 p.
- Kessili A., Benmamar S. (2016). *Prioritizing sewer rehabilitation projects using FAHP-PROMETHEE II ranking method*. Water Science & Technology, vol. 73, n° 2, pp. 283-291.
- Kessili A., (2016). *Elaboration d'outil d'aide à l'exploitation des réseaux d'assainissement-Cas d'application : les réseaux d'assainissement d'Alger*. Thèse de Doctorat. Université de Bejaia, Algérie, 149 p.
- Khashei-Siuki A., Keshavarz A., Sharifan H. (2020). *Comparison of AHP and FAHP methods in determining suitable areas for drinking water harvesting in Birjand Aquifer, Iran*. Groundwater for Sustainable Development, vol. 10.
- Kleidorfer M., Mikovits C., Jasper-tonnies A., Huttenlau M., Einfalt T., Rauch W. (2014). *Impact of a changing environment on drainage system performance*. Procedia Engineering, vol. 70, pp. 943-950.
- Kuliczowska K. (2016). *Risk of structural failure in concrete sewers due to internal corrosion*. Engineering Failure Analysis, vol. 66, pp. 110-119.
- Lancelot B., (1985). *La gestion automatisée des réseaux d'assainissement : analyse d'un processus d'innovation technique*. Automatique / Robotique. École Nationale des Ponts et Chaussées, France, 374 p.
- Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J. (2004). *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains*. Guide méthodologique. Paris : Lavoisier. ISBN : 2-7430-0748-6, 416 p.
- Lejars C., Canneva G. (2009). *Durabilité des services d'eau et d'assainissement : méthode d'évaluation, étude de cas et perspectives pour le changement d'échelle*. Deuxième dialogue euro-méditerranéen de management public, Portoroz, Slovénie, 22 p.
- Li L., Shi Z.H., Yin W., Zhu D., Ng S.L., Cai C.F., Lei A. (2009). *A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the danjiangkou reservoir area, China*. Ecological Modelling, vol. 220, pp. 3439-3447.
- Lin J-y., Lin T., Cui S.-h. (2012). *Quantitative selection model of ecological indicators and its solving method*. Ecological Indicators, vol. 13, n° 1, pp. 294-302.
- LNEC., ERSAR. (2013). *Guide for assessing the quality of water and waste services*

- provided to users-2nd generation of the assessment system.* 2nd edition, National Civil Engineering Laboratory (LNEC), Water and Waste Services Regulatory Authority (ERSAR), Lisbon, Portugal.
- Mailhot A., Duchesne S., Musso E., Villeneuve J.P. (2000). *Modélisation de l'évolution de l'état structural des réseaux d'égout : Application à une municipalité du Québec.* Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 27, pp. 65-72.
- Matos R., Cardoso A., Ashley R., Duarte P., Molinari A., Schulz A., (2003). *Performance indicators for wastewater services.* Manuel of Best Practice Series. London : IWA Publishing. ISBN 9781900222907, 192 p.
- Mattersdorf G., (2010). *Gestion patrimoniale et durabilité des services publics d'eau potable et d'assainissement.* Mémoire d'ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Paris, 106 p.
- Matzinger A., Schmidt M., Riechel M., Hein A., Bracker J., Strehl C., Nickel D., Libbe J., Sieker H., Pallasch M., Kohler M., Kaiser D., Bruckmann S., Moller C., Butter B., Gross G., Gunther R., Saumel I., Taute T., Schwarzmuller H., Bartel H., Heise S., Remy C., Sonnenberg H., Schmitt T., Heinzmann B., Joswig K., Rehfeld-Klein M., Reichmann B., Rouault P. (2014). *Quantifying the Effects of Urban Stormwater Management- Towards a Novel Approach for Integrated Planning.* 13^{ème} conférence internationale sur le réseau de drainage, Sarawak, Malaisie.
- MHA. (Ministère d'Hydraulique et de l'Assainissement) (2017). *Rapport sur les indicateurs de l'eau et l'assainissement pour l'année 2016.* Comité technique permanent de validation des indicateurs de l'eau et de l'assainissement, République du Niger, 27 p.
- Morgan M., Ghosn A. (2013). *État des lieux du secteur de l'eau en Algérie (State of the water sector in Algeria).* IPEMED, Ed. Institut de Perspective Economique du monde Méditerranéen (IPEMED).
- Moura P., (2008). *Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain.* Thèse de Doctorat. LGCIE, INSA de Lyon, France, 349 p.
- Moussaoui F., (2018). *Contribution à l'évaluation de la durabilité des bâtiments d'habitation en Algérie.* Thèse de Doctorat. Université de Bejaia, Algérie, 195 p.
- Nafi A., (2006). *La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable.* Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 232 p.
- Nafi A., Tourment R. (2016). *Gestion patrimoniale : pilotage par la performance dans une optique de durabilité du service.* Sciences Eaux & Territoires, INRAE, pp. 70-77.
- Nam, S. N., Nguyen, T. T. Oh, J. (2019). *Performance Indicators Framework for Assessment of a Sanitary Sewer System Using the Analytic Hierarchy Process (AHP).* Sustainability, vol. 11, n° 10.

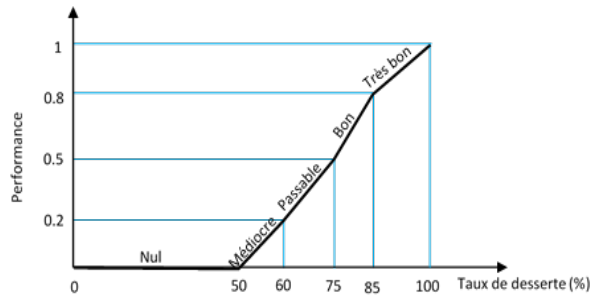
- Nudurupati S.S., Bititci U.S., Kumar V., Chan F.T.S. (2011). *State of the art literature review on performance measurement*. Computers and Industrial Engineering, vol. 60, n° 2, pp. 279-290.
- Odu G. (2019). *Weighting Methods for Multi-Criteria Decision Making Technique*. J. Appl. Sci. Environ. Manage, vol. 23, n° 8, pp. 1449-1457.
- OfWat. (2013). *Key Performance Indicators-Guidance*. Office of Water Services, Birmingham, UK.
- ONA. (2018). *Études de diagnostic et de réhabilitation des réseaux d'assainissement lot 2-villes de Tizi-Ouzou et Bejaia*. Rapport de synthèse. Ville de Bejaia (sous mission B7), Algérie 355 p.
- ONA. (2020). *Office National de l'Assainissement. [en ligne]*. Disponible sur : << www.ona-dz.org >>. (Septembre 2020).
- Poinard D., (2006). *Modèles pour la conception de stratégies et de programmes de réhabilitation des réseaux urbains d'eau potable*. Thèse de Doctorat. INSA de Lyon, France, 243 p.
- Poveda C.A., Lipsett M. (2011a). *A review of sustainability assessment and sustainability/environmental rating systems and credit weighting tools*. Journal of Sustainable Development, vol. 4, n° 6, pp. 36-55.
- Quadros S., Joao Rosa M., Alegre H., Silva C. (2010). *A performance indicators system for urban wastewater treatment plants*. Water Science & Technology, vol. 62, n° 10, pp. 2398-2407.
- Renou S., (2006). *Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées*. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 261 p.
- Renou S., Thomas J.S., Aoustin E., Pons M.N. (2008). *Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA*. Journal of Cleaner Production, vol. 16, pp. 1098-1105.
- Rivière P. (2009). *Aide à la décision et performance*. CNEH, CNAV, école d'été méditerranéenne d'information en santé, Corte, 33 p.
- Rogers C.D.F., Hao T., Costello S.B., Burrow M.P.N., Metje N., Chapman D.N., Parker J., Armiatje R.J., Anspach J.H., Muggleton J.M., Foo K.Y., Wang P., Pennock S.R., Atkins P.R., Swingle S.G., Cohn A.G., Goddard K., Lewin P.L., Orlando G., Redfern M.A., Royal A.C.D., Saul A.J. (2012). *Condition assessment of the surface and buried infrastructure- A proposal for integration*. Tunneling and Underground Space Technology, vol. 28, pp. 202-211.
- Roszkowska E., (2013). *Rank Ordering Criteria Weighting Methods- A Comparative Overview*. Université de Bialystoc, Pologne, 169 p.

- Roy B., Bouyssou D. (1993). *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*. Economica, Paris, 695 p.
- Sabia G., Petta L., Avolio F., Caporossi E. (2020). *Energy saving in wastewater treatment plants : A methodology based on common key performance indicators for the evaluation of plant energy performance, classification and benchmarking*. Energy Conversion and Management, vol. 220, p. 113067.
- Santos L.F., Galvao A.F., Cardoso M.A. (2019). *Performance indicators for urban storm water systems : a review*. Water policy, vol. 21, n° 1, pp. 221-244.
- Sebti A., (2011). *Optimisation des coûts de la réhabilitation hydraulique et environnementale d'un réseau de drainage urbain*. Mémoire de maîtrise électronique. École de technologie supérieure, Montréal, Canada, 144 p.
- Shah L., Etienne A., Siadat A., Vernadat F. (2012). *(Value, Risk)-based performance of Manufacturing Processes*. INCOM proceedings of the 14th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Bucharest, Romania, pp. 1586-1591.
- Silva C., Saldanha Matos J., Rosa M.J. (2016). *A comprehensive approach for diagnosing opportunities for improving the performance of a WWTP*. Water Science & Technology, vol. 74, n° 12, pp. 2935-2945.
- Telemsani M., (2012). *Mise en place d'indicateurs de performance stratégiques au sein hospitalier de l'Institut Notre-Dame de la Compassion (INDC)*. Mémoire-Projet. Université catholique de Louvain, 109 p.
- Triantafillou C., (1987). *La dégradation et la réhabilitation des réseaux d'assainissement France-Angleterre-Etats-Unis*. Thèse de Doctorat. École Nationale des Ponts et Chaussées, France, 613 p.
- Tshumuka A.L., (2010). *Établissement des courbes de dégradation des conduites des réseaux sanitaires : méthodologie et étude de cas à VERDUN et STE-HYACINTHE au Québec, Canada*. Mémoire de Maîtrise Ès Sciences Appliquées. Montréal, Canada, 78 p.
- Ugarelli R.M., Alegre H. (2016). *Gestion patrimoniale des infrastructures liées aux eaux urbaines : les expériences AWARE-P au Portugal et en Norvège*. Sciences Eaux & Territoires, n° 20, pp. 34-37.
- Van Laarhoven P.J.M, Pedrycz W. (1983). *A fuzzy extension of Saaty's priority theory*. Fuzzy Sets and Systems, vol 11, pp. 229-241.
- Vasconcelos E., (2005). *Outils d'aide à la gestion du patrimoine réseau d'assainissement non visitable*. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux I, 373 p.
- Visiedo R. (2013). *Sédiments en réseau : point de vue d'exploitants-Exemple de Lyon*. Journées Eau et Environnement, Nantes, France.

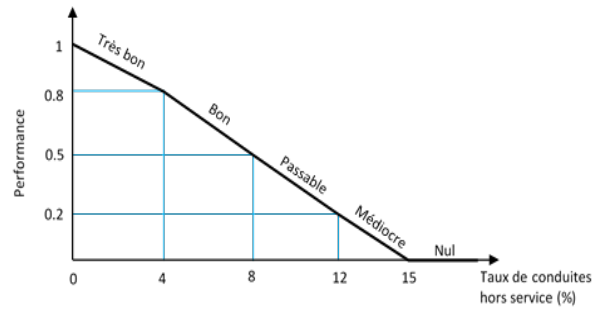
- Vladeanu, G., Matthews, J. (2019). *Wastewater pipe condition rating model using multicriteria decision analysis*. Journal of Water Resources Planning Management, vol. 145, n° 12.
- WAREG. (European Water Regulators) (2017). *An analysis of water efficiency KPIs in wareg member countries*. A WAREG report, 82 p.
- Werey C., Rosan A., Wittner C., Le Gat Y., Le Gauffre P., Nirsimloo K., Leclercq C. (2012). *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : de l'état des réseaux à la planification de leur réhabilitation-outils, méthodes et perspectives*. Sciences Eaux & Territoires, n° 09, pp. 44-53.
- Yahiaoui F. (2000). *Réhabilitation des réseaux d'assainissement visitables et non visitables*. Mémoire d'Ingénieur Géomètre Topographe. École Supérieure des Géomètres et Topographes, 66 p.
- Younis R., Knight M.A. (2010b). *A probability model for investigating the trend of structural deterioration of wastewater pipelines*. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 25, pp. 670-680.
- Zardari N.H., Ahmed K., Shirazi S.M., Bin Yusop Z. (2015). *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management*. USA : Springer Press.

Annexes

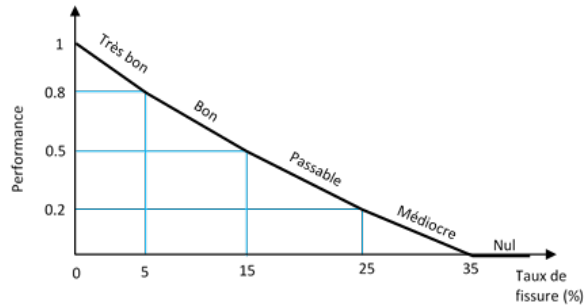
Annexe 1 : Les échelles de performance des indicateurs associés à C₁₂, C₁₃, C₁₄ et C₂₁.



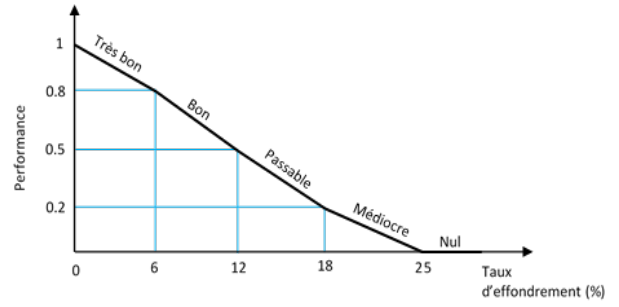
Échelle de performance de I₁₂₁



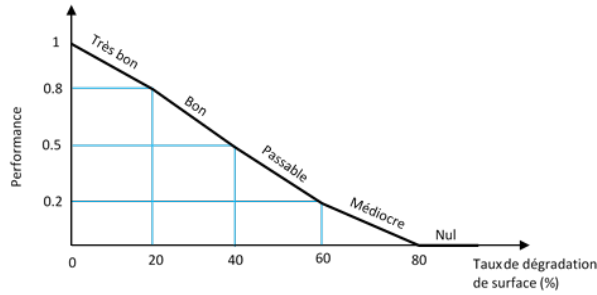
Échelle de performance de I₁₂₂



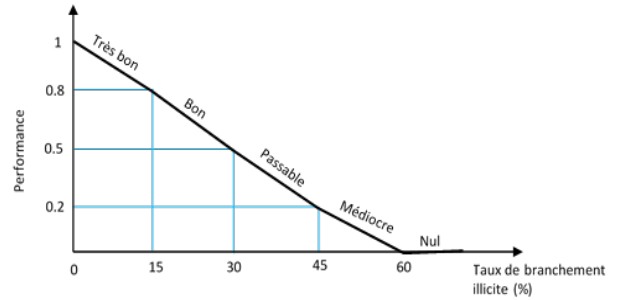
Échelle de performance de I₁₂₃



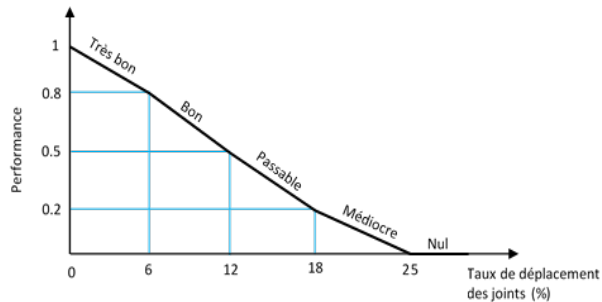
Échelle de performance de I₁₂₄



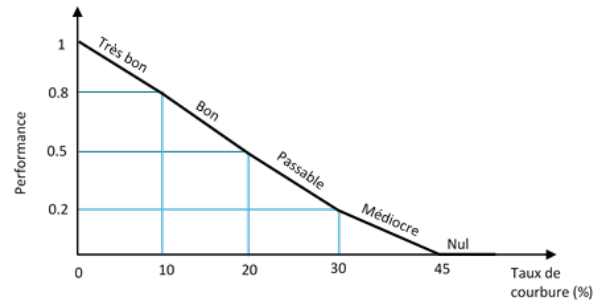
Échelle de performance de I₁₂₅



Échelle de performance de I₁₂₆

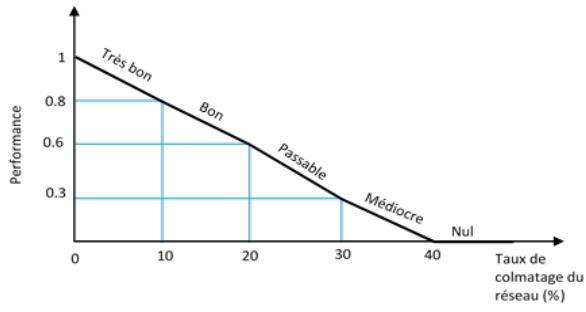


Échelle de performance de I₁₂₇

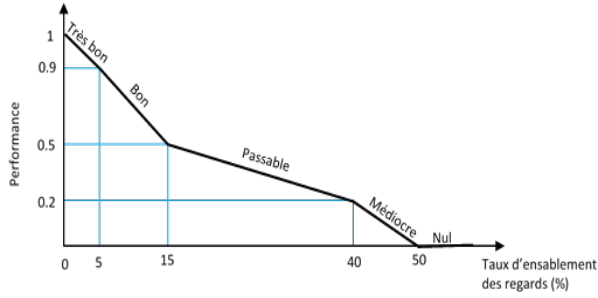


Échelle de performance de I₁₂₈

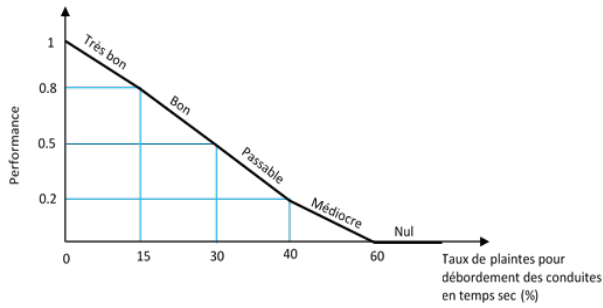
Figure A1- 1 : Échelles de performance des indicateurs associés à C₁₂.



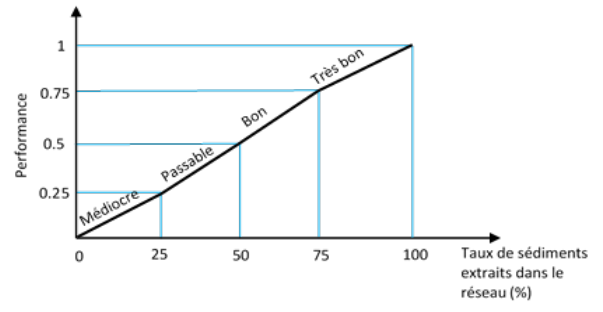
Échelle de performance de I131



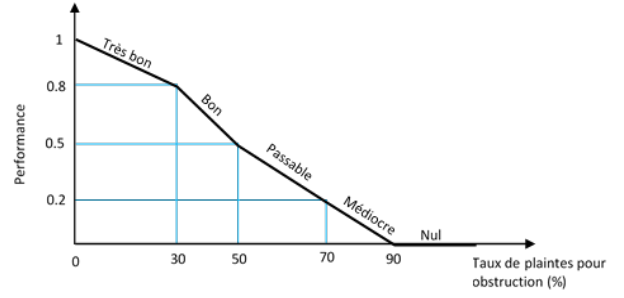
Échelle de performance de I133



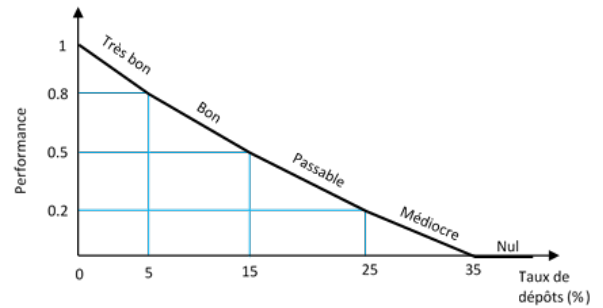
Échelle de performance de I135



Échelle de performance de I132

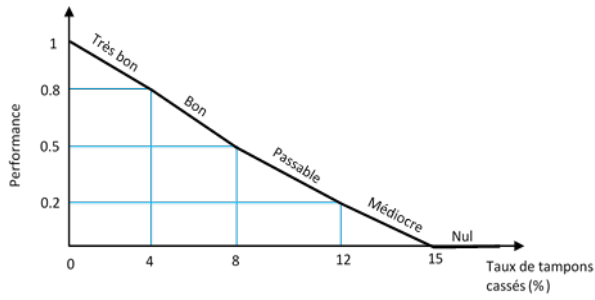


Échelle de performance de I134

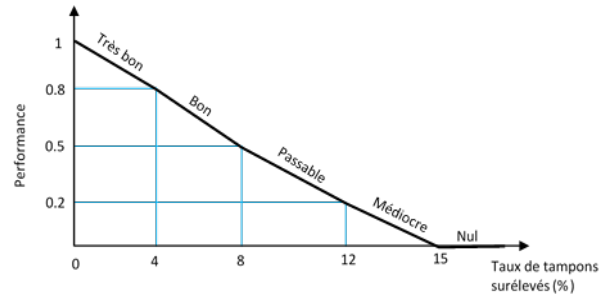


Échelle de performance de I136

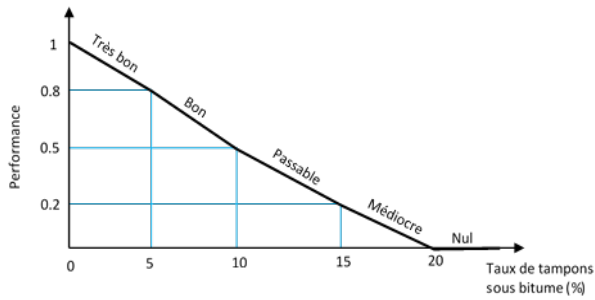
Figure A1- 2 : Échelles de performance des indicateurs associés à C13.



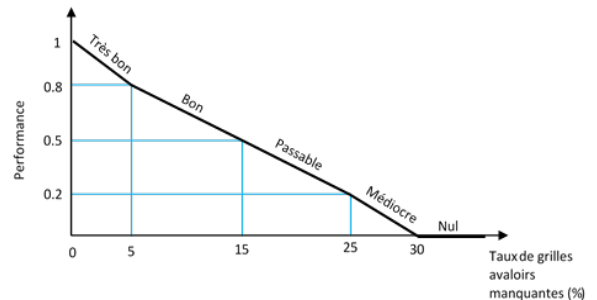
Échelle de performance de I₁₄₂



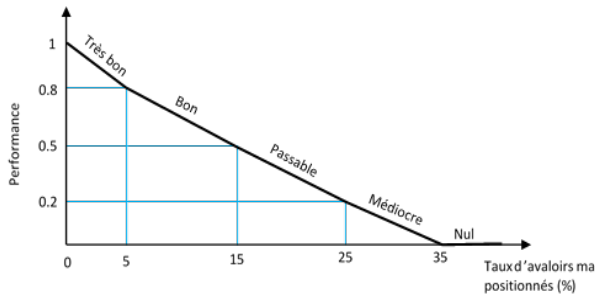
Échelle de performance de I₁₄₃



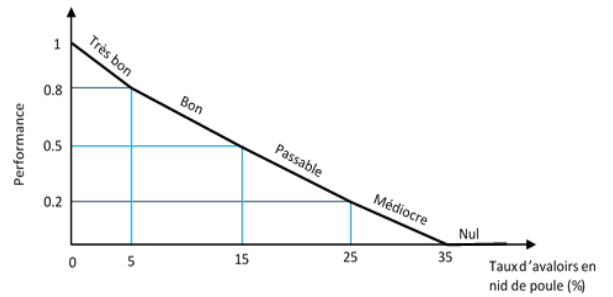
Échelle de performance de I₁₄₄



Échelle de performance de I₁₄₅

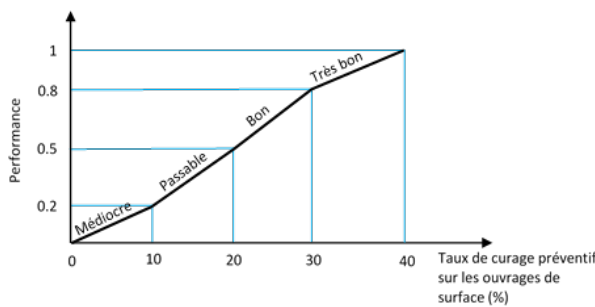


Échelle de performance de I₁₄₆

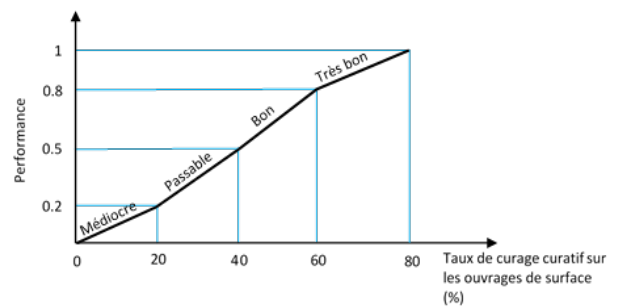


Échelle de performance de I₁₄₇

Figure A1- 3 : Échelles de performance des indicateurs associés à C₁₄.



Échelle de performance de I₂₁₂



Échelle de performance de I₂₁₃

Figure A1- 4 : Échelles de performance des indicateurs associés à C₂₁.

Annexe 2 : Les matrices de préférences avec les notes numériques et les nombres flous des indicateurs liés à C_{12} , C_{13} et C_{14} .

Tableau A2- 1 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{12} .

	I_{121}	I_{122}	I_{123}	I_{124}	I_{125}	I_{126}	I_{127}	I_{128}	I_{129}
I_{121}	1	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
I_{122}	6	1	0.2	0.5	0.2	0.25	0.25	0.2	0.5
I_{123}	6	5	1	5	3	4	3	2	4
I_{124}	6	2	0.2	1	0.33	0.25	0.33	0.25	0.5
I_{125}	6	5	0.33	3	1	2	2	0.5	2
I_{126}	6	4	0.25	4	0.5	1	1	1	3
I_{127}	6	4	0.33	3	0.5	1	1	0.5	2
I_{128}	6	5	0.5	4	2	1	2	1	3
I_{129}	6	2	0.25	2	0.5	0.33	0.5	0.33	1

Tableau A2- 2 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{13} .

	I_{131}	I_{132}	I_{133}	I_{134}	I_{135}	I_{136}	I_{137}
I_{131}	1	0.5	3	0.33	0.33	4	3
I_{132}	2	1	2	0.25	0.25	2	3
I_{133}	0.33	0.5	1	0.25	0.25	2	2
I_{134}	3	4	4	1	2	5	4
I_{135}	3	4	4	0.5	1	5	4
I_{136}	0.25	0.5	0.5	0.2	0.2	1	0.5
I_{137}	0.33	0.33	0.5	0.25	0.25	2	1

Tableau A2- 3 : Matrice des préférences entre les indicateurs liés au critère C_{14} .

	I_{141}	I_{142}	I_{143}	I_{144}	I_{145}	I_{146}	I_{147}
I_{141}	1	0.5	3	3	1	4	3
I_{142}	2	1	3	2	1	3	3
I_{143}	0.33	0.33	1	1	0.5	3	0.5
I_{144}	0.33	0.5	1	1	1	5	3
I_{145}	1	1	2	1	1	4	3
I_{146}	0.25	0.33	0.33	0.2	0.25	1	0.5
I_{147}	0.33	0.33	2	0.33	0.33	2	1

Tableau A2- 4 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{12} .

	I_{121}	I_{122}	I_{123}	I_{124}	I_{125}	I_{126}	I_{127}	I_{128}	I_{129}
I_{121}	(1, 1, 1)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)	(0.143, 0.167, 0.2)
I_{122}	(5, 6, 7)	(1, 1, 1)	(0.167, 0.2, 0.25)	(0.33, 0.5, 1)	(0.167, 0.2, 0.25)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.167, 0.2, 0.25)	(0.33, 0.5, 1)
I_{123}	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(3, 4, 5)
I_{124}	(5, 6, 7)	(1, 2, 3)	(0.167, 0.2, 0.25)	(1, 1, 1)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.33, 0.5, 1)
I_{125}	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(0.25, 0.33, 0.5)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 2, 3)
I_{126}	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(0.2, 0.25, 0.33)	(3, 4, 5)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
I_{127}	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(2, 3, 4)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 2, 3)
I_{128}	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(0.33, 0.5, 1)	(3, 4, 5)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
I_{129}	(5, 6, 7)	(1, 2, 3)	(0.2, 0.25, 0.33)	(1, 2, 3)	(0.33, 0.5, 1)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.33, 0.5, 1)	(0.25, 0.33, 0.5)	(1, 1, 1)

Tableau A2- 5 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C_{13} .

	I_{131}	I_{132}	I_{133}	I_{134}	I_{135}	I_{136}	I_{137}
I_{131}	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(2, 3, 4)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)
I_{132}	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.2, 0.25, 0.33)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)
I_{133}	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 1, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.2, 0.25, 0.33)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)
I_{134}	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)
I_{135}	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)
I_{136}	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.33, 0.5, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(0.167, 0.2, 0.25)	(0.167, 0.2, 0.25)	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)
I_{137}	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.33, 0.5, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.2, 0.25, 0.33)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)

Tableau A2- 6 : Matrice des préférences floues entre les indicateurs liés au critère C₁₄.

	I₁₄₁	I₁₄₂	I₁₄₃	I₁₄₄	I₁₄₅	I₁₄₆	I₁₄₇
I₁₄₁	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)
I₁₄₂	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)
I₁₄₃	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)	(2, 3, 4)	(0.33, 0.5, 1)
I₁₄₄	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.33, 0.5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)
I₁₄₅	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)
I₁₄₆	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.167, 0.2, 0.25)	(0.2, 0.25, 0.33)	(1, 1, 1)	(0.33, 0.5, 1)
I₁₄₇	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(1, 2, 3)	(0.25, 0.33, 0.5)	(0.25, 0.33, 0.5)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)

**Production Scientifique dans le cadre de la
thèse**

Publications Internationales

Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems

Meriem Igroufa, Abbas Benzerra and Abdelghani Seghir

ABSTRACT

The present paper deals with the improvement of infrastructure asset management of urban drainage systems (UDS). A numerical tool for assessing the existing management procedures is proposed. It is based on a participatory methodology for the construction of a set of performance indicators. This methodology consists of two phases. The first concerns the identification of priority objectives, criteria and indicators related to the management of the UDS infrastructure. The second phase concerns the assessment of the global performance for each identified objective. Performance measurement scales are first defined for all the elements of the proposed methodology. Then, the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) is used for the weighting stage, and the Weighted Sum Method is used for the aggregation of indicators and criteria. To illustrate this methodology, a case study concerning Bejaia City in northern Algeria was carried out. Two priority objectives are identified for this case, they are divided into 6 criteria and 31 indicators. The results of the application of the developed tool highlighted some weaknesses that need improvements in the actual management procedure applied by the local sanitation services.

Key words | asset management, FAHP, performance indicators, performance scales, urban drainage systems

Meriem Igroufa (corresponding author)
Abbas Benzerra
Abdelghani Seghir
Laboratory of Applied Hydraulics and Environment (LRHAE), Department of Hydraulics, Faculty of Technology,
University of Bejaia,
Targua Ouzemour, 06000 Bejaia,
Algeria
E-mail: meriem.igroufa@gmail.com

HIGHLIGHTS

- A participatory methodology approach is proposed for the assessment of urban drainage management.
- The methodological approach is based on two phases.
- A set of decision elements are identified as objectives, criteria and indicators
- Performance scales are constructed for the decision elements
- The proposed methodology could be applied to developing countries.

INTRODUCTION

Urban drainage systems (UDS), like other public facilities, represent colossal investments for localities, and their management is a major concern, particularly for low-income countries (Cossio *et al.* 2020). Over recent years, managers of the Algerian National Sanitation Office (ONA) have been worrying about the degraded state of their urban drainage networks. This concern is compounded by complex situations that vary from one city to another according to their local specificities. Degradations often come as several failures such as collapse of collectors, leakage of

wastewater, poor structural conditions of networks, etc. Also, these situations interact with various network characteristics like its total length, the diversity of materials composing its pipes, and its interaction with other public networks (drinking water, gas, electricity, etc.) as outlined by Bedjou *et al.* (2018). Other studies carried out in the same context, by Benzerra *et al.* (2012) and by Boukhari *et al.* (2017), have shown insufficient funding, obsolete regulation, absence of adequate structured methodology, and lack of data on the evolution of the structural quality of

UDS. Moreover, the sanitation networks are buried: 'We do not see them'. All these aspects directly impact not only the level of knowledge of degradations over time, but also the degree and the speed of the stakeholders' reaction. As a result, ONA's managers found it very interesting to get an efficient tool that allows them to assess their management of drainage networks. The aim is to improve and to ensure continuity of service to users.

The management procedure should be developed within a long-term approach. It therefore must take into account the actual structural conditions of the network as well as the technical and financial constraints and their evolution. Accordingly, the present research is particularly interested in non-visitable networks with pipe diameters less than 800 mm.

Actually, the scientific challenges that are faced are linked to the construction of an evaluation tool that can answer all the questions associated with the local context. How to develop an evaluation tool that is not costly? How to use and exploit the limited available data? How to synthesise data of different natures? These questions given as examples are enough to show that the evaluation model to be developed must come from a participatory approach, between the different stakeholders, to promote its success. Therefore, we think it is best to: 'Dream big, start small. But most of all, start' as the author and motivational speaker Simon Sinek advises. In fact, various working meetings were held with managers of ONA to select their priority objectives based on the available technical and financial resources.

The use of assessment tools based on performance indicators can be beneficial to managers of UDS. They measure the quality of the service provided to users as well as the effectiveness and efficiency of the management company. Regarding the decision-making mechanism, they, among other things, help to: (a) identify the possible network failures to program their rehabilitation, (b) make feasible comparisons between the developed priority objectives, (c) facilitate benchmarking between the different management units of the country, (d) create some positive competition between management units, (e) develop a clear knowledge of the national political decision-making organisations, such as the Ministry of Water Resources, responsible for the allocation of the necessary budgets.

Over the past 30 years, several studies have been published in the field of water management assessment. Several authors (Cardoso *et al.* 2012; Silva *et al.* 2016) recommend using the approach based on objectives, criteria and performance indicators. Santos *et al.* (2019) conducted a literature review on the set of performance indicators

used worldwide in the field of water service management. The authors reported that water services regulation organisations and agencies are the development precursors of evaluation tools by performance indicators. Among organisations, they cited: The International Water Association group (IWA), the American Water Works Association (AWWA), Office of Water Services (OfWAT). Other authors have focused their research on the structure of the network only. De la Fuente *et al.* (2016) and Nam *et al.* (2019) built a decision tree composed of a set of objectives, criteria and indicators to assess the structure of a network. They used the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to determine the weight of each element of the decision tree. Some studies have preferred to use the notion of factors, such as Hawari *et al.* (2018) and Vladeanu & Matthews (2019). They introduced factors influencing the structural quality of the pipes. The weight of each factor is determined in the first reference by employing a combination of Fuzzy Analytical Network Process (FANP) and Monte Carlo methods, while the AHP method is chosen in the second reference. Daher *et al.* (2018) assessed, using the Analytical Network Process (ANP) method, the structural conditions of the pipes, joints and manholes.

At the national level, very few works have been devoted to this issue. Nevertheless, Benzerra *et al.* (2012) and Boukhari *et al.* (2017) have developed a hierarchical structure of objectives, criteria and indicators for the evaluation of the sustainable management of the sanitation service in Algeria. However, no work has dealt particularly with the structural aspect of UDS. The aim of this research is therefore to contribute to the assessment of the management quality of the UDS infrastructure. The drainage network of Bejaia City is taken as a case study; this city is located in the northeast of Algeria. The adopted methodological approach is based on two essential phases: the first phase is focused on the identification of objectives, criteria and indicators. The selection of the selected indicators takes into account the financial and the human resources available at the ONA unit of Bejaia. The second phase is concerned with the evaluation of the selected indicators. During this phase, the construction of performance scales for each indicator is necessary. Finally, performance notes are obtained for the agreed target objectives by using FAHP and Weighted Sum methods.

METHODOLOGICAL APPROACH

Assessment of asset management of UDS infrastructure is very complex due to the diversity of its structures and

their underground and collective character. The choice of elements of the physical system to take into account depends on several parameters such as the definition of the priority objectives, the purpose of the evaluation, the data constraints and their cost. Consequently, the system studied herein includes the technical and political organisation managing the infrastructure, as well as structural elements: pipes, manholes and inlets.

As stated above, the methodological approach adopted in this paper followed two essential stages. In the first, indicators allowing the assessment of the quality management of the UDS infrastructure are identified. During this stage, it was necessary to make use of diverse specialists' opinions. It was also necessary to take into account the quality of the useful available data and the existing management strategies of the ONA agency. Indeed, the ONA's financial and human resources constituted a particular criterion in the selection of the selected indicators. Finally, this first stage resulted in retaining two objectives defined by six criteria, which in their turn are constituted by thirty-one (31) indicators.

The second step consisted of the construction of performance functions that define measures for the selected indicators. This resulted in a transformation of these initial measures into a performance score. Indeed, the aggregation and the weighting of the indicators led to the criteria performance rating. Then, in the same manner, the aggregation and the weighting of the criteria led to obtaining a single performance note for each defined objective. To carry out this assessment, a multi-criteria decision support approach, based on the performance indicators, was adopted. This approach consisted of the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) (Van Laarhoven & Pedrycz 1983). This powerful method made it possible to successfully assess the level of asset management of the network infrastructure on the basis of the priority objectives. Figure 1 shows a summary representation of the adopted methodological approach, with its two phases, and the details of the achieved tasks are given in the following sections.

Identification of the priority objectives

In the present work, the identification and the selection of the priority objectives, criteria and performance indicators are entirely based on a participatory approach. In fact, it is structured on a succession of stages that are similar to a process of filtering criteria and indicators.

The starting point was a broad consultation of literature in the field of this study, and the specific issue of

the quality of UDS infrastructures. Some examples of references that are very helpful include (Matos *et al.* 2003; De la Fuente *et al.* 2016; Hawari *et al.* 2018). For the city of Bejaia, under consideration herein, the most useful sources are the database of the ONA agency as well as the diagnostic and rehabilitation studies carried out by their experts (ONA 2018). Then, the second stage concerned several participatory meetings and discussions organised between the ONA agency and the LRHAE laboratory. The various analyses and suggestions made it possible to finalise a list of objectives, criteria and performance indicators. Seven experts are consulted to this aim: Four from the ONA agency and three from Applied Hydraulics and Environment Research Laboratory (LRHAE). The team from ONA is composed of the Director of the Agency, the Head of the operation service, and two Senior Engineers in charge of the Bejaia urban drainage operation and rehabilitation. All these experts have from 10 to 15 years of experience in managing and maintaining UDS. The team from LRHAE is composed of researchers and advisors with PhD degrees in the field of asset management and performance assessment. The selection of decision elements (indicators, criteria and objectives), as well their prioritisation through preference matrices, were a result of an agreement between all the experts after several meetings. It has been decided to fix a shortlist that takes into account the functional requirements of UDS and the specific local context. It included the irregularly updated database and the limited material and financial capacities of ONA.

The last point consisted of an in-depth in-situ investigation. Particular interest was paid to the state of deterioration of the UDS infrastructure and to the available technical and financial potential of the ONA agency. This agency counts 121 staff members and its budget varies between 1.64 and 1.94 million dollars per year. Global information concerning all Algerian agencies and their projects are covered and diffused on the website of the national direction: '<https://ona-dz.org/>'.

The final retained hierarchic scheme is shown in Figures 2 and 3. It contains two main objectives: one for the infrastructure management and the other for the network operation, together with the indicators and criteria used. It was found that the first objective is the most complex task, it requires four criteria to be satisfied. First of all, it is essential to enhance the knowledge of the asset by making indexes and inventories of structural components, to provide technical training and experience exchanging opportunities for the staff of the

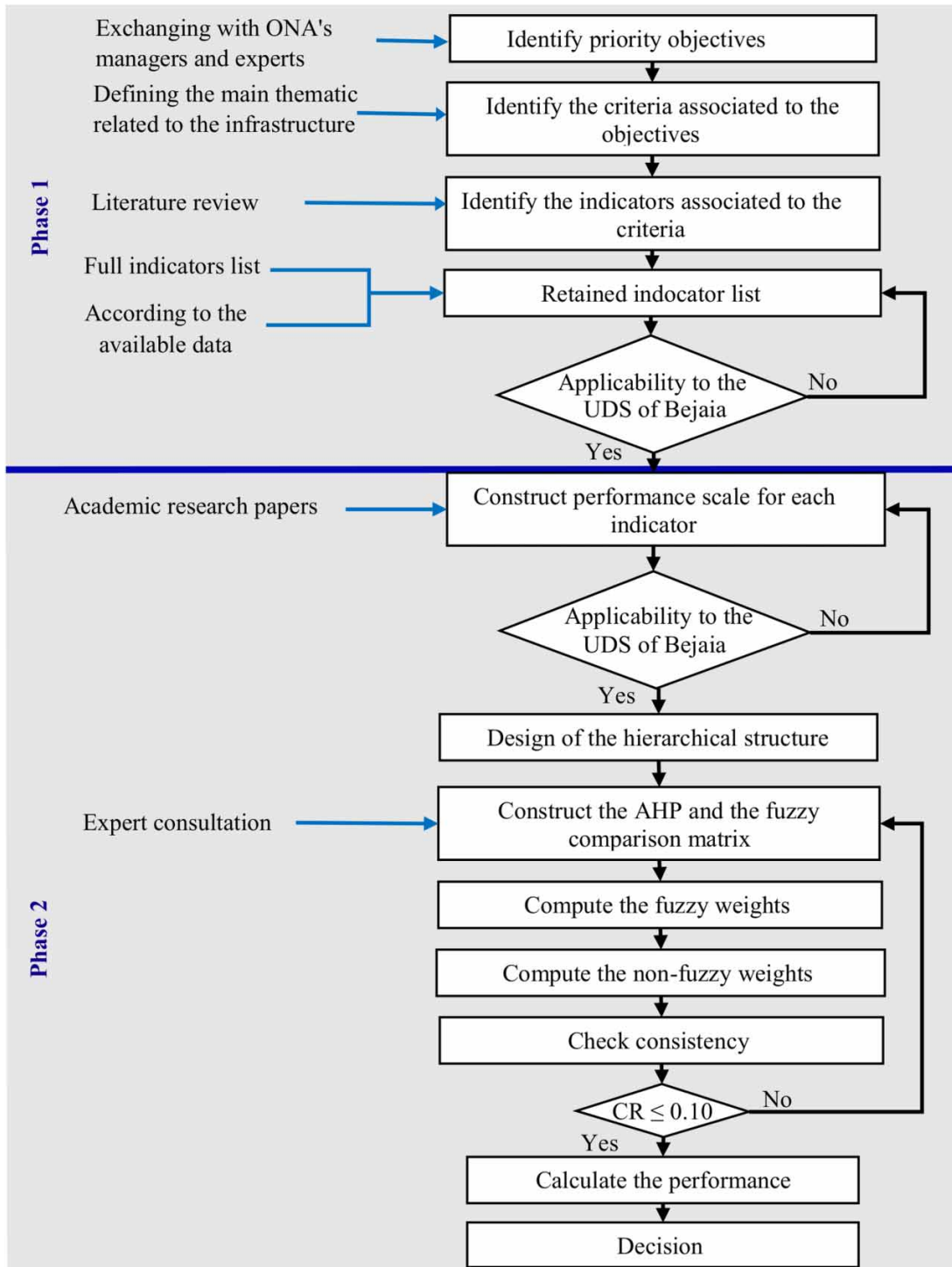


Figure 1 | Schematic description of methodological approach.

agency, to ensure availability of different means and tools for the regular inspections, etc. These are gathered in three indicators that are grouped in the first criterion.

The second criterion is related to maintaining good structural and functional conditions of the drainage system.

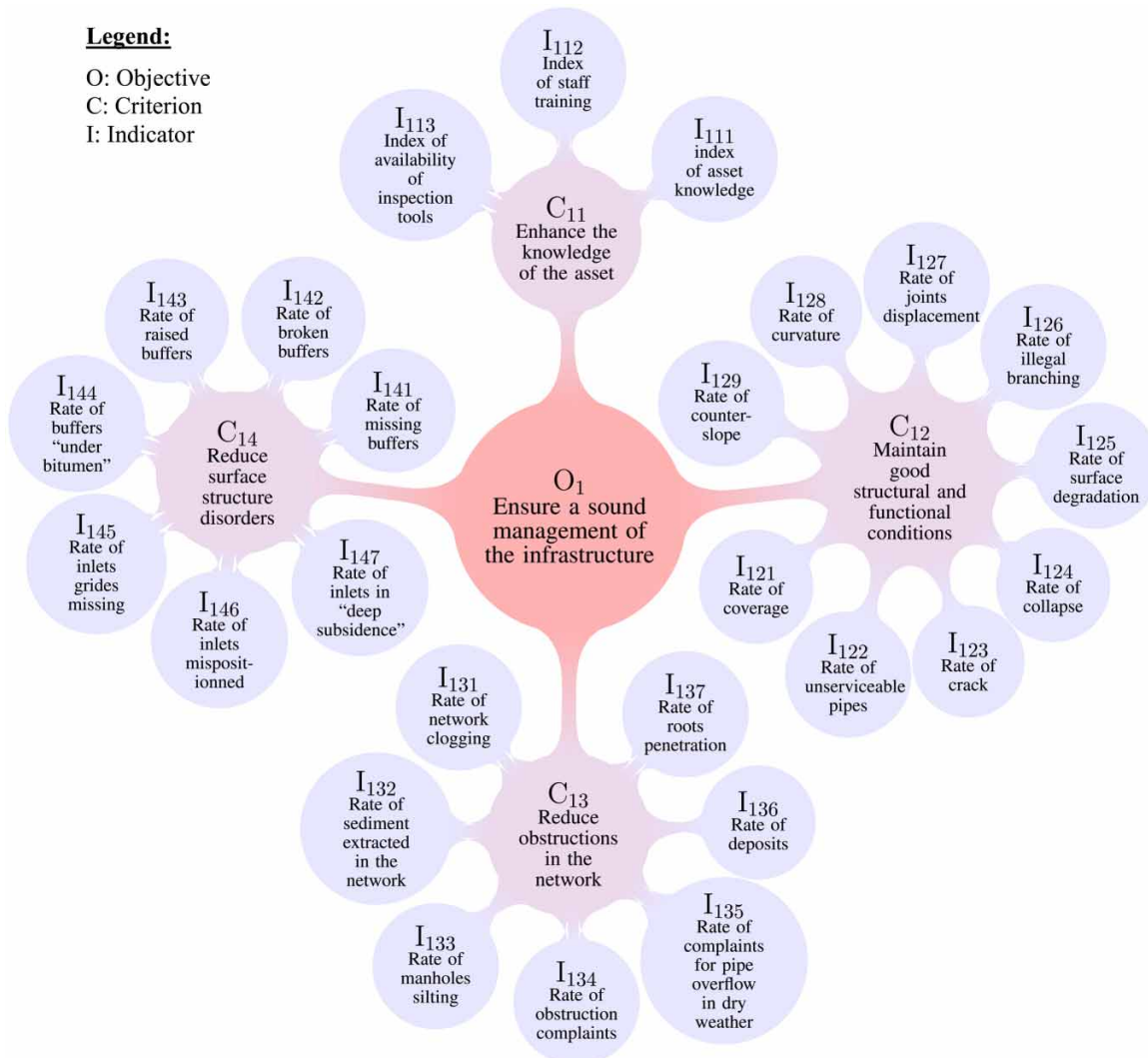


Figure 2 | Hierarchical scheme of objective O_1 .

To fit with it, eight indicators are found to be convenient to adequately measure different rates of degradations or deterioration of structural elements, some undesirable aspects, interruption in functionality, and so on. In the third criterion, aspects are grouped that cause or increase the risk of obstruction in the network pipes. To reduce this risk, seven indicators are identified which may give reliable estimations of sediment inlet sources, transport and deposits within pipes. The last criterion concerns surface disorders; it consists of seven indicators assessing the technical conditions of the network inlets and buffers.

The second selected objective which should be reached to obtain a more in-depth assessment of the asset management of UDS infrastructure is to ensure

efficient operation of the network. Two criteria are found essential for this reason. The first one concerns the quality of the continuous maintenance of the infrastructure provided by the ONA agency for the locality of Bejaia. Three indicators are defined for this criterion: rate of black spots, rate of preventive curing, and rate of restorative curing. These last two indicators concern surface elements of the network. The second criterion deals with rehabilitation actions, it gathers two indicators giving the rates of repaired pipes and the rate of replaced ones. As mentioned above, the performance assessment of the two objectives requires the construction of performance scales for each indicator. These functions are built according to the experts' recommendations. Then, the

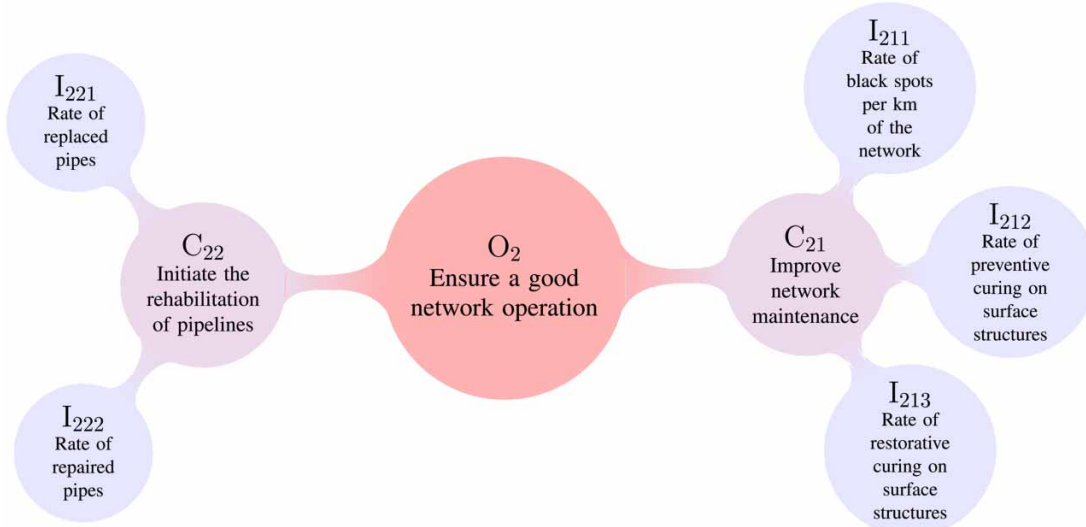


Figure 3 | Hierarchical scheme of objective O₂.

weighted sum and FAHP are used for the aggregation and weights calculation.

Performance scale

As with the definition of criteria and indicators, the construction of the performance scales required several discussions and meetings with the managers of the ONA agency. During the development of these scales, particular attention was paid to formulating, as rigorously as possible, the bounds of the performance levels. The performance measurement is achieved by mapping the indicator value onto a scale. The value of this performance is finite, quantitative and limited between 0 and 1, representing the worst to the best performance respectively. This range of variation is pertinent, it not only makes it easy to make a detailed distinction of the evolution of performance, but also fits well with the usage of AHP method. As an example, the performance function of the deposit rate indicator (I₁₃₆) is given in Figure 4. This indicator is given by the ratio of the number of pipes where deposits are observed on the total number of the examined pipes. The scaling assumes that when the deposit rate is less than or equal to 15%, the equivalent performance is between 0.5 and 1.0, but if the percentage exceeds the threshold of 35%, the performance is, in this case, zero. This operation is repeated for all indicators and criteria, but for the sake of brevity, the obtained performance functions are not plotted here. Nevertheless, the performance scale adopted for the two priority objectives is reported in Table 1; they will be used later.



Figure 4 | Example of performance function: Indicator I₁₃₆ 'rate of deposits'.

Table 1 | Performance evaluation adopted for the two priority objectives

Range values	0.00–0.25	0.25–0.50	0.50–0.75	0.75–1.00
Quality	Bad	Weak	Good	Very good

Weights calculation

The weights of the developed indicators and criteria (Figures 2 and 3) were calculated on the basis of preference matrices, also called decision matrices. For this purpose, the FAHP method introduced by Van Laarhoven & Pedrycz (1983) is applied. This method is an extension of the AHP method initiated by Saaty (1980) which is based on pairwise comparisons of judgments. It integrates the importance of the criteria and the indicators into one overall score for the objective (Benzerra et al. 2012; Kessili & Benmamar 2016). Consequently, a prioritisation of each element of the decision from the least important to the most important

was chosen. Thus, an entry in a decision matrix corresponds to a numerical note, defined in Table 2, which represents the degree of importance of one element compared to another. The numerical score is then fuzzified according to Khashei-Siuki et al. (2020). For instance, the values and their corresponding fuzzy numbers of the preference matrix of the three indicators related to criterion C₁₁: Enhance the knowledge of the asset, are given in Table 3.

From the fuzzy decision matrices, geometric mean values are computed for the elements (indicators, criteria) following the procedure proposed by Buckley (1985). These geometric means are then used to evaluate fuzzified weights, which are translated to non-fuzzy values by taking their centres of areas.

A geometric mean \tilde{r}_i of an element i is determined using the following equation:

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n} \tag{1}$$

where \tilde{a}_{ij} is the fuzzy comparison value of element i to element j , and n is the matrix size. The product rule between

Table 2 | Importance scale used for pairwise comparisons (Khashei-Siuki et al. 2020)

Linguistic variable	Numerical score	Fuzzy number	Reciprocal fuzzy number
Extremely strong	9	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)
Intermediate	8	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)
Very strong	7	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Intermediate	6	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
Strong	5	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Intermediate	4	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
Moderately strong	3	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Intermediate	2	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
Equally strong	1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

Table 3 | Preference matrix constructed for indicators related to criterion C₁₁

	Numerical score			Fuzzy numbers		
	I ₁₁₁	I ₁₁₂	I ₁₁₃	I ₁₁₁	I ₁₁₂	I ₁₁₃
I ₁₁₁	1	1/4	1/5	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/6,1/5,1/4)
I ₁₁₂	4	1	1/2	(3,4,5)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)
I ₁₁₃	5	2	1	(4,5,6)	(1,2,3)	(1,1,1)

I₁₁₁: Index of asset knowledge, I₁₁₂: Index of staff training, I₁₁₃: Index of availability of inspection tools.

two fuzzy numbers $\tilde{a} = (l_1, m_1, n_1)$ and $\tilde{b} = (l_2, m_2, n_2)$ is defined by

$$\tilde{a} \otimes \tilde{b} = (l_1 l_2, m_1 m_2, n_1 n_2) \quad \text{with} \quad l_1 \leq m_1 \leq n_1, l_2 \leq m_2 \leq n_2.$$

The expression of the fuzzy weight of an element i is:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \tag{2}$$

where the sum rule applies as: $\tilde{a} \oplus \tilde{b} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, n_1 + n_2)$, and the inverse of a fuzzy number is: $(\tilde{a})^{-1} = (1/n_1, 1/m_1, 1/l_1)$.

The defuzzification of \tilde{w}_i gives the normalised (non-fuzzy) weights

$$w_i = A_i / \sum_{i=1}^n A_i \tag{3}$$

where A_i is the arithmetic mean of the three components of the fuzzy weight \tilde{w}_i . A_i is also called the Center of Area. Application of this procedure to the decision matrix in Table 3 leads to the fuzzy and non-fuzzy weights of the three indicators related to the criterion C₁₁: Enhance the knowledge of the asset, as reported in Table 4.

As the weights calculations are based on decision matrices, they need to be checked for judgment consistency. A consistency ratio CR is determined to each weight; if it is found that $CR < 0.1$ then the decision matrix used for that computed weight is considered consistent enough. Otherwise, the experts are invited to revise their judgments to improve the consistency. The ratio is given by $CR = CI/RI$, where RI is a random index, as shown in Table 5, and $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$. λ_{max} is denoted as the eigenvalue, it is evaluated from the arithmetic mean of the

Table 4 | The fuzzy and non-fuzzy weights of indicators related to criterion C₁₁

	Geometric mean (\tilde{r}_i)	Fuzzy weight (\tilde{w}_i)	Non-fuzzy weight (w_i)
I ₁₁₁	(0.322, 0.368, 0.437)	(0.068, 0.097, 0.150)	0.097
I ₁₁₂	(1.000, 1.260, 1.710)	(0.210, 0.333, 0.588)	0.348
I ₁₁₃	(1.587, 2.154, 2.621)	(0.333, 0.570, 0.901)	0.555
Sum			1

Table 5 | Random Index (RI) (Benzerra et al. 2012)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

components u of the vector u defined by:

$$u_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} w_j / w_i \quad (4)$$

where M_{ij} is the non fuzzy decision matrix used to compute the set of n weights w_i ($i = 1 \dots n$).

After obtaining the performance scores and weights of lower hierarchical level elements, a weighted sum method is used for aggregation to obtain performance notes of higher hierarchical level elements. The expressions used for this purpose are:

$$P(C_{kj}) = \sum_{i=1}^{n_i} P(I_{kji}) w_i ; P(O_k) = \sum_{j=1}^{n_j} P(C_{kj}) w_j \quad (5)$$

where $P(I_{kji})$, $P(C_{kj})$ and $P(O_k)$ denote the performance notes of the indicators, the criteria and the objectives, respectively. n_i is the number of indicators related to a criterion C_{kj} , and n_j is the number of criteria of the objective O_k , as they are defined in Figures 1 and 2.

APPLICATION OF THE ASSESSMENT TOOL

The proposed methodology is applied to the UDS of Bejaia City, Algeria. The city has 185,000 inhabitants and a surface area of 120.22 km². Due to topographic conditions, Bejaia is mainly expanding towards the east and towards the south. Actually, the main activities of its population consist principally in trade and industry. In fact, Bejaia contains a large industrial area and several tourist sites. Regarding the climate, it is mild, of the Mediterranean type, with wet winters and hot summers. The average annual temperature is 23 °C and the average annual rainfall is around 874 mm (ONA 2018).

Figure 5 shows a map of Bejaia and its UDS as reported from ONA internal report. The total length of the UDS is 312 km, represented by four colours on the map. Pipes subjected to pedestrian and video periscopic inspections are represented by red and green lines, respectively. These inspections are the two main techniques that are used

during the diagnosis carried out by the SCE French Group and the ONA unit of Bejaia. Pipes not needing inspection are represented by grey lines, and those that are not inspected are represented by black lines.

It has been noted that 99.4% of the network operates in gravity mode, and is of unitary type and of circular shape. Approximately 88.32% of the network pipes is aged but without precision about its age, 8.67% was constructed before 1996, 1.78% between 1997 and 1999, and 1.23% from 2000 to now. The number of inlets is 5,010 and 9,787 manholes have been counted. Several anomalies have been recorded, which are summarised as follows: grates of inlets missing, inlets mispositioned and inlets in deep subsidence. The network is thus poorly maintained and presents several black spots; it needs sustainable measures. Concerning its hydrological capacities, in parallel to the buried drainage pipes, Bejaia watershed is equipped with several free surface open channels capable of evacuating exceptional flow discharges. However, there still remain mainly three zones of network overflowing, where flooding occurs practically each year.

Table 6 represents the average annual values of the constructed indicators used in the performance assessment of the UDS.

RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the performance assessment of the two identified objectives «O₁: Ensure a good management of the infrastructure» and «O₂: Ensure a good network exploitation» was performed during the year 2018. The performance scales constructed for the indicators lead to the performance scores plotted in Figure 6. Results of the FAHP method applied for the determination of the weight for each element are shown in Tables 7 and 8. The judgement consistency ratios for all decision matrices are reported in Table 9. They show that the preference judgements are thus acceptable. The performance score of each criterion is obtained by aggregating the indicator performances displayed in Figure 7 together with the performance of the two priority objectives.

According to these results, good quality performance was obtained for the objective O₁ 'Ensure a good

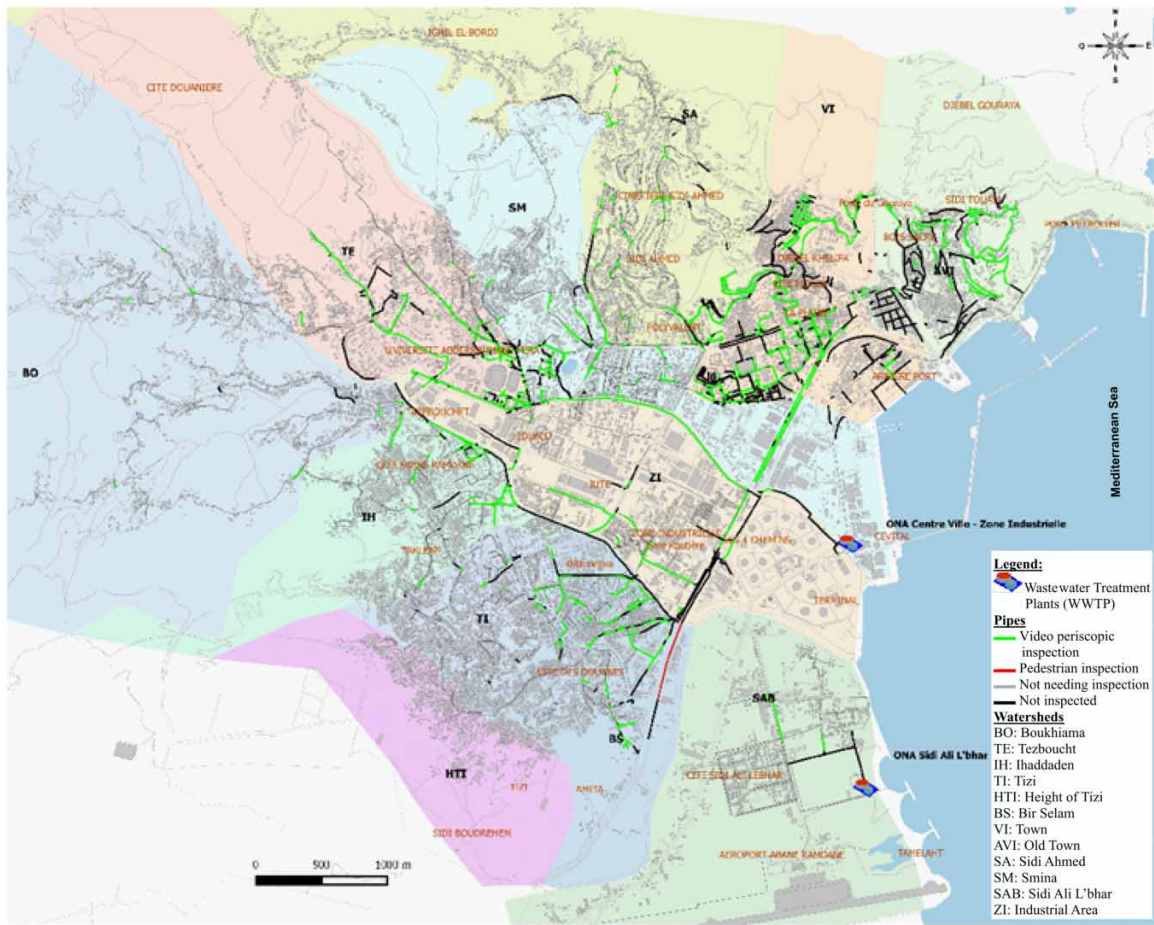


Figure 5 | General UDS Map of Bejaia City (ONA 2018). The full colour version of this figure is available in the online version of this paper, at <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2020.356>.

Table 6 | Annual values (*) of the identified indicators (ONA 2018)

Indicator	Value	Indicator	Value	Indicator	Value	Indicator	Value
I ₁₁₁	50.00	I ₁₂₆	06.51	I ₁₃₅	41.90	I ₁₄₆	00.78
I ₁₁₂	20.00	I ₁₂₇	09.83	I ₁₃₆	33.32	I ₁₄₇	01.20
I ₁₁₃	51.25	I ₁₂₈	23.69	I ₁₃₇	00.66		
I ₁₂₁	83.00	I ₁₂₉	00.41	I ₁₄₁	00.81	I ₂₁₁	21.00
I ₁₂₂	02.41	I ₁₃₁	11.00	I ₁₄₂	02.77	I ₂₁₂	04.63
I ₁₂₃	04.69	I ₁₃₂	29.20	I ₁₄₃	07.69	I ₂₁₃	31.64
I ₁₂₄	01.95	I ₁₃₃	08.40	I ₁₄₄	12.90	I ₂₂₁	01.60
I ₁₂₅	18.92	I ₁₃₄	75.59	I ₁₄₅	02.19	I ₂₂₂	00.96

(*) units: [I₁₁₃] = hours/employees/year, [I₁₃₂] = m³/km, [I₂₁₁] = Number of points/km/year, others in [%]. (Refer to Figures 2 and 3 for descriptions of the indicators.)

management of the infrastructure’ (P(O₁) = 0.653). However, attention must be paid to the interpretation of the performance at this hierarchical level, it can only provide

an overall view of the management performance. Indeed, analysis of indicator performances may give more details about possible failures and can guide managers to act in

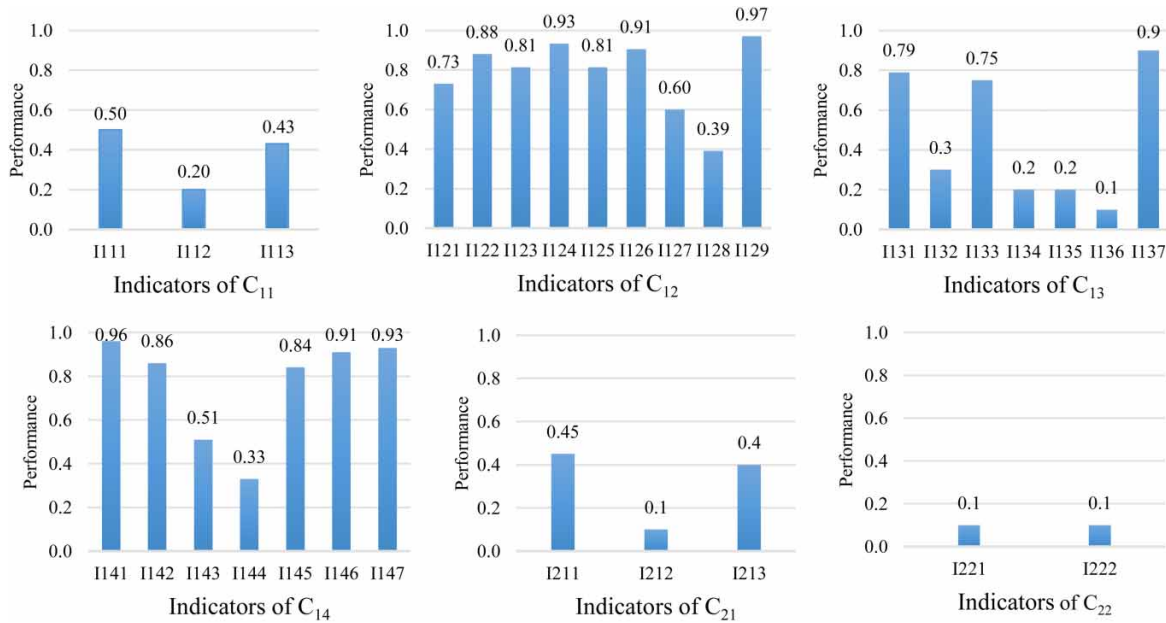


Figure 6 | Performance of indicators related to the two objectives.

Table 7 | The weights of 31 indicators obtained by FAHP

Indicator	Weight	Indicator	Weight	Indicator	Weight	Indicator	Weight
I ₁₁₁	0.098	I ₁₂₆	0.124	I ₁₃₅	0.265	I ₁₄₆	0.047
I ₁₁₂	0.348	I ₁₂₇	0.114	I ₁₃₆	0.047	I ₁₄₇	0.084
I ₁₁₃	0.553	I ₁₂₈	0.173	I ₁₃₇	0.058		
I ₁₂₁	0.017	I ₁₂₉	0.070	I ₁₄₁	0.217	I ₂₁₁	0.186
I ₁₂₂	0.038	I ₁₃₁	0.127	I ₁₄₂	0.233	I ₂₁₂	0.379
I ₁₂₃	0.267	I ₁₃₂	0.117	I ₁₄₃	0.092	I ₂₁₃	0.435
I ₁₂₄	0.051	I ₁₃₃	0.074	I ₁₄₄	0.141	I ₂₂₁	0.743
I ₁₂₅	0.146	I ₁₃₄	0.313	I ₁₄₅	0.185	I ₂₂₂	0.257

order to improve the overall performance. As can be seen in Figure 6, various indicators (I₁₁₂, I₁₁₃, I₁₂₈, I₁₃₂, I₁₃₄, I₁₃₅, I₁₃₆ and I₁₄₄) present performances lower than 0.5. This is due to the fact that the management of these indicators requires more financial and material means.

In contrast to objective O₁, weak quality performance was obtained for the second objective O₂ ‘Ensure a good network operation’ (P(O₂) = 0.140). Analysis of the five indicators associated with this objective indicates that they, all of them, are of low quality.

Indeed, three of these indicators (I₂₁₂, I₂₂₁ and I₂₂₂) obtained a performance note of 0.1, as shown in Figure 6. This result reveals: (i) the absence of coordination and

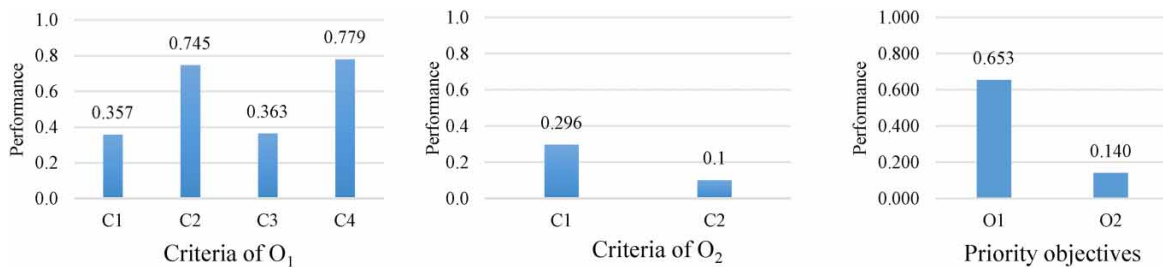
communication between the network owner (Popular Communal Assembly of Bejaia) and the network manager (ONA); (ii) the disparity of actions between all the stakeholders; (iii) the lack of means for sound operation of the network. Besides this insufficiency, the two remaining indicators, I₂₁₁ and I₂₁₃, display an acceptable performance great or equal to 0.4.

Table 8 | The weights of criteria obtained by FAHP

Criteria	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₁	C ₂₂
Weights	0.077	0.143	0.214	0.566	0.203	0.797

Table 9 | Consistency ratios for the decision matrices of criteria and objectives

Decision element	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₁	C ₂₂	O ₁	O ₂
Matrix size (<i>n</i>)	3	9	7	7	3	2	4	2
Eigenvalue (λ_{max})	3.027	9.696	7.444	7.444	3.025	2	4.158	2
Consistency Index (<i>CI</i>)	0.014	0.087	0.074	0.074	0.012	0	0.053	0
Consistency Ratio (<i>CR</i>)	0.023	0.060	0.056	0.056	0.021	0	0.058	0

**Figure 7** | Performance of the defined criteria and objectives.

CONCLUSION

The objective of this paper is to develop an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems. The methodology is illustrated through application to the case of Bejaia City. It aims to help ONA's managers to undertake the best actions for better governance decisions. Therefore, the methodology adopted is based completely on a participatory approach. Indeed, with the help of experts consulted, two priority objectives were selected: (i) Ensure a good management of the infrastructure and (ii) Ensure a good network exploitation. These two objectives cover six criteria, which are defined by a set of 31 indicators constructed taking into account the functional requirements of a UDS and the specific local context. The management assessment methodology developed in the present work was based on performance scales that were built for all defined indicators, criteria and objectives. Performance of the decision elements was determined by using the FAHP and weighted sum methods.

The obtained results showed a good performance for the first objective but several of its indicators displayed a poor performance. Also, a mediocre performance was found for the second objective, as evidence of the degree of divergence in the actions of stakeholders. Gathering these actors for health, economic and environmental partnership thus becomes an urgent priority. The performance indicators used in this study can provide interesting

information to the managers of Algerian Sanitation Service. Its exploitation will allow the ONA to better act on the failures of UDS and increase its lifetime. Due to missing data and insufficient funding, we have been led to construct performance indicators based especially on the means available. Actually, the tool is in the process of being applied by ONA, the experience feedback will eventually bring elements for adjustment and improvement. It would thus be interesting to organise national meetings between the different units of ONA, in order to produce a common panel of indicators, criteria and objectives, accompanied by their performance scales. Only then, the principle of benchmarking could be used to encourage managers to perform better.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are thankful to all the staff of the ONA agency of Bejaia for their precious advices, for the multiple working sessions and for providing the necessary database and the internal reports for conducting this work.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

All relevant data are included in the paper or its Supplementary Information.

REFERENCES

- Bedjou, A., Boudoukha, A. & Bosseler, B. 2018 Assessment of wastewater asset management effectiveness in the case of rare data and low investments. *International Journal of Environmental Science and Technology* **16** (7), 3781–3792. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-2005-3>.
- Benzerra, A., Cherrared, M., Chocat, B., Cherqui, F. & Zekiouk, T. 2012 Decision support for sustainable urban drainage system management: a case study of Jijel, Algeria. *Journal of Environmental Management* **101**, 46–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.027>.
- Boukhari, S., Djebbar, Y., Amarchi, H. & Sohani, A. 2017 Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services: the case of Algeria. *Water Supply* **18** (4), 1282–1293. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2017.194>.
- Buckley, J. J. 1985 Ranking alternatives using fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems* **15**, 21–31.
- Cardoso, M. A., Silva, M. S., Coelho, S. T., Almeida, M. C. & Covas, D. I. C. 2012 Urban water infrastructure asset management – a structured approach in four water utilities. *Water Science and Technology* **66** (12), 2702–2711. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2012.509>.
- Cossio, C., Norman, J., McConville, J., Mercado, A. & Rauch, S. 2020 Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries. *Environmental and Sustainability Indicators* **6**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indic.2020.100028>.
- Daher, S., Zayed, T., Elmasry, M. & Hawari, A. 2018 Determining relative weights of sewer pipelines' components and defects. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice* **9** (1). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000290](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000290)
- De la Fuente, A., Pons, O., Josa, A. & Aguado, A. 2016 Multi-criteria decision making in the sustainability assessment of sewerage pipe systems. *Journal of Cleaner Production* **112**, 4762–4770. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.002>.
- Hawari, A., Alkadour, F., Elmasry, M. & Zayed, T. 2018 Condition assessment model for sewer pipelines using fuzzy-based evidential reasoning. *Australian Journal of Civil Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1080/14488353.2018.1444333>.
- Kessili, A. & Benmamar, S. 2016 Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water Science and Technology* **73** (2), 283–291. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2015.490>.
- Khashei-Siuki, A., Keshavarz, A. & Sharifan, H. 2020 Comparison of AHP and FAHP methods in determining suitable areas for drinking water harvesting in Birjand Aquifer, Iran. *Groundwater for Sustainable Development* **10**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100328>
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A. & Schulz, A. 2003 *Performance Indicators for Wastewater Services. Manual of Best Practice Series*. IWA Publishing, London, p. 192.
- Nam, S. N., Nguyen, T. T. & Oh, J. 2019 Performance indicators framework for assessment of a sanitary sewer system using the analytic hierarchy process (AHP). *Sustainability* **11**, 2746. <http://dx.doi.org/10.3390/su11102746>.
- ONA 2018 *Etudes de diagnostic et de réhabilitation des réseaux d'assainissement lot 2 – villes de Tizi Ouzou et Bejaia, Rapport de synthèse*. ville de Bejaia (sous mission B7), p. 355.
- Saaty, T. L. 1980 *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Santos, L. F., Galvão, A. F. & Cardoso, M. A. 2019 Performance indicators for urban storm water systems: a review. *Water Policy* **21** (1), 221–244. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2018.042>.
- Silva, C., Saldanha Matos, J. & Rosa, M. J. 2016 A comprehensive approach for diagnosing opportunities for improving the performance of a WWTP. *Water Science and Technology* **74** (12), 2935–2945. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2016.432>.
- Van Laarhoven, P. J. M. & Pedrycz, W. 1985 A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems* **11**, 229–241.
- Vladeanu, G. & Matthews, J. 2019 Wastewater pipe condition rating model using multicriteria decision analysis. *Journal of Water Resources Planning Management* **145** (12). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0001134](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001134)

Communications internationales



ICWC'19



Certificate of Attendance

This is to certify that

BENZERRA Abbas

Has participated in the First International Conference on Water & Climate ICWC'19, hold at Annaba University, Algeria on 13 & 14 November 2019
For Poster presentation entitled:

Decision support tool for sustainable monitoring of the urban drainage system in relation to its target environments.

Authors: BENZERRA Abbas 1, HAMCHAOU Samir 1, IGROUFA Meriem 1, BERREKSI Ali 1

Chair of session

Chair of Organizing committee

Chair of scientific committee

