

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingéniorat

Département d'Hydraulique

Année : 2017/2018

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie

Option Hydraulique

Par

BOUKHARI Sofiane

Encadreur	DJEBBAR Yassine	PROF	Université Mohamed Chérif Messaadia Souk-Ahras
Co-encadreur	AMARCHI Hocine	PROF	Université Badji Mokhtar Annaba
Président	DJEMILI Lakhdar	PROF	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur	HAMMAR Yahia	PROF	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur	ABIDA Habib	PROF	Université de Sfax, Tunisie
Examineur	ZEGHADNIA Lotfi	MCA	Université Mohamed Chérif Messaadia Souk-Ahras

A

Mes parents

Ma femme et mes trois enfants

Seif el Islem, Sali et Sajed

Mes frères et sœurs

Toute ma famille

Mes amis

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.

En tout premier lieu, je tiens à remercier très chaleureusement le Professeur DJEBBAR Yassine, mon directeur de thèse, de m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette thèse dans un cadre de recherche de haut niveau et d'avoir encadré cette recherche. Merci pour votre confiance, votre disponibilité durant ces années et votre rigueur scientifique, votre patience et vos précieux conseils ont permis à ce travail d'aboutir. Je vous témoigne ici toute ma reconnaissance.

Mes remerciements s'adressent aussi au Professeur AMARCHI Hocine pour avoir co-encadré ces travaux. Merci pour votre réactivité et vos réflexions qui ont été très bénéfiques au cadrage de cette recherche.

Je remercie les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à la critique de ma thèse. Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance au Pr. DJEMILI Lakhdar, Professeur à l'université d'Annaba, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté de présider le jury. Je tiens à adresser mes vifs remerciements aux membres du jury : Pr. HAMMAR Yahia, Professeur à l'université d'Annaba, Pr. ABIDA Habib, Professeur de l'université de Sfax (Tunisie) et Dr. ZEGHADNIA Lotfi, Maître de Conférences à l'université de Souk-Ahras, qui m'ont fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je souhaite remercier la Direction du Laboratoire Population - Environnement - Développement (LPED) de l'Université d'Aix-Marseille (France), de m'avoir accueilli durant mon stage dans le cadre du programme de formation résidentielle à l'étranger « Programme National Exceptionnel (PNE) » (2015/2016) au sein de leur équipe. Je tiens à remercier particulièrement : Monsieur Hubert MAZUREK, Directeur du laboratoire LPED pour l'acceptation de ma demande de stage et pour sa disponibilité. Un grand remerciement à Monsieur Claude de MIRAS, Directeur de recherche émérite, économiste de l'IRD et responsable de mon stage, de m'avoir fait confiance et de m'avoir permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions possibles. Monsieur de MIRAS m'a beaucoup aidé avec ses conseils et ses orientations pour l'amélioration de mon article et aussi pour la rédaction de ma thèse.

Mes derniers remerciements et non les moindres, s'adressent à tous mes collègues de l'université de Souk-Ahras spécialement le département de Génie civil, filière d'Hydraulique.

Résumé

Les services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) ont été confrontés à des défis qui remettent en question leur performance et leur durabilité : i) des problèmes environnementaux qui nécessitent une utilisation plus efficace des ressources en eau et de l'énergie; ii) des problèmes économiques et insuffisance financière de ces services qui nécessite l'application du concept du recouvrement des coûts, précisément lorsque les services d'eau font face à des appels à d'énormes investissements pour renouveler leurs infrastructures et iii) des problèmes sociaux dues à l'augmentation de la facture de l'eau suite à l'application du principe de recouvrement intégral des coûts. D'après la littérature scientifique, plusieurs solutions techniques, économiques et sociales ont été fournies par les fournisseurs des services d'eau à travers plusieurs pays du monde. Ces solutions sont accompagnées par des réformes institutionnelles (organisation et réglementation). Mais l'organisation institutionnelle et fonctionnelle des SEPA est également affectée par ces changements, ce qui souligne les questions importantes de la gouvernance. D'un autre côté, les SEPA ont toujours été critiqués pour leur caractère non durable. La durabilité des SEPA a posé un dilemme aux décideurs et aux scientifiques au cours des dernières années. Le concept de la durabilité a reçu beaucoup d'attention des décideurs et des gestionnaires des SEPA au cours des dernières années. Divers méthodes et outils d'analyse ont été utilisés pour évaluer la durabilité de la gestion des SEPA.

L'objectif de cette thèse est de développer un outil méthodologique de prise de décision multicritères pour la gestion durable des SEPA en Algérie. Cette recherche soutient le service public de l'eau potable (Algérienne Des Eaux: ADE) et le service d'assainissement (Office National d'assainissement : ONA) dans ses défis pour améliorer la performance et la qualité de l'offre de service. Cette recherche fournit un état de l'art sur le concept du développement durable et la notion de la durabilité, ensuite, un examen des contributions de recherche sur les différentes méthodes multicritères de prise de décision (MCDM) appliquées dans le domaine de l'eau basée sur une analyse bibliographique de 102 articles scientifiques. Par la suite, un diagnostic de l'état actuel des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie a été effectué pour recenser les principaux problèmes auxquels les décideurs et les gestionnaires

des SEPA en Algérie sont confrontés. Ensuite, deux enquêtes chez les abonnés ont été réalisées pour permettre de recueillir des éléments d'information en complément de ceux obtenus directement auprès des services commercial et d'exploitation des unités locales de l'ADE et l'ONA. Finalement et pour évaluer la durabilité des SEPA, un modèle d'analyse multicritères combinant les méthodes AHP (*Analytic Hierarchy Process*) et TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) a été proposé. Ce modèle est basé sur la méthode AHP pour déterminer les poids pour les ensembles des éléments sélectionnés. La méthode TOPSIS a été utilisée pour obtenir le classement final de l'alternative la plus proche de la solution idéale. Les résultats montrent que l'option d'amélioration de la situation financière et la performance technique des SEPA sont les meilleures solutions pour guider les SEPA en Algérie vers la durabilité.

Mots-clés : services d'eau potable et d'assainissement ; gestion ; durabilité ; outil d'aide à la décision ; AHP ; TOPSIS ; Algérie.

ملخص

واجهت خدمات المياه والصرف الصحي (خ.م.ص.ص) تحديات كثيرة تحد من أدائها واستدامتها : (1) المشاكل البيئية التي تتطلب استخداما أكثر كفاءة لموارد المياه والطاقة؛ (2) المشاكل الاقتصادية وعدم كفاية الخدمات المالية التي تتطلب تطبيق مفهوم استرداد التكاليف، وتحديدًا عندما تواجه خدمات المياه دعوات لاستثمارات ضخمة لتجديد بنيتها التحتية و(3) مشاكل اجتماعية وذلك بسبب الزيادة في فاتورة المياه نتيجة لاسترداد التكاليف بالكامل. ووفقا للمراجع العلمية، قدم عدد من الحلول التقنية؛ الاقتصادية والاجتماعية من قبل مقدمي خدمات المياه. وترافق هذه الحلول إصلاحات مؤسسية. غير أن التنظيم المؤسسي والوظيفي يتأثر أيضا بهذه التغييرات، مما يسلب الضوء على قضايا الحوكمة الهامة. من ناحية أخرى، كانت دائما تحت (خ.م.ص.ص) لأنها غير مستدامة. وقد شكلت استدامة تسيير خدمات المياه معضلة بالنسبة لواضعي القرارات في السنوات الأخيرة. وقد حظي مفهوم الاستدامة باهتمام كبير من صانعي السياسات والمديرين في السنوات الأخيرة. وقد استخدمت أساليب وأدوات تحليلية مختلفة لتقييم استدامة إدارة (خ.م.ص.ص) .

والهدف من هذه الأطروحة هو تطوير أداة منهجية لصنع القرار متعدد المعايير للإدارة المستدامة (خ.م.ص.ص) في الجزائر. ويدعم هذا البحث خدمة مياه الشرب (الجزائرية للمياه) وخدمات الصرف الصحي (الديوان الوطني للصرف الصحي) في التحديات التي تواجهها لتحسين أداء وجودة عرض الخدمة. ويقدم هذا البحث نموذجا لمفهوم التنمية المستدامة ومفهوم الاستدامة، ثم تطبيق إعادة النظر في أساليب مختلفة المساهمات البحثية متعدد المعايير صنع القرار (MCDM) في مجال المياه استنادا إلى تحليل بيليوغرافي لمائتين وإثنين 102 مقالة علمية. وفي وقت لاحق، تم تشخيص الحالة الراهنة لمياه الشرب وخدمات الصرف الصحي في الجزائر لتحديد المشاكل الرئيسية التي يواجهها صانعو السياسات والمديرين في (خ.م.ص.ص) في الجزائر. وبعد ذلك، تم إجراء مسح لجمع عناصر المعلومات بالإضافة إلى تلك التي تم الحصول عليها مباشرة من الإدارات التجارية والتشغيلية للوحدات المحلية الجزائرية للمياه و الديوان الوطني للصرف الصحي. وأخيرا، ولتقييم استدامة المصلحة، وهو نموذج تحليلي يجمع بين الأساليب المتقدمة: عملية التحليل الهرمي (AHP) وتقنية لتفضيل الترتيب حسب التشابه إلى الحل المثالي (TOPSIS). ويستند هذا النموذج على طريقة AHP لتحديد الأوزان لمجموعات العناصر المحددة. تم استخدام طريقة TOPSIS للحصول على الترتيب النهائي للبدائل الأقرب إلى الحل المثالي. وتظهر النتائج أن خيار تحسين الوضع المالي والأداء التقني هي أفضل الحلول لتوجيه (خ.م.ص.ص) في الجزائر نحو الاستدامة.

الكلمات الرئيسية: مياه الشرب وخدمات الصرف الصحي؛ الإدارة؛ الاستدامة؛ أداة دعم القرار؛ AHP , TOPSIS الجزائر.

Abstract

Water Supply and Sanitation services (WSSs) have faced with challenges their performance and sustainability: (i) environmental problems that require more efficient use of water and energy resources; ii) economic problems and financial inadequacy of these services that require the application of the concept of cost recovery, precisely when water services face calls for huge investments to renew their infrastructure and iii) social problems due to the increase in the water bill as a result of full cost recovery. According to the literature, a number of technical, economic and social solutions have been provided by water service providers around the world. These solutions are accompanied by institutional reforms (organization and regulation). But the institutional and functional organization of WSSs is also affected by these changes, which highlights the important issues of governance. On the other hand, WSSs has always been criticized for being unsustainable. The sustainability of WSSs has posed a dilemma for policymakers and scientists in recent years. The concept of sustainability has received much attention from decision-makers and managers of WSSs in recent years. Various methods and analytical tools have been used to assess the sustainability of WSSs management.

The aim of this thesis is to develop a methodological tool for multi-criteria decision making for the sustainable management of WSSs in Algeria. This research supports the public drinking water service (Algerian Waters: ADE) and the sanitation service (National Sanitation Office: ONA) in its challenges to improve the performance and quality of the service. This research provides a state of the art of the concept of sustainable development and the notion of sustainability, then a review of research contributions on the various multi-criteria decision-making methods (MCDM) applied in the field of water based on a bibliographic analysis of 102 scientific articles. Subsequently, a diagnosis of the current state of drinking water and sanitation services in Algeria was carried out to identify the main problems facing by decision-makers and managers of WSSs in Algeria. Subsequently, two surveys were carried out to collect information elements in addition to those obtained directly from the

commercial and operating departments of the local units of ADE and the ONA. Finally, and to evaluate the sustainability of WSSs, a multi-criteria analysis model combining AHP (*Analytic Hierarchy Process*) and TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) has been proposed. This model is based on the AHP method for determining the weights for the sets of selected elements. The TOPSIS method was used to obtain the final ranking of the alternative closest to the ideal solution. The results show that the option of improving the financial situation and the technical performance of WSSs are the best solutions to guide WSSs in Algeria towards sustainability.

Key-words: water supply and sanitation services; management; sustainability; tool to aid decision; AHP; TOPSIS; Algeria.

Sommaire

Résumé (langue Arabe)	i
Résumé	ii
Abstract	iv
Sommaire	vi
Liste des Figues	ix
Liste des Photos	x
Liste des Tableaux	xi
Tables des Abréviations	xiii
Introduction Générale	1
Partie I : Synthèse Bibliographique	11
Chapitre 1 : Etat de l'art	11
1.1. Introduction	11
1.2. Le concept du développement durable	11
1.3. La notion de la durabilité	14
1.4. La durabilité des services de l'eau potable et de l'assainissement	17
1.4.1. Les services d'eau à l'épreuve du développement durable	17
1.4.2. Dimensions de la gestion des SEPA	20
1.4.3. Revue de littérature sur la durabilité des SEPA	23
Chapitre 2 : Méthodes d'évaluation	30
2.1. Méthodes d'évaluation de la durabilité	30
2.1.1. Les méthodes directes	32
2.1.2. Les méthodes indirectes	32

2.2. Examen des méthodes MCDM appliquées dans le domaine de l'eau	36
2.2.1. Introduction	36
2.2.2. Un bref aperçu des principales approches MCDM	37
2.2.3. Méthodes d'enquête documentaire	53
2.3. Résultats et discussions	53
2.3.1. Croissance des articles appliquant les MCDM dans l'eau	53
2.3.2. Les méthodes MCDM appliquées dans la gestion de l'eau	54
2.3.3. Domaines d'application des méthodes MCDM	55
2.3.4. Analyse géographique des documents MCDM	55
2.3.5. Distribution par revues	56
2.4. Application des MCDM pour l'évaluation de la gestion SEPA	57
2.5. Conclusion	59
Chapitre 3 : Services d'eau potable et d'assainissement	61
3.1. La politique de l'eau en Algérie	61
3.1.1. La législation algérienne sur l'eau	62
3.1.2. La gouvernance de l'eau en Algérie	63
3.2. Les ressources en eau en Algérie	63
3.2.1. Les ressources en eau disponibles en Algérie	64
3.2.2. La mobilisation des ressources en eau	65
3.3. Problématiques	65
3.4. La gestion des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie	71
3.4.1. Introduction	71
3.4.2. Historique de la gestion des services de l'eau en Algérie	73
3.4.3. Aspects freinant le développement des SEPA en Algérie	74
3.4.4. Les différents modes de gestion des services de l'eau en Algérie	76
3.4.5. L'Algérienne Des Eaux	77
3.4.6. L'Office National d'Assainissement	81
3.5. Le financement des services de l'eau en Algérie	83
3.5.1. Introduction	83
3.5.2. Le prix des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie	84
3.5.3. Coût de l'eau	85
3.5.4. La tarification des services de l'eau en Algérie	86
3.6. Conclusion	89

Partie II : Contributions scientifiques	90
Chapitre 4 : Méthode directe pour l'évaluation de la durabilité	90
4.1. Introduction.....	90
4.2. Méthodologie	91
4.3. Zone d'étude.....	93
4.3.1. Présentation de l'unité ADE de Souk-Ahras.....	93
4.3.2. Analyse financière des deux unités ADE et ONA de Souk-Ahras....	94
4.3.3. Analyse technique des deux unités ADE et ONA de Souk-Ahras	99
4.4. Résultats et discussions	101
4.5. Conclusion	120
Chapitre 5 : Application de la méthode AHP	121
5.1. Introduction.....	121
5.2. Revue de littérature.....	122
5.3. Méthodologie	124
5.4. Résultats et discussions	127
5.4.1. La sélections des dimensions, critères et indicateurs.....	127
5.4.2. Les comparaisons par paires.....	129
5.5. Conclusion	136
Chapitre 6 : Combinaison des méthodes AHP-TOPSIS	138
6.1. Introduction.....	138
6.2. Méthodologie	140
6.2.1. MCDM.....	140
6.2.2. AHP.....	141
6.2.3. TOPSIS	143
6.2.4. Combiner AHP et TOPSIS.....	145
6.3. Résultats et discussions	146
6.3.1. Identifications des critères et des alternatives	146
6.3.2. Les étapes de calcul	149
6.4. Conclusion	155
Conclusion Générale	156
Références bibliographiques	160
Annexes	172
Production scientifique dans le cadre de la thèse	181

Liste des Figures

Figure 1: Schéma de la thèse	9
Figure 1.1: Historique du développement durable.....	12
Figure 1.2: Les trois piliers du développement durable	15
Figure 2.1: Les méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes d'eau	33
Figure 2.2: Méthodologie TOPSIS	39
Figure 2.3: Méthodologie AHP	40
Figure 2.4: La procédure MACBETH	43
Figure 2.5: Méthodologie PROMETHEE.....	48
Figure 2.6: Types de critères et fonctions de préférence pour PROMETHEE.....	49
Figure 2.7: Croissance des articles appliquant MCDM dans la gestion de l'eau	54
Figure 2.8: Distribution des articles MCDM par méthodes	54
Figure 2.9: Répartition des méthodes MCDM par domaine d'application.....	55
Figure 2.10: Répartition des articles sur la MCDM par Pays.....	56
Figure 2.11: Liste des revues	57
Figure 3.1: Evolution de la part de l'eau par habitant en Algérie, 1962 - 2020.....	64
Figure 3.2: Localisation des barrages en Algérie (2014)	65
Figure 3.3: Le schéma des services d'eau potable	72
Figure 3.4: Le schéma des services d'assainissement.....	72
Figure 3.5: La créance Eau par catégorie (2012).....	81
Figure 3.6: Evolution de l'inflation et du prix de l'eau en Algérie (1985 -2014)	84
Figure 3.7: Evolution du prix nominal de produits de base	85
Figure 3.8: Tarif de l'eau potable	87
Figure 3.9: Tarif de l'assainissement	87
Figure 3.10: Type de facturation de l'eau en Algérie	88
Figure 4.1: Nombre de réponses à l'enquête par wilaya	92
Figure 4.2: Situation de la Wilaya de Souk-Ahras	93

Figure 4.3: Carte des Communes gérées par l'ADE.....	94
Figure 4.4: Organisation de l'unité ADE de Souk-Ahras	94
Figure 4.5: Pourcentage des charges « Eau potable », année 2014	95
Figure 4.6: Pourcentage des charges «Assainissement», année 2014.....	95
Figure 4.7: Les différentes dépenses nominales du service d'eau potable.....	96
Figure 4.8: Les différentes dépenses du service de l'assainissement	96
Figure 4.9: Rapport entre la masse salariale / VP et Vd pour la période	97
Figure 4.10: La différence entre recettes et dépenses de fonctionnement	97
Figure 4.11: Evolution indiciaire des volumes et de la subvention réelle.....	98
Figure 4.12: Présentation du nombre des abonnés enquêtés	103
Figure 4.13: Présentation des Taux de l'enquête par commune de Souk-Ahras	103
Figure 4.14: Plan de la distribution des enquêtes par secteur.....	104
Figure 4.15: Type d'habitat	105
Figure 4.16: Nombre de famille par Maison	105
Figure 4.17: Nombre de personne par Maison	105
Figure 4.18: Le salaire mensuel.....	106
Figure 4.19: La consommation de l'eau par trimestre	106
Figure 4.20: Qualité de l'offre de services d'eau potable par commune	108
Figure 4.21: Pourcentage des abonnés qui boivent directement l'eau	109
Figure 4.22: Consommation de l'eau distribuée par commune.....	112
Figure 4.23: Qualité de l'eau distribuée	115
Figure 4.24: Qualité de l'offre de services d'assainissement par commune	117
Figure 4.25: Connaissance du prix de l'eau	118
Figure 4.26: Prix de l'eau	118
Figure 4.27: Volonté à payer pour l'amélioration	119
Figure 4.28: Volonté de payer plus pour l'eau	119
Figure 5.1: L'organigramme du processus de la méthode proposée	125
Figure 5.2: Les résultats obtenus du modèle proposé pour l'Algérie	134
Figure 5.3: Les poids globaux des 50 indicateurs obtenus par l'AHP	135
Figure 6.1: Étapes de la méthode proposée	146
Figure 6.2: Structure hiérarchique pour la sélection des fournisseurs	147
Figure 6.3: Poids résultants des critères obtenus avec AHP	149
Figure 6.4: La solution idéale positive « A ⁺ » et solution idéale négative « A ⁻ ».....	152
Figure 6.5: La proximité de chaque alternative	154

Liste des Photos

Photo 3.1: Gaspillage de l'eau potable	68
Photo 3.2: Branchements illégaux (Consommation illicite).....	68
Photo 3.3: Fuites sur réseau d'eau potable	69
Photo 3.4: Alimentation avec d'autres sources d'eau	70
Photo 3.5: Réservoirs de stockage pour l'eau potable.....	70
Photo 4.1: Fuite sur la conduite d'adduction de la nappe de Taoura	100
Photo 4.2: Fuite sur la conduite d'adduction DEKMA-SNIC	100
Photo 4.3: Fuites d'eau sur réseau de distribution (lotissement Diar Zerga)	100
Photo 4.4: Fuite d'eau sur un branchement (Rue des écoles).....	100
Photo 4.5: Fuite d'eau dans un compteur	100
Photo 4.6: Exemple des risques de MTH (Rue Mouloude Feraoun)	101
Photo 4.7: Exemples d'équipements de stockage	109

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Exemple d'entrées disciplinaires sur les DD des services d'eau.....	18
Tableau 1.2 : Divers dimensions de la durabilité considérées dans la littérature.....	22
Tableau 1.3 : Critères de la durabilité des services d'eau	25
Tableau 2.1 : Caractéristiques des approches utilisées dans la durabilité.....	35
Tableau 2.2 : Les différentes méthodes MCDM	38
Tableau 2.3 : Exemple de Catégorie de jugement	43
Tableau 2.4 : Exemple d'une Matrice des jugements par rapport au critère.....	43
Tableau 2.5 : Les versions de la méthode ELECTRE	44
Tableau 2.6 : Les versions de la méthode PROMETHEE	47
Tableau 2.7 : Points forts et points faibles des MCDM.....	51
Tableau 2.8 : Répartition des méthodes MCDM par pays	57
Tableau 2.9 : Répartition des méthodes MCDM par continent.....	57
Tableau 2.10 : Liste des revues	58
Tableau 3.1 : Répartition des communes selon le mode de gestion	77
Tableau 3.2 : Quelques indicateurs technique et commercial de l'ADE	78
Tableau 3.3 : Portefeuille clients	78
Tableau 3.4 : Histogramme du volume facture	79
Tableau 3.5 : Facturation eau TTC « Milliards de DA »	79
Tableau 3.6 : Recouvrement des factures d'eau	80
Tableau 3.7 : Créances	80
Tableau 3.8 : Planification des STEP pour le moyen et le long terme	82
Tableau 3.9 : Planning d'investissement (2006 – 2025).....	83
Tableau 3.10 : Wilayas couvertes par Zone tarifaire	86
Tableau 3.11 : Tarif de l'eau potable et de l'assainissement en Algérie	87
Tableau 3.12 : Redevance Fixe d'Abonnement	88
Tableau 4.1 : Infrastructures hydraulique des communes gérées par ADE S/A	99

Tableau 4.2 : Nombre et pourcentage des abonnés enquêtés pour Souk-Ahras.....	102
Tableau 5.1 : Échelle numérique de Saaty	126
Tableau 5.2 : Index aléatoire (RI).....	127
Tableau 5.3 : Dimensions, critères et indicateurs considérés pour l'Algérie	128
Tableau 5.4 : La matrice de comparaison par paires de six dimensions	129
Tableau 5.5 : La matrice de comparaison par paire des douze critères	131
Tableau 5.6 : La comparaison par paire des indicateurs	131
Tableau 6.1 : La matrice de comparaison par paire pour les critères	148
Tableau 6.2 : Résultats obtenus par AHP.....	148
Tableau 6.3 : La matrice des scores attribués à chaque critère	150
Tableau 6.4 : La matrice de décision normalisée	150
Tableau 6.5 : La matrice de décision normalisée pondérée	151
Tableau 6.6 : La solution idéale positive « A^+ ».....	151
Tableau 6.7 : La solution idéale négative « A^- »	152
Tableau 6.8 : Classements pondérés des alternatives	154

Abréviations

- ADE** : Algérienne Des Eaux
- AHP**: Analytic Hierarchy Process
- ASCE**: American Society of Civil Engineers
- CBA**: Cost-benefit analysis
- CMED**: Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement
- CR** : Ratio de Cohérence
- DD** : Développement Durable
- DRE** : Direction des Ressources en Eau
- EIS** : Etude d'Impact Social
- ELECTRE** : Election et Choix Traduisant la Réalité
- GRI**: Global Reporting Initiative
- IA**: Integrated assessment
- IP**: Indicateurs de Performance
- LCA**: Life-cycle assessment
- MACBETH**: Measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique
- MAUT**: Multi-Attribute Utility Theory
- MAVT**: Multi-Attribute Value Theory
- MCA**: Analyse Multicritères
- MCDM**: Multiple Criteria Decision Making
- MRE**: Ministère des Ressources en Eau
- OCDE - CAD**: Organisation de coopération et de développement économiques – Comité d'aide au développement
- ONA** : Office National d'Assainissement
- ONU**: Organisation des Nations-Unies
- PNAE-DD, 2002**
- PNE** : Plan National de l'Eau
- PNUE** : Programme des Nations-Unies pour l'Environnement
- PROMETHEE**: Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations
- SEPA** : Services d'Eau Potable et d'Assainissement
- SMART** : Simple Multi Attribute Rating Technique
- SWARD**: Sustainable Water-Asset Resource Decisions
- TBL**: Triple Bottom Line
- TOPSIS**: Technique for order preferences by similarity to ideal solutions
- UICN** : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Partie I.

Synthèse Bibliographique

Introduction Générale

Introduction Générale

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

Les SEPA sont chargés de l'ensemble des activités de gestion de l'offre de services, s'inscrivant dans le petit cycle de l'eau potable : production, traitement, stockage, adduction, distribution de l'eau potable, mais aussi collecte et épuration des eaux usées, ainsi que la maintenance et le renouvellement des réseaux d'eau potable et d'eau usée, ainsi que l'exploitation des stations de traitement et d'épuration, etc... Les SEPA doivent répondre à des exigences de gestion, en fournissant l'eau potable à un prix abordable (Smets, 2008) et de bonne qualité afin de répondre aux besoins actuels et futurs des clients. De plus, la nécessité de mobiliser un financement durable destiné à maintenir et à renouveler des réseaux doit être assumée.

Les services d'eau potable sont censés fournir de l'eau potable propre, sûre et adéquate à plusieurs utilisateurs, et les services d'assainissement ont pour but d'évacuer les eaux usées et les eaux pluviales des zones urbaines en toute sécurité afin de réduire les risques d'apparition de maladies à transmission hydrique (MTH) et d'inondations. Dans la plupart des pays du monde, la pénurie d'eau et l'augmentation de la pollution des ressources en eau due à la croissance démographique et à l'urbanisation ont imposé un fardeau excessif aux SEPA. D'un autre côté, les SEPA ont toujours été critiqués pour leur caractère non durable (Marques et al., 2015). La durabilité des SEPA a posé un dilemme aux décideurs et aux scientifiques au cours des deux dernières décennies (Marques et al., 2015).

La durabilité est toujours liée au contexte du développement durable (DD). A cet effet, le concept de durabilité a reçu beaucoup d'attention des experts (décideurs et scientifiques) qui sont impliqués dans le domaine de la gestion des SEPA. Cette tendance a été stimulée par l'introduction du développement durable (DD) dans le rapport de Brundtland, décrit comme «... pour répondre aux besoins humains fondamentaux sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins fondamentaux » (WCED, 1987). Le DD exige un changement de paradigme dans les approches de planification, qui visent simplement à maximiser les avantages économiques des SEPA à court terme, quel que soit l'impact environnemental et social à long terme. On s'attend à ce que les SEPA répondent aux exigences suivantes afin de promouvoir les principes de durabilité (Hellström et al., 2000).

- Fournir une eau suffisante, saine et sûre pour satisfaire les utilisations en tout temps.
- Collecter et traiter les eaux usées pour protéger les résidents des maladies et de l'environnement contre les impacts négatifs.
- Collecter et contrôler le ruissellement urbain et améliorer la qualité de l'eau de pluie pour protéger les zones urbaines contre les inondations.
- Minimiser l'utilisation abusive des ressources naturelles telles que l'eau douce et l'énergie.
- Fournir un accès suffisant aux ressources financières pour les gestionnaires des SEPA pour exploiter de façon continue les systèmes et rendre les coûts d'eau et d'assainissement abordables pour les utilisateurs.
- Employez des technologies fiables et efficaces adaptables aux conditions locales.

Par conséquent, les défis du DD devraient encourager les décideurs et les gestionnaires des SEPA à réviser fondamentalement leur gestion en matière de la fourniture de l'eau potable et la collecte des eaux usées, en cherchant une nouvelle approche plus intégrée, qui rassemble les trois piliers de DD « environnemental, économique et sociétal ». Mais d'autres chercheurs ont jugés que cette approche est insuffisante et il faut ajouter d'autres dimensions pour l'évaluation de la durabilité des SEPA : technique (Marques et al. 2015), gouvernance et institutionnelle (Barraqué, 2013).

Dans ce contexte, l'évaluation de la durabilité des SEPA s'impose comme un outil d'aide à la décision destiné à éclairer au mieux les décideurs sur les conséquences potentielles de ces stratégies. Elle permet aux décideurs d'identifier, de mesurer, d'évaluer et de comparer les impacts potentiels d'un ensemble de stratégies de gestion disponibles afin d'effectuer le choix

décisionnel le plus pertinent au regard des attentes des différentes parties prenantes de la gestion des SEPA. L'enjeu de l'évaluation de la durabilité des décisions de gestion des SEPA consiste à répondre aux interrogations suivantes : les décisions répondent-elles aux objectifs de gestion fixés? Sont-elles économiquement viables, socialement équitables, écologiquement acceptables et en harmonie avec les exigences technique et politique? Sont-elles durables dans le temps? Une question fondamentale se pose alors : comment évaluer et mesurer la durabilité de la gestion des SEPA?

Dans le contexte de l'évaluation de la gestion durable des SEPA, certaines recherches ont appliqué des approches simples en utilisant seulement des indicateurs de performances (Alegre et al., 2000; Kanakoudis et al. 2011) et d'autres chercheurs ont appliqué des approches plus complexes, comme l'utilisation des méthodes d'analyse multicritères (da cruz, 2013 ; Marques et al., 2015). Dans la perspective d'une gestion durable des SEPA, l'élaboration de méthodes et d'outils d'aide à la décision multicritère pour l'évaluation de la durabilité des décisions de gestion représente une thématique de recherche intéressante et d'actualité.

D'après le bref examen qui précède, il est clair que les SEPA sont très vulnérables aux pressions incertaines sur les changements futurs. De plus, les SEPA sont multidisciplinaires et ont des interactions multiples entre les cycles naturels de l'eau, les sous-systèmes et les activités humaines. Le processus décisionnel doit donc tenir compte des objectifs sociaux, économiques et environnementaux contradictoires. Ainsi, les analyses de performance globale d'un système et la gestion des SEPA sont des problèmes d'analyse de décision multicritères (MCDM). Elle doit être évaluée en fonction de multiples objectifs contradictoires. Le cadre MCDM devrait être en mesure d'analyser les multiples types de données quantitatives et qualitatives. Il existe plusieurs types de méthodes de MCDM qui ont été appliquées dans divers domaines de la gestion de l'eau (Hajkowicz et Higgins, 2008).

L'Algérie se situe, à l'instar des pays touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an (Mouhouche, 2012 ; Hamchaoui, 2017). L'augmentation de la demande en eau et la nécessité d'intégrer la gestion de l'eau dans une perspective de DD, ont conduit les pouvoirs publics à réfléchir à une nouvelle politique de l'eau dont la mise en œuvre a nécessité une refonte du cadre institutionnel ainsi qu'une réorganisation du secteur (Talbi et Souak, 2016). Celle-ci va-t-elle permettre le développement du secteur dans une perspective de durabilité ?

Cette situation a soulevé un large débat à travers l'organisation de rencontres nationales et internationales. Ces rencontres ont mis l'accent sur les origines de la défaillance du secteur de l'eau, telles : l'urbanisation rapide des villes (Bessedik, 2007), le changement climatique (Nichane et Khelil, 2014), la surexploitation des eaux souterraines (Boudjadja et al., 2003), le vieillissement des infrastructures (Mozas et Ghosn, 2013), les pertes en eau (Blinda et Thivetal, 2009 ; Benblidia et Thivet, 2010) l'envasement des barrages (Remini, 2017), la tarification de l'eau (Benblidia, 2011 ; Ahmed Zaid-Chertouk, 2012 ; Kertous, 2012 ; Boukhari et Djebbar 2013), ...etc.

En Algérie, et depuis 2001, le service d'eau potable est géré par l'Algérienne Des Eaux (ADE) et le service d'assainissement est géré par l'Office National d'Assainissement (ONA). Les gestionnaires de ces deux services sont confrontés à plusieurs défis pour tenir compte des orientations de la politique du gouvernement en matière de gestion durable (Drouiche et al. 2012). C'est vrai, les actions menées pour l'amélioration de la performance de ces deux services ont été multiples et importantes, mais elles n'ont pas abouti aux résultats escomptés (Cherrared et al., 2007 ; Benblidia, 2011 ; Boukhari et Djebbar, 2013). Et la question qui se pose, comment aller vers la durabilité de SEPA en Algérie ?

D'après les résultats des enquêtes réalisées sur le thème de la gestion des SEPA en Algérie, l'ADE et l'ONA offrent des services qui ne sont pas à la hauteur des attentes de leurs abonnés (Abdelbaki et al, 2012 ; Kertous, 2012 ; Boukhari et Djebbar 2013). Même là où la ressource est disponible, sa distribution demeure souvent compromise. Une situation qui est due à des facteurs subjectifs liés aux dysfonctionnements des réseaux conjugués au prix pratiquement symbolique et dérisoire du mètre cube d'eau. Ce prix est loin de refléter la réalité du coût de revient (Ahmed Zaid-Chertouk, 2012). En effet, ce prix est subventionné par l'état à hauteur de 77 % (Kertous, 2013). Cette subvention fait un effet inverse sur la gestion des SEPA, car elle encourage le gaspillage et occasionne des déficits au niveau des entreprises chargées de sa gestion (Salem, 2007). Elle renvoie un faux signal aux abonnés qui pensent que l'eau est gratuite et pour le cas des infrastructures, elle a généré un entretien délaissé. L'application d'une logique qui privilégie l'investissement sur l'exploitation a occasionné des pertes d'eau importante qui constituent un problème majeur car elles représentent un gaspillage hydrique et financier.

En effet, les SEPA sont confrontés à des nombreux défis se rapportant à l'amélioration de leurs performances à long terme en prenant en compte les dimensions économiques, sociales et environnementales. Relever ces défis nécessite aussi de considérer des objectifs techniques, institutionnels et financiers. Assurer la viabilité économique ne signifie pas qu'en matière de

services publics, en toutes circonstances et sur une période donnée, les recettes doivent couvrir toutes les charges d'exploitation et d'investissement.

La maîtrise d'ouvrage et la régulation de ces services supposent un équilibre complexe qui incombe aux autorités publiques compte tenu des enjeux parfois contradictoires entre la viabilité économique, la durabilité sociale et environnementale et le monopole naturel qui caractérise ces secteurs en réseaux lourdement capitalistiques. De plus, la gestion des SEPA affronte les défis du (DD) pour des raisons liées à l'épuisement des ressources en eau ou à la pollution du milieu naturel causée par les eaux usées, et plus encore à sa contribution au changement climatique du fait de l'utilisation massive d'énergie.

Mesurer la durabilité de l'offre de SEPA est devenu une obligation majeure pour l'amélioration et la continuité de ces services. Evaluer la performance au travers du concept du DD est une préoccupation encore récente qui nécessite une réflexion de fond tant sur le choix des objectifs à évaluer ou sur les méthodes à utiliser pour l'évaluation de la durabilité de l'offre de SEPA. En effet, les décideurs et les gestionnaires de SEPA doivent chercher une nouvelle dimension pour maintenir durablement la gestion de cet essentiel service. Afin de pouvoir proposer des voies d'amélioration, il est nécessaire d'identifier les atouts et les faiblesses de l'offre de services des SEPA en Algérie à travers une analyse pluridisciplinaire afin de connaître l'état de la situation du point de vue de la durabilité et d'en tirer des enseignements sur les actions à mener. Les questions auxquelles nous tenterons de répondre dans notre thèse sont les suivantes :

- Quels sont les points forts et les points faibles de l'offre de SEPA en Algérie ?
- Quelles sont les différentes méthodes d'évaluation de la durabilité adaptées au contexte de la gestion de SEPA ?
- Quelles mesures pourraient être mises en œuvre pour faire évoluer l'offre de SEPA en Algérie vers la durabilité ?

L'objectif de cette recherche est de développer un outil méthodologique pour évaluer la durabilité de la gestion des SEPA en Algérie. Notre étude soutient les décideurs et les gestionnaires des SEPA en Algérie à améliorer la performance et la qualité de gestion de ces deux services. D'après la littérature scientifique, il existe plusieurs méthodes et outils développés pour évaluer et mesurer la durabilité. Pour le cas de la gestion de l'eau, et d'après l'étude de Hajkowicz & Collins (2007), les méthodes de la MCDM les plus utilisées dans la gestion de l'eau sont : TOPSIS, AHP, MACBETH, ELECTRE, et PROMETHEE.

De ce fait, la méthodologie de cette recherche consiste en premier lieu à identifier les

dimensions, les critères de jugements, ainsi que les indicateurs de durabilité associés. Ensuite, et pour évaluer la durabilité, une méthode intégrée (hybride) de MCDM en combinant AHP (*Analytic Hierarchy Process*) et TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) est appliquée. La méthode AHP est utilisée pour calculer les poids des éléments (dimensions, critères et indicateurs), par contre, TOPSIS a pour but d'obtenir le classement final de l'alternative la plus proche de la solution idéale.

L'objectif principal de notre recherche est de développer un outil méthodologique pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Les objectifs spécifiques de la recherche comprennent:

- 1) La structuration d'un cadre théorique de la littérature académique relative à l'évaluation de la durabilité des SEPA, la théorie de la décision et les méthodes d'analyse multicritères;
- 2) La présentation des méthodes, approches et outils qui ont été développés pour évaluer la viabilité de la gestion des ressources en eau: analyse coût-bénéfice (CBA), évaluation du cycle de vie (LCA), évaluation intégrée (AI), Triple Bottom Line (TBL) et analyse multicritères (MCA) ;
- 3) L'identification des dimensions, critères de jugements et indicateurs appliqués dans le cadre de l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement ;
- 4) La comparaison entre les méthodes d'analyse multicritères (MCA) :
- 5) L'application du processus hiérarchique analytique (AHP) pour le cas des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie ;
- 6) La combinaison entre les deux méthodes de MCA (AHP et TOPSIS).
- 7) La mise au point l'outil développé qui est basé sur la combinaison des deux approches AHP et TOPSIS;
- 8) L'application de l'outil sur une étude de cas;

L'outil méthodologique pour l'évaluation de la durabilité qui est développé dans cette recherche doit permettre aux décideurs et gestionnaires des SEPA en Algérie d'intégrer les exigences du DD et d'entreprendre les décisions nécessaires afin d'améliorer l'offre de service rendu aux citoyens. Pour cela, cet outil méthodologique d'aide à la décision sera indispensable aux gestionnaires de l'ADE et l'ONA pour leurs permettre d'analyser la situation actuelle de leurs services et d'évaluer la qualité des prestations fournies par leurs services aux abonnés, le maintien à un bon niveau le patrimoine du système d'alimentation en

eau potable et d'assainissement des eaux usées, avec un équilibre financier de ces deux entreprises.

Pour mener à bien cette recherche, notre travail est décomposé en deux parties. Dans la première partie, une synthèse bibliographique est présentée. Cette partie est divisée en trois chapitres :

- Dans le *premier chapitre*, un état de l'art a été effectué sur le concept du développement durable et la notion de la durabilité. Ensuite, une revue de littérature sur la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement est réalisée.
- Le *deuxième chapitre* étudie les méthodes d'évaluation (CBA, LCA, TBL, IA et MCA). Ensuite, un examen systématique de la littérature scientifique a été effectué sur 102 articles récents (entre 2000-2017) qui ont utilisé les différentes techniques de la méthode d'analyse multicritères pour évaluer la gestion du secteur de l'eau (gestion des ressources en eau, gestion des pertes en eau, irrigation, qualité de l'eau, gestion des services d'eau potable et d'assainissement, etc...).
- Le *chapitre 3* a pour but de diagnostiquer l'état actuel des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Ce chapitre recense les principaux problèmes auxquels les décideurs et les gestionnaires des services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) en Algérie sont confrontés. Dans le cadre de ce troisième chapitre les données technico-économiques de l'ADE et de l'ONA sont présentées et analysées.

Dans la deuxième partie, nous allons exposer la méthodologie développée et proposée pour évaluer les SEPA en l'Algérie. Cette partie est consacrée aux résultats et discussions, elle est composée de trois chapitres :

- Le *chapitre 4* expose une approche directe pour l'évaluation de la durabilité des SEPA en Algérie en réalisant une enquête chez les abonnés. L'approche directe permettra de recueillir des éléments d'information en complément de ceux obtenus directement auprès des services commerciaux et d'exploitations des unités locales de l'ADE et l'ONA. Cette enquête produit des jugements et des informations sur la gestion actuelle des SEPA en Algérie et les conditions dans lesquelles les consommateurs (abonnés) sont prêts à payer. En effet, Cette enquête vise six grands axes principaux : i) le premier est consacré aux caractéristiques socio-économiques des ménages (le revenu du chef de famille, la taille du ménage, le nombre de personnes dans l'habitation...etc.), ii) le deuxième est orienté aux caractéristiques de l'habitation (le type de l'habitation...etc.), iii) le troisième axe a pour but d'analyser

la qualité de l'offre de services d'eau potable et d'assainissement, iv) le quatrième est consacré à la qualité de l'eau distribuée. Le cinquième est consacré au prix de l'eau. Enfin, dans le sixième axe, les ménages sont interrogés pour savoir s'ils sont d'accords pour payer plus ou non pour différentes raisons.

Une première enquête a été effectuée au niveau national (48 Wilayas) en utilisant un questionnaire réalisé sur Google Driver et partagé sur les réseaux sociaux (différentes pages sur Facebook). Malheureusement, le taux de participation est faible (1031 repenses / niveau national). Nous avons remarqué que les réponses sont presque identiques pour toutes les Wilayas. Et pour combler cette contrainte (faible taux de réponses), une deuxième enquête est lancée au niveau des 16 communes gérées par l'ADE et l'ONA pour le cas de la Wilaya de Souk-Ahras (une enquête sur 5342 abonnés avec un taux de 10,86% du nombre total des abonnés domestiques).

- Dans le **Chapitre 5**, la méthode AHP a été appliquée pour le cas de l'Algérie. Les éléments pour le jugement et l'évaluation de la durabilité des SEPA (6 dimensions, 12 critères et 50 indicateurs) ont été définis dans 3 différents niveaux hiérarchiques. Ensuite, les séries de comparaisons par paires ont été obtenues par des jugements de 12 experts dans différents domaines impliqués dans la gestion des SEPA, y compris les décideurs, les gestionnaires et les scientifiques.
- Le **chapitre 6** présente une combinaison entre les deux méthodes de MCDM (AHP et TOPSIS). La méthode AHP est utilisée pour calculer les poids des éléments (dimensions, critères et indicateurs), par contre, TOPSIS a pour but d'obtenir le classement final de l'alternative la plus proche de la solution idéale.

Ce travail est terminé par une section de conclusions et de recommandations qui comprend les principaux résultats.

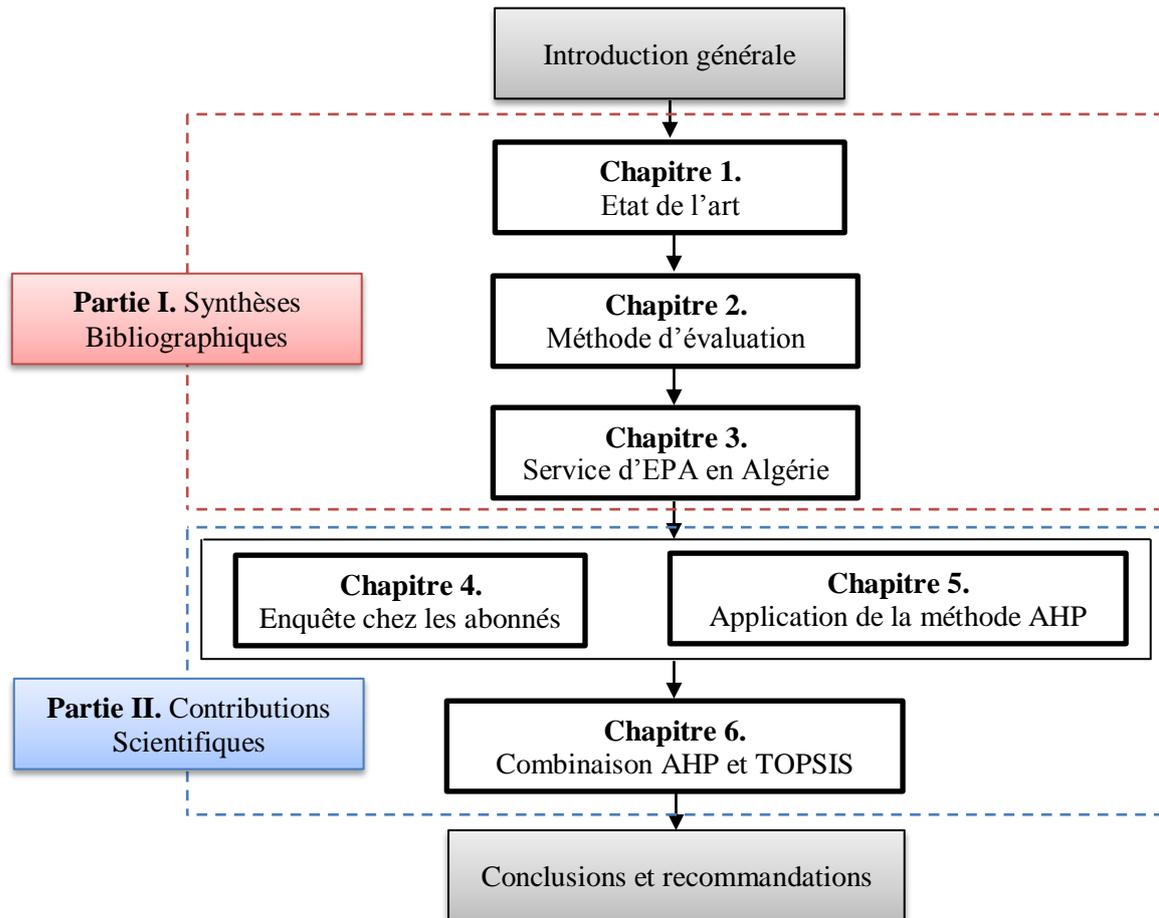


Figure 1. Schéma de la thèse

Cette recherche contribuera à l'application des méthodes combinées de MCDM dans l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement, en abordant les axes suivants:

- i. Une discussion sur l'adéquation des méthodes AHP et TOPSIS dans le cadre de l'évaluation de la durabilité des SEPA, ce qui est utile pour guider les chercheurs, les décideurs et les gestionnaires dans le choix de la prise de décision des méthodes multicritères pour faire face à certains scénarios de décision;
- ii. Une revue systématique de la littérature sur l'utilisation des modèles de décision multicritères pour l'évaluation de la durabilité des SEPA, contribue à la mise à jour de l'état de l'art de ce sujet de recherche. La recherche bibliographique a été menée à travers la collection d'articles scientifiques en Science Direct, Scopus, Web of Science, Google Scholar et le moteur de recherche Google. La revue de la littérature vise à identifier les lacunes dans ce domaine de recherche. Par ailleurs, la revue de la littérature a été utilisé pour créer une base théorique qui a soutenu le développement

de modèles et la comparaison des méthodes multicritères pour le choix de la méthode a appliqué dans notre recherche;

- iii. Champ de recherche: Une enquête chez les abonnés a été menée afin d'obtenir des données sur les critères et les indicateurs de la durabilité des SEPA en Algérie. Ensuite, un questionnaire a été envoyé à 16 experts du domaine de la gestion des SEPA pour juger l'importance des éléments (dimensions, critères et indicateurs), afin de mener une comparaison par paire pour chaque élément.

Chapitre 1.

Etat de l'art sur la durabilité de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement

Chapitre 1.

Etat de l'art sur la durabilité de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement

Ce chapitre examine certains concepts de base de la durabilité, ainsi qu'un examen des interprétations du développement durable. L'objectif est d'élaborer une définition de la durabilité globale des services d'eau potable et d'assainissement.

1.1. Introduction

La gestion durable des SEPA représente un enjeu majeur qui demeure un défi d'actualité. En Algérie, la problématique de la gestion durable des services d'eau potable est fréquemment posée lors de débats sur les ressources en eau (Hamchaoui, 2017). La durabilité est toujours associée au concept de développement durable.

Ce chapitre, basé essentiellement sur des éléments bibliographique, a pour vocation d'aborder les questions clés relatives à l'évaluation de la « *durabilité* » de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement. De ce fait, il aborde dans un premier temps le concept de développement durable, la notion de la durabilité. Ensuite, il donne un aperçu général de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement. Enfin, il dresse un panorama des recherches (articles scientifiques et thèses de doctorat) qui ont évoqué la problématique de la gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement.

1.2. Le concept du Développement Durable

Le développement durable (DD) est devenu une référence incontournable dans un nombre de décisions nationales et internationales. Le DD apparaît dès lors comme un compromis entre générations pour répondre aux besoins actuels mais aussi du futur, et en introduisant l'idée des équilibres à rechercher entre les dimensions sociales, économiques et environnementales du développement de nos sociétés (Brundtland, 1987). Par la suite, plusieurs autres définitions

ont été proposées qui complètent ou précisent la définition du rapport Brundtland. Citons par exemple une définition adoptée par la Commission des Communautés Européennes : le développement durable est « *une politique et une stratégie visant à assurer la continuité dans le temps du développement économique et social, dans le respect de l'environnement, et sans compromettre les ressources naturelles indispensables à l'activité humaine* » (Brodhag et al. 2004). Le concept du DD a connu plusieurs évolutions depuis l'année 1972 jusqu'à l'année 2012 (1972 : Conférence des Nations Unies sur l'Environnement Humain ; 1992 : Sommet de la Terre à Rio ; 2002 : Sommet Mondial sur le Développement Durable –Johannesburg-; 2012 : Le sommet mondial sur le développement durable -Rio-). La Figure 1.1 récapitule les évènements marquants de l'essor du développement durable.

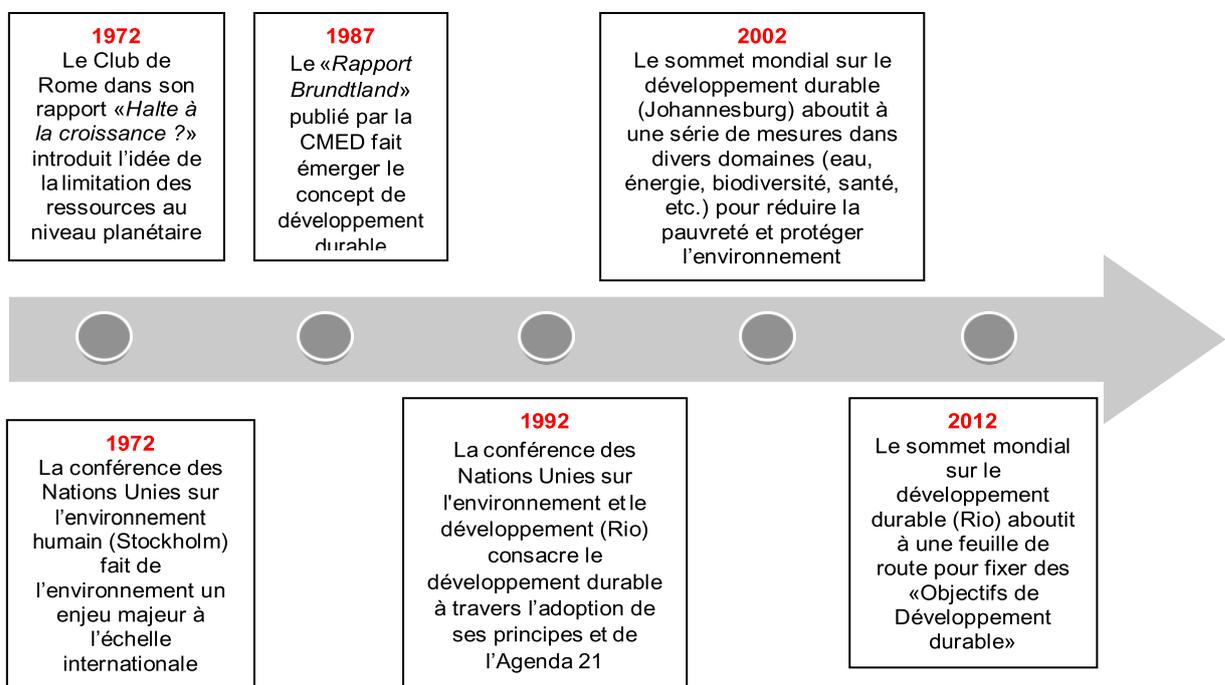


Figure 1.1. Historique du développement durable

Source : *Grenelle de l'environnement, 2012*

Le concept de développement durable (DD) fait l'objet de nombreux ouvrages, recherches scientifiques, conférences internationales, etc. Selon la littérature, il existe plusieurs définitions pour le concept du DD, mais les plus habituelles sont:

- L'expression du DD a été utilisée pour la première fois en 1968 lors de la conférence intergouvernementale sur l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère organisée par l'UNESCO (Paquot, 2008). Quelques années après, elle est reprise dans le rapport «*World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development* » pour désigner :

« ... un type de développement qui prévoit des améliorations réelles de la qualité de la vie des hommes et en même temps conserve la vitalité et la diversité de la Terre. » (UICN, PNUE et WWF, 1980).

- Le rapport Brundtland de la Commission mondiale des Nations Unies pour l'environnement et le développement (WCED) a défini le DD comme

«... un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins et leurs aspirations» (Brundtland, 1987).

- La WCED définit le DD comme :

« ... un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » et qui permet « de satisfaire les besoins humains fondamentaux et d'améliorer le niveau de vie pour tous, tout en protégeant et gérant mieux les écosystèmes et assurant un avenir plus sûr et plus prospère. » (WCED, 1987).

- D'autres rapports ont défini le DD comme :

«... améliorer la qualité de la vie tout en respectant la capacité de soutien des écosystèmes. » (IUCN / PNUE / WWF, 1991).

«... un développement qui protège l'environnement tout en reconnaissant la santé publique, préoccupations économiques, sociales et politiques.» (Lundin et al., 1997).

«... étant les systèmes de ressources en eau destinées et a réussi à contribuer pleinement aux objectifs de la société, maintenant et à l'avenir, tout en conservant leur intégrité écologique, environnementale et hydrologique» (ASCE et UNESCO, 1998).

- Une récente définition du DD :

« Le développement de l'économie pourrait être compatible avec la préservation de l'environnement et que le progrès économique ne pouvait être possible que si la protection de l'environnement et l'inclusion sociale ont été abordés.» (van Leeuwen et Marques, 2014).

Alors que la définition du rapport Brundtland du concept du DD est encore largement cité, Sommer et al., (2003) ont définis qu'il existe plus de 200 autres définitions. Mais, les tentatives de mise en œuvre et de l'aspect opérationnel du DD ont généré beaucoup de critiques. (Spangenberg 2001).

Le rapport Brundtland a consacré la naissance officielle du DD à l'échelle mondiale. Il fait souvent la référence clés à propos du DD car il est considéré comme le principal texte fondateur de cette nouvelle perspective de développement (Almeida et Jalenques-Vigouroux, 2007). En effet, le Rapport Brundtland présente le développement durable comme un mode de développement qui associe la préservation de l'environnement et la recherche du bien-être des populations à la croissance économique. Cette combinaison est née de l'idée que la richesse économique, le bien-être social et la qualité de l'environnement sont des aspects intimement liés, et par conséquent, ne sauraient être considérés séparément. La plupart des définitions du DD comprennent les trois catégories principales de préoccupation du développement durable: économique, sociale et environnementale, est certaines en assimilent d'autres dimensions telles que la gouvernance et technique (Marques et al.2015).

Pour le cas de l'Algérie, l'Etat a opté pour une nouvelle politique orientée vers l'application de la notion du «*développement durable*» dans tous les secteurs en particulier celui des ressources en eau (PNAE-DD, 2002). A cet effet, les questions qui se posent sont de savoir comment un secteur, un service ou une activité particulière peuvent devenir durable ? Dans quelle perspective la mise en œuvre de ces idées devrait être évaluée? Et quelle est la façon de mesurer le degré de la durabilité ?

1.3. La notion de la durabilité

Par durable, nous désignons le fait d'avoir la capacité à durer, au sens large (Souriau, 2014). Cette capacité est évoluée avec le temps, elle peut s'améliorer comme se dégrader. Dans cette thèse, nous avons choisi d'étudier de façon approfondie cette capacité à durer: quelles sont donc les "forces" qui conditionnent la capacité à durer des services d'eau potable et d'assainissement. Mais la question qui se pose : qu'est-ce qui gouverne la durabilité de l'offre de services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) en Algérie, et comment la modifier pour assurer un développement durable? Autrement dit, comment peut-on aider les décideurs et les gestionnaires des SEPA à évaluer la durabilité des services qui l'offrent aux citoyens algériens ?

A ce titre, le principe de base de la durabilité est la caractéristique souhaitée d'une action dans une perspective de développement durable (Edjossan-Sossou, 2015). Tout comme pour le

concept de développement durable, la définition de la notion de durabilité n'est pas aisée. La définition de la durabilité s'entend généralement comme la capacité de l'action à respecter simultanément et de façon continue dans le temps des considérations d'ordre économique, environnemental, social, culturel et politique... etc. Conformément aux composantes du développement durable auxquelles se réfère cette thèse, une action est jugée durable quand : (1) elle est économiquement rentable, (2) elle a des impacts négatifs limités sur le milieu naturel, (3) elle répond de façon équitable aux attentes sociétales et (4) elle est inscrite dans un contexte de bonne gouvernance qui permette la réalisation simultanée des trois autres conditions (Edjossan-Sossou, 2015). Garantir la durabilité nécessite la construction d'un équilibre judicieux entre les trois piliers du développement durable (figure 1.2) et les autres dimensions de la durabilité (technique, gouvernance et institutionnelle) tout en évitant d'octroyer une importance disproportionnée à l'un ou à l'autre afin d'augmenter les chances d'obtention d'une durabilité globale. Selon qu'on se réfère à une seule composante, la durabilité d'une action peut être déclinée en durabilité économique, environnementale, sociale, technique, gouvernance ou institutionnelle.

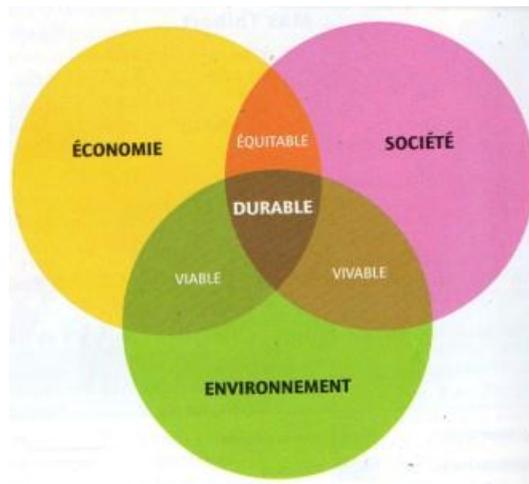


Figure 1.2. Les trois piliers du développement durable

Source : <http://lewebpedagogique.com/arnaud/files/2013/10/sans-titre2.jpg>

➤ La **durabilité économique** s'exprime en termes de rentabilité continue d'une action. Elle s'intéresse à sa cohérence économique, à la maîtrise de ses coûts globaux et à ses retombées économiques directes/indirectes dans le but essentiellement d'optimiser sa rentabilité et d'éviter de générer des charges d'endettement qui pourraient être transmises aux générations futures.

- La ***durabilité environnementale*** met l'accent sur le maintien, et la préservation, l'amélioration et la valorisation de l'environnement et des ressources naturelles sur le long terme, en maintenant les grands équilibres écologiques, en réduisant les risques et en prévenant les impacts environnementaux ;
- La ***durabilité sociale*** vise à ce que toutes les couches de la société bénéficient, de façon impartiale, des fondamentaux du développement humain afin de jouir d'une qualité de vie stable dans le temps ;
- La ***durabilité technique*** vise à ce que la gestion technique doit être fiable et efficace, sur toute la durée de vie des infrastructures ;
- La ***gouvernance durable*** recherche l'efficacité des mécanismes de gouvernance de la société ;
- La ***durabilité institutionnelle*** implique que les structures institutionnelles existantes ont la capacité de persister dans le temps et de s'adapter aux chocs afin de continuer à exercer leurs fonctions sur le long terme.

Alors que la recherche de la durabilité constitue plus que jamais une logique structurante pour l'élaboration et la mise en œuvre de projets ou de politiques, le véritable défi pratique est de mesurer le niveau de durabilité qui leur est associé (Kondyli, 2010). L'évaluation apparaît alors comme un moyen stratégique pour l'opérationnalisation de cette notion (Edjossan-Sossou, 2015).

Le terme « durabilité » est beaucoup utilisé dans la gestion des ressources en eau, par exemple :

- L'American Society of Civil Engineers (ASCE) a défini des systèmes durables des ressources en eau en tant que:
 - « ... Ceux qui sont conçus et gérés de contribuer pleinement aux objectifs de la société, maintenant et dans l'avenir, tout en conservant leur intégrité écologique, environnementale et hydrologique. » (ASCE 1998).
- En Australie, la nécessité d'une « définition cohérente » de la durabilité dans la politique de l'eau a été soutenue par Hürlimann, avec
 - « ... un développement écologiquement durable suggéré comme une définition appropriée à savoir le développement qui soutient l'environnement naturel et favorise l'équité sociale » (Hürlimann, 2007).

Dans le cadre de la gestion des SEPA, la durabilité devient une préoccupation majeure tant pour les décideurs que pour les gestionnaires afin d'offrir un service performant aux citoyens.

1.4. La durabilité des services d'eau potable et d'assainissement

A la fois service industriel et commercial, service universel et service public, l'eau potable et l'assainissement sont au cœur des défis posés par le développement durable. En effet, ces services, sont caractérisés par l'existence d'un réseau au coût très élevé, qui oblige à des investissements en capital et des dépenses opérationnelles de long terme. La dimension environnementale est évidente de par l'utilisation d'une ressource naturelle qui implique des mesures de protection pour en assurer la qualité et la sécurité sanitaire et aussi par la protection du milieu naturel contre la pollution engendrée par les eaux usées. L'interaction avec la dimension économique est importante, puisque les baisses de consommations d'eau, a priori souhaitables pour limiter la pression sur la ressource, entraînent des baisses équivalentes de recettes des services. La dimension sociale du service d'eau n'est plus à démontrer depuis que l'ONU a qualifié en 2010 le droit à l'eau de « *droit fondamental, essentiel au plein exercice du droit à la vie et de tous les droits de l'homme* ». Elle se pose principalement en termes d'acceptabilité du prix de l'eau payé par l'utilisateur (Smets, 2008).

1.4.1. Les services d'eau à l'épreuve d'un développement durable

Dans cette section, une revue critique des méthodologies existantes est effectuée dans le cadre d'une gestion durable des SEPA dans le monde.

Les SEPA devraient être efficaces et durables (van Leeuwen et Marques, 2014). Par exemple, les gestionnaires des SEPA à travers le monde doivent fournir une eau potable en quantité suffisante et de bonne qualité aux citoyens, collecter et épurer toutes les eaux usées, et les citoyens doivent payer leurs consommations en eau avec une tarification au prix abordable. Malheureusement, ces conditions ne sont pas remplies pour instaurer une offre de service durable, parce qu'avec le temps, les clients et la société exigent plus. En outre, les SEPA ayant une responsabilité sociale, par exemple, le droit de tous les citoyens à l'accès à l'eau potable et à l'assainissement. Mais aussi, la surexploitation des ressources en eau pour l'eau potable et le rejet des eaux usées non-traitées dans le milieu naturel pourraient avoir un impact négatif sur l'environnement. Et aussi, le manque d'alimentation en eau potable causé par des problèmes techniques comme : les pertes en eau, les pannes dans les stations de pompes, etc..., peuvent avoir des conséquences graves sur la qualité de vie quotidienne et le bien-être des clients. Par conséquent, les dimensions économiques et sociales sont des questions de plus en plus fondamentales en raison du coût croissant de l'eau potable et des eaux usées. Les services d'eau sont très importants pour la cohésion sociale et économique de la société. En effet, la population souhaite avoir des SEPA de bonne qualité et performants avec des prix

abordables. Mais ces services ne doivent pas avoir des impacts négatifs sur l'environnement, et aussi, ces deux services doivent avoir une prise de conscience croissante sur la durabilité technique et la performance du patrimoine de l'eau.

La plupart des défis auxquels confrontés les gestionnaires des SEPA sont causés par le changement climatique, la croissance rapide de la population et de l'activité économique dans les villes, la surexploitation des ressources en eau et de l'énergie, le vieillissement des infrastructures et le manque des moyens financiers pour les investissements ... etc. (van Leeuwen et al, 2012). Toutes ces contraintes remettent en cause la gestion actuelle des SEPA et elles doivent être prises en compte lorsque l'on travaille sur le développement durable des SEPA. La question du développement durable des services d'eau potable et d'assainissement fait aussi l'objet de plusieurs entrées disciplinaires (Destandeu, 2004) (Tableau 1.1).

Tableau 1.1. Exemples d'entrées disciplinaires sur le développement durable des services d'eau

Disciplines	Exemples d'objets d'étude étudiés
Sciences de gestion	Mode de gestion (public/privé) ; performance, régulation ; contrôle de gestion
Économie	Financement du service, tarification, rentabilité, économétrie
Psychologie	Symbolique et perception de la nature et de l'avenir, comportements individus
Droit	Cadre légal, droit à l'eau (accès au service), droit de l'eau
Science politique	Politiques publiques, gouvernement et gouvernance, idéologies, géopolitique
Sociologie	Action collective, institutions, relations de pouvoirs, instruments de gouvernance
Sciences de l'ingénieur	Hydraulique, dimensionnement, traitement, technologies
Physique	Résistance des matériaux, mécanique des fluides, climat, hydrogéologie
Biologie	Qualité de l'eau, méthodes de potabilisation, bactériologie

(Source : Souriau, 2014)

De même, la question de la durabilité de la gestion des SEPA a été abordée sous des aspects très divers : gestion de la ressource en eau, performance et gestion du patrimoine technique, gestion des pertes en eau, mode de gestion (public ou privé), financement du service, prix abordable, tarification sociale, gouvernance, qualité de l'eau... etc. (Barraqué, 1998 ; Cambon, 1996 ; Guérin-Schneider, 2001 ; Canneva et Lejars, 2008 ; Pezon, 2006 ; Smets,

2008). Par exemple, les projets WATER 21 (Barraqué, et al., 1997) et EAU&3E (Barraqué, 2009) étudient la durabilité des services d'eau des villes en Europe en mobilisant des méthodes et des théories issues de plusieurs disciplines (économie, science politique, sciences de l'ingénieur, etc.).

Il existe donc un double intérêt à poser cette question de recherche : d'une part un intérêt académique, pour améliorer la connaissance scientifique sur le développement durable et sur les conditions qui permettent de l'atteindre pour le cas des SEPA. D'autre part, un intérêt opérationnel, pour mettre en pratique ces connaissances afin d'améliorer les outils d'aide à la décision et de mieux guider les décideurs impliqués dans la gestion des SEPA.

D'après la littérature scientifique, il n'y a pas de définitions communes sur la méthode d'évaluer la durabilité des SEPA. Tout comme le concept de développement durable, son application à la gestion des ressources eau et la gestion des SEPA a fait l'objet de nombreuses interprétations, et plusieurs organismes et associations ont essayé de définir les critères et la méthode à adopter afin de parvenir à une gestion durable. Et jusqu'à maintenant, il n'y a pas encore un modèle simple et clair adopté par la communauté scientifique sur la méthodologie pour l'évaluation de la durabilité des SEPA. Parmi ces modèles adoptés pour l'évaluation de la durabilité des SEPA, nous citons :

- **Barraqué et al. (1997 et 2001)** ont proposé une approche qui s'appelle la méthode des 3E (Environnement, Economique, Ethique). Cette méthode semble plus adaptée pour analyser la durabilité des SEPA pour le cas grenoblois (France), du fait de sa simplicité et de la prise en compte simultanée des trois piliers du DD dans l'analyse. Le modèle proposé permet d'en faire un outil plus large d'évaluation de la durabilité du secteur de l'eau :
 - D'un point de vue **économique**, la méthode des 3E cherche à savoir si les modes de financement actuels des services permettent de maintenir le patrimoine en bon état sur le long terme et de réaliser les investissements nécessaires à l'amélioration de la performance. Cet enjeu est déterminant dans le cadre d'un service aux coûts fixes importants. A ce sujet, on peut rappeler que l'effort de construction des réseaux d'eau potable s'est réparti sur près d'un siècle avec l'aide des subventions de l'Etat.
 - D'un point de vue **environnemental**, la méthode de 3E vise à évaluer les investissements futurs nécessaires à l'amélioration des performances environnementales et de santé publique des services. Dans cette approche, la

durabilité environnementale équivaut au respect des obligations réglementaires et de normes sanitaires par les services.

- Enfin d'un point de vue **éthique**, la méthode de 3E s'interroge sur l'impact de ces investissements et des coûts de fonctionnement sur les factures d'eau des usagers. Dans ce cadre, la durabilité éthique est assurée si les usagers ont la capacité de payer et acceptent le paiement de la facture d'eau.

Ces travaux fondateurs ont ensuite été repris et approfondi dans l'objectif de proposer une définition opérationnelle de la durabilité des services d'eau, utilisable comme outil d'aide à la décision par les services.

- L'étude de l'American Society of Civil Engineers (ASCE) et l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (ASCE – UNESCO, 1998) suggère que les principales dimensions sont : la santé publique, socio-économique, environnementale et la gestion (ASCE – UNESCO, 1998).
- **Pezon (2006)** a proposé la définition suivante de la durabilité appliquée aux SEPA:

«... un service d'eau potable et d'assainissement est durable s'il distribue (rejette) une eau conforme aux normes et assure le renouvellement de son capital sur la base d'un tarif acceptable par les abonnés ». (Pezon, 2006)

Mais, ces définitions s'avèrent incomplète et insuffisante pour évaluer la durabilité des SEPA, car elles ne prennent pas en compte les déterminants externes aux décisions des gestionnaires des services (par exemple, l'évolution de nombres d'usages de l'eau dans le temps, les modifications de législation pour l'utilisation de la ressource en eau, les acteurs financiers en fixant des taux d'intérêts différents pour les collectivités locales, etc...). Et aussi, de nombreux chercheurs ont constaté que les trois dimensions du DD ne suffisent pas à évaluer la durabilité de la gestion des SEPA. Ainsi, ils ont ajouté d'autres dimensions telles que: technique, la gouvernance, etc. (Ashley et al., 2003 ; Marques et al., 2015 ; Boukhari et al. 2017).

1.4.2. Dimensions de la durabilité de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement

Le concept de la durabilité est souvent associé à aux dimensions du concept du DD, composée par les dimensions sociaux, environnementaux et économiques. Ces dimensions peuvent être considérées comme des objectifs agrégés par rapport à un secteur particulier qui devrait être

développé. Certains auteurs ajoutent des critères et des indicateurs à ces dimensions qui correspondent à:

«... ensemble de facteurs qui peuvent être utilisés pour évaluer ce qui d'une gamme d'options offre la plus grande contribution à la réalisation des objectifs de développement durable.» (Ashley et al., 2004).

Par conséquent, la question est de savoir si l'approche avec les trois dimensions du DD est la plus appropriée pour faire face à la question de l'évaluation de la durabilité de la gestion des SEPA ? En fait, beaucoup de chercheurs ont jugé qu'elle est insuffisante et, depuis, ils ont ajouté d'autres dimensions comme les aspects de la gestion technique des infrastructures et de la gouvernance qui sont également tout à fait pertinent dans l'activité quotidienne des SEPA. Car, ils jouent un rôle déterminant et essentiel pour les aspects de la durabilité sociale, environnementale et les objectifs de la viabilité économique. D'après la littérature scientifique, plusieurs chercheurs ont associés d'autres dimensions pour évaluer la durabilité des SEPA. Le résumé de ces dimensions considérées est listé dans le tableau 1.2.

- **Hellström et al., 2000.** Un autre groupe de recherche en Suède intitulé «*Urban Water Program*» (UWP) a identifié un ensemble de cinq critères de durabilité: aspects de la santé et de l'hygiène, sociaux et culturels, environnementaux, économiques et techniques et fonctionnels. Avec chaque critère principal, il existe un ensemble de sous-critères. Un ou plusieurs indicateurs sont associés à chaque sous-critère.
- **Mukherjee & van Wijk 2003** ont proposé un cadre pour la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement. Il comprend les dimensions classiques du DD (économique, environnementale et sociale) et ajoute des dimensions techniques et institutionnelles. Les auteurs définissent la durabilité des systèmes d'eau et d'assainissement comme :

« ... que ceux qui fonctionnent de façon satisfaisante pendant une longue période de temps et qui sont utilisés pour la promotion de la santé d'une manière écologiquement rationnelle.» (Mukherjee & van Wijk 2003).

Les considérations techniques sont certes importantes dans la durabilité des systèmes d'eau et d'eaux usées. Que ce soit à haute ou basse technologie, de tels systèmes impliquent l'utilisation de technologies pour atteindre les objectifs fixés, il est donc essentiel que ces technologies fonctionnent de manière durable. Aussi, les facteurs institutionnels qui influencent souvent la façon dont les systèmes d'eau sont

réglementés, gérés et exécutés, jouent également un rôle essentiel dans la détermination de la durabilité des systèmes d'eau et d'eaux usées.

- **Ashley et al. (2004)**. Un projet de recherche basé sur le Royaume-Uni «Sustainable Water-Asset Resource Decisions» (SWARD) a également élaboré un guide pour les fournisseurs de services d'eau pour prendre des décisions. Ils définissaient la hiérarchie avec quatre catégories principales: économique, environnementale, sociale et technique.
- **Sahely et al. (2005)** ont classé ces dimensions comme suit : environnementale, économique, technique et sociale,
- **Murray et al. (2009)** proposent les dimensions suivantes : économique, écologique, sociale, technique et humaine.
- **da cruz (2013) et Marques et al. (2015)** suggèrent les cinq dimensions : technique, économique, environnementale, sociale et la gouvernance.

Tableau 1.2. Diverses dimensions de la durabilité considérées dans la littérature

Dimensions	References
Economique, Environnementale et Sociale	Colomb et al., (2013) ; Craheix et al., (2015)
Economique, Environnementale, Sociale et Technique	Foxon et al. (2002); Lundin (2003) ; Ashley et al., (2004) ; Makropoulos et al., (2008)
Economique, Environnementale, Sociale et Gouvernance	Barraqué (2013)
Economique, Environnementale, Sociale, Technique, et Culturelle	Balkema et al. (2002)
Economique, Environnementale, Sociale, Humain et Sociétale	GRI (2006)
Santé et hygiène, Sociale, Culturelle, Environnementale, Economique, Fonctionnelle et Technique	Hellström et al. (2000); Malmqvist et al. (2006)
Environnementale, Sociale, Economique et Institutionnelle	UNCDS (2001)
Environnementale, Sociale, Economique, Technique et Institutionnelle	Mukherjee et van Wijk 2003
Economique, Environnementale, Sociale, Technique et Gouvernance	Bratlebö et al., (2012) ; Marques et al. (2015)
Santé, Economie, Ecologie, Sociale, Technique et Humaine	Murray et al. (2009)

(Source : auteur)

1.4.3. Revue de littérature sur la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement

Comme il est l'objectif de notre thèse d'élaborer un outil d'aide à la décision pour l'évaluation des SEPA, il est pertinent de résumer les principales recherches et études menées sur la durabilité des SEPA.

- Les études de **Hellström et al., 2000**, qui ont été réalisées dans le cadre de la fondation suédoise pour la recherche environnementale stratégique (MISTRA). Ces études ont présenté les critères et sous-critères adoptés pour la durabilité des SEPA au **Suède**. Les auteurs ont choisi sept dimensions de la durabilité : la santé et l'hygiène ; culturelle ; sociale ; environnementale ; économique; fonctionnelle et technique.
- **Balkema et al., 2002**, dans leurs projet de recherche ont analysé les critères utilisés dans l'évaluation de la durabilité des SEPA **aux Pays-Bas**. Les auteurs ont proposé un nouvel ensemble de cinq dimensions de durabilité : économique; sociale ; environnementale ; technique; et culturelle.
- Lundin et al. (1999) et **Lundin (2003)** ont élaboré un ensemble d'indicateurs de durabilité pour évaluer les progrès des systèmes d'eau et d'eaux usées vers la durabilité. Les indicateurs englobent les facteurs environnementaux et techniques.
- Au Royaume-Uni, **Water UK** a développé un ensemble de 25 indicateurs pour mesurer les services d'eau progressent vers la durabilité environnementale (Water UK, 2000). Plus tard, un projet de recherche appelé SWARD effectuée par plusieurs partenaires anglais et étrangers, pour la plupart des universités, a développé un guide de procédure des services d'eau durables (Ashley et al., 2003 et 2004). Cet outil vise à aider les services publics de l'eau pour prendre des décisions durables. Il établit une distinction entre les principes, critères et indicateurs de durabilité. Selon le projet, les dimensions et les critères sont classés, comme suit : économique, environnemental, social et technique et pour chaque critère une série d'indicateurs de performance.
- **Mitchell (2006)** a analysé le concept de la durabilité des SEPA en Australie. Selon l'auteur, la durabilité tient compte de:
 - a) toutes les composantes du cycle de l'eau sont considérés dans un système intégré;
 - b) toutes les dimensions de la durabilité sont équilibrés;

- c) toutes les parties prenantes, y compris tous les usagers de l'eau sont impliqués;
 - d) toutes les utilisations de l'eau sont abordés et
 - e) toutes les particularités du contexte local sont considérées.
- **Brown (2008)** a étudié la capacité des gouvernements locaux à pratiquer une gestion durable des SEPA à Sydney (Australie). L'auteur a proposé une typologie de cinq phases de développement organisationnel pour une gestion durable des eaux urbaines (le projet, extérieur, intérieur, croissance, et les phases de développement intégré) comme un outil d'analyse comparative des capacités des acteurs. Les résultats ont montré que les deux aspects institutionnel et organisationnel sont des caractéristiques clés de l'entreprise pour permettre une gestion durable.
 - **Monsma et al., 2009**, ont développé un ensemble de 20 indicateurs de performance pour soutenir financièrement et écologiquement le chemin durable pour l'infrastructure de l'eau en **États-Unis**. Il comprend les éléments suivants: la transparence, la bonne gouvernance, les coûts de développement, la sécurité et la protection civile, la gestion, la sensibilisation du public et de l'investissement des parties prenantes, la tarification du coût complet, la gestion des infrastructures d'eau potable et d'assainissement, la conservation et l'efficacité de l'eau, la gestion de l'énergie, le changement climatique, la réglementation, l'abordabilité, les méthodes de prestation d'approvisionnement et de projets avancés, impacts environnementaux, optimisation de la gestion des réseaux, la gestion de la main-d'œuvre et de recherche, et de l'innovation technologique et de gestion.
 - La durabilité des services d'eau et d'eaux usées est également une préoccupation exprimée dans la norme **ISO 24.500**. Outre la définition des indicateurs de performance pour l'amélioration des services (et donc pour le développement durable), la série ISO 24.500 fait référence à la «durabilité des services d'eau et d'eaux usées» et à un «développement durable de la communauté». À cet égard, les services publics doivent s'adresser au développement durable, à savoir la capacité de la communauté à croître et à prospérer dans les ressources environnementales, infrastructurelles et économiques disponibles, sans limiter l'utilisation de ces ressources par les générations futures.» En outre, la norme ISO 24.500 réclame que les services publics doivent :
 - a) contribuer à et mettre en œuvre des politiques et des pratiques de gestion des ressources en eau durables,

- b) de contribuer à la planification du développement et de l'allocation des ressources grâce à la consultation, la fourniture d'informations et d'analyses en collaboration avec les institutions appropriées,
 - c) contribuer à la santé et à la sécurité publique, et
 - d) mettre en œuvre l'information et l'éducation de la communauté sur ces sujets, en particulier sur l'utilisation efficace de l'eau et de la prévention de la pollution.
- **Lejars et Canneva (2008)** ont présenté un outil pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau et d'assainissement en France. Ce travail propose une première approche originale pour évaluer la durabilité d'un service en liant la méthode des Indicateurs de Performance (IP) à celle des 3E (Environnement, Ethique et Economie), c'est ainsi qu'ils ont proposé une liste des critères pour les trois dimensions du DD pour le cas de la gestion durable des services d'eau (tableau 1.3).

Tableau 1. 3. Critères de la durabilité des services d'eau

Durabilité environnementale	Durabilité économique	Durabilité sociale
<ul style="list-style-type: none"> • Distribuer une eau potable de très bonne qualité ; • Protéger les captages des pollutions ; • Exercer une gestion quantitative de la ressource équilibrée ; • Ne pas compromettre la satisfaction des usagers présents et futurs ; • Mettre en place des outils de prévention des risques naturels ; • Développer ou abandonner des ressources ; • Respecter les normes réglementaires ; présentes et futures. 	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer l'entretien et le renouvellement du patrimoine afin de garantir le fonctionnement du service pour les usagers présents et futurs ; • Respecter le principe du recouvrement des coûts complets ; • Supporter le coût des interconnexions de sécurisation futures ; • Supporter les coûts attachés aux variations de consommation ; • Supporter les coûts attachés aux déterminants institutionnels ; • Mettre en place des outils de prévention des risques industriels ; • Prendre en considération le phénomène d'économies d'échelle induit par l'évolution démographique et de l'évolution des usages de la ressource ; • Mettre en œuvre les mécanismes comptables liés au financement durable (amortissement, provision, réévaluation des actifs, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Proposer un tarif acceptable pour les abonnés, si besoin au moyen de la mise en place de dispositifs de tarifications progressives et sociales ; • Desservir l'ensemble des habitants du périmètre du service ; • Garantir la permanence du service ; • Garantir le juste prix de l'eau.

Source : Lejars et Canneva (2008)

- Global Reporting Initiative (GRI) a gagné l'importance pour les services d'eau dans le monde entier en produisant un cadre global de rapports sur la durabilité. Ce type de rapport a révélé lui-même très important pour les services publics, car il rend les services publics capables de gérer leur impact sur le développement de la durabilité, en leur montrant une grande capacité d'exercer un changement positif sur l'état de l'économie, et les conditions environnementales et sociales. L'acceptabilité de cette information est également liée à sa capacité de mesurer, de suivre et d'améliorer la performance des services publics sur des questions spécifiques; et, par la suite, de réduire les risques commerciaux potentiels (**GRI, 2006**). Par ailleurs, la GRI aide les services publics et d'autres organisations de gérer et de promouvoir la transparence et la reddition de comptes puisque toutes les informations sont dans le domaine public.
- L'Institut de recherche Watercycle KWR et Deltares ont développé une approche de l'indicateur pour évaluer la durabilité des SEPA **aux Pays-Bas**. La recherche subdivise les indicateurs en huit grandes catégories : la sécurité de l'eau ; la qualité de l'eau ; l'eau potable ; l'assainissement ; les infrastructures ; le climat ; la biodiversité et la gouvernance. Cette approche est actuellement appliquée dans la gestion des SEPA dans différentes villes néerlandaises (Van Leeuwen et al., 2012).
- **Souriau (2014)** dans sa thèse de doctorat intitulée « *Stratégies durables pour un service public d'eau à Paris Analyser et gérer les politiques d'hier, d'aujourd'hui et de demain* » a cherché une réponse à la question suivante: Comment évaluer et améliorer la durabilité du service public à Paris (France) ? C'est à cette question qu'il propose d'apporter une réponse scientifique. Cette thèse doctorale étudie les stratégies de développement des services publics d'eau et leur durabilité, avec pour principal cas d'étude Paris. En moins de deux siècles, ce service d'eau est passé d'une situation archaïque à la configuration sociotechnique actuelle, mais, dans quelle mesure cette action collective pourra être prolongée – ou pas – à l'avenir ? La première partie de cette thèse discute le cadre méthodologique et théorique utilisable pour étudier ce qui 'gouverne' le développement et la durabilité du service public d'eau à Paris. Le cadre d'analyse général retenu est appliqué dans les parties suivantes de cette thèse, pour mener une analyse du temps long : passé, présent et futur. Premièrement, pour comprendre la durabilité du développement passé. Ensuite, il a expliqué comment un service public d'eau a pu historiquement être développé et perdurer à Paris jusqu'à ce jour. Pour cela, il a étudié les dynamiques à la fois *écologiques, techniques,*

économiques, institutionnelles et politiques de ce développement, afin d'en identifier les principaux moteurs et les limites. Deuxièmement, pour évaluer la durabilité du développement présent. Il a étudié dans quelle mesure les politiques contemporaines changent quelque chose aux configurations, dynamiques et trajectoires héritées du passé. Si les politiques de développement durable actuelles permettent plusieurs améliorations, diverses résistances les rendent marginales ou marginalisées, malgré le consensus en leur faveur. Troisièmement, pour prévoir la durabilité du développement futur. Il a analysé les principales conséquences des projets officiels prévus (exemple : Grand Paris de l'eau). En complément, il a proposé une étude prospective de divers scénarios encore possibles à l'avenir, afin de discuter des cheminements qui y mènent et de leurs conséquences, notamment face à la baisse de la demande d'eau observée depuis 1990. L'objectif de cette thèse est autant d'améliorer la compréhension de la notion de durabilité, que de proposer des outils opérationnels pour définir, mener et évaluer des politiques de service public d'eau durables à l'avenir.

- **Hamchaoui (2017)** dans sa thèse de doctorat intitulée « *Intégration de l'aléa pluviométrique dans le cadre d'une gestion durable du service de l'eau potable* » a développé un outil méthodologique d'aide à la gestion durable du service d'eau potable, prenant en considération les spécificités locales de l'Algérie. Cette recherche vient soutenir le service d'eau potable (Algérienne Des Eaux: ADE) dans ses défis pour améliorer la qualité de gestion du service rendu aux consommateurs. La méthodologie choisie est composée d'une phase de construction et d'une phase d'évaluation. La 1^{ère} a pour but d'identifier les objectifs et sous-objectifs prioritaires ainsi que les critères et indicateurs de durabilité qui leur sont associés. La 2^{ème} consiste à l'évaluation de la performance du service d'eau potable. L'agrégation des indicateurs et des critères est réalisée avec la méthode de la somme pondérée, la pondération avec la méthode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). L'application de cette méthodologie est réalisée sur le service d'eau potable de la ville de Bejaïa, Algérie. Elle a permis d'identifier un ensemble d'indicateurs répondant aux attentes du service d'eau potable. L'évaluation de la performance des indicateurs et critères, identifiés, associés à l'objectif étudié « satisfaire le client » durant la période 2009-2013 a révélé un bon niveau de performance de gestion du service d'eau potable de la ville de Bejaïa.

Les points communs qui ont émergé de la littérature sur la durabilité des SEPA sont:

- La dimension **environnementale** de la durabilité des SEPA concerne l'impact des SEPA sur les systèmes naturels et englobe l'optimisation de l'utilisation de l'eau et l'énergie, ainsi que la minimisation des impacts négatifs sur l'environnement. La ressource en eau ne doit pas être surexploitée et elle doit être naturellement réapprovisionnée. Aucun dommage à l'environnement ne doit être fait soit par l'extraction de l'eau ou de l'élimination des eaux usées. La disponibilité des sources pour une utilisation à long terme est importante.
- ♦ La dimension **sociale** de la durabilité des SEPA devrait inclure les aspects liés à l'accès aux services d'eau potable et d'assainissement, la satisfaction des besoins et des attentes des utilisateurs, l'acceptation du public et le rôle pertinent dans la communauté de ces services (Fleming, 2008), ainsi l'application d'une tarification sociale de l'eau (Smets, 2008). Les SEPA devraient offrir des avantages à tous les utilisateurs, et contribuer aux objectifs de la société et une bonne santé humaine. Aussi, il faut que le prix de l'eau soit abordable
- ♦ La dimension **économique** de la durabilité des SEPA inclurait tous les objectifs liés aux questions économiques et financières, telles que la tarification de l'eau, les subventions de l'Etat et le recouvrement intégral des coûts. Le financement durable devrait couvrir les coûts de l'exploitation et la maintenance des systèmes, en minimisant les subventions de l'Etat.
- Les aspects liés à la durabilité **technique** sont explicitement absents de l'approche de DD et celles liées à la gouvernance. La dimension technique est associée au système de l'infrastructure physique et pourrait englober les aspects concernant les performances du système, sa durabilité, sa fiabilité, sa flexibilité et l'adaptabilité (Ashley et al., 2003 et 2004). la gestion technique des SEPA doit être fiable et efficace, sur toute la durée de vie des infrastructures d'eau potable et d'assainissement, avec des pannes rares et des réparations rapides qui peuvent être réalisées avec un moindre coût.
- La durabilité **institutionnelle** et la **gouvernance** durable impliquent que les structures institutionnelles existantes ont la capacité de persister dans le temps et de continuer à exercer leurs fonctions sur le long terme. Ces structures incluraient tous les objectifs liés aux questions des parties prenantes, la transparence, la participation des citoyens

dans le processus de prise de décision, l'efficacité et l'efficience des mesures prises. L'existence de la planification de la ville avec les SEPA est également une question de gouvernance pertinente. Les installations de réseaux d'eau et d'eaux usées doivent être gérées de manière à être maintenu et pour répondre aux objectifs de la société. Ils devraient être réglementés pour protéger la santé humaine.

Chapitre 2.

Méthodes d'Evaluation de la durabilité

Chapitre 2.

Méthodes d'évaluation de la durabilité

Ce chapitre présente un état de l'art sur les méthodes d'évaluation de la durabilité, le concept des méthodes de l'analyse multicritères (MCA : MCDM). En effet, ce chapitre vise à fournir une revue de littérature sur les méthodes MCA largement appliquées dans la gestion de l'eau. Ensuite, les résultats d'un examen récent (2000 – 2017) des articles scientifiques appliquant les différentes méthodes MCA dans la gestion de l'eau.

2.1. Méthodes d'évaluation de la durabilité

D'après la littérature scientifique, l'évaluation de la durabilité consiste à : i) collecter des informations sur la valeur de l'objet de l'évaluation, ii) interpréter et analyser ces informations en vue de prendre une décision à la lumière de son efficacité, son efficience, sa cohérence et/ou sa pertinence.

Au cours des dernières années, de nombreux outils et méthodes d'évaluation de la durabilité ont été élaborés pour évaluer la durabilité de la gestion des ressources en eau (Hajkowicz & Collins, 2007). La participation des parties prenantes est une approche participative pour résoudre les problèmes de prise de décision et a impliqué un changement de paradigme dans les études d'évaluation de la durabilité. Néanmoins, il existe encore un profond manque de cadres et d'outils de prise de décision robustes et utiles, capables d'intégrer les objectifs du développement durable dans les processus décisionnels du développement des systèmes d'eau urbains. L'étude de cas présentée ici traite principalement de ce domaine d'étude spécifique et peut être considérée comme l'un des premiers efforts pour promouvoir les principes de durabilité parmi les décideurs et gestionnaires de l'eau en Algérie.

D'après Motevallian et al., (2014), le processus d'évaluation respecte les étapes suivantes : (1) définition des objectifs de l'évaluation, (2) identification et sélection des indicateurs de performance, (3) élaboration des mécanismes d'évaluation, (4) exécution de l'évaluation proprement dite par la conduite d'un jugement clair de l'objet évalué sur la base des indicateurs de performance retenus et (5) analyse des résultats et prise de décision.

Les méthodes d'évaluation de la durabilité sont des outils permettant d'évaluer les progrès vers un avenir durable. Les méthodes d'évaluation sont destinées à définir la manière dont les effets de l'objet seront évalués (comparaison avant/après, comparaison à une cible ou à un groupe témoin, enquête, modélisation, etc.). Chaque méthode a ses propres outils et techniques. Les méthodes d'évaluation mettent en œuvre plusieurs techniques notamment le « *scoring* » qui est une technique de notation consistant à attribuer une note à l'objet évalué en fonction du niveau de performance. Le terme « *outil* » d'évaluation désigne l'instrument développé pour mesurer l'atteinte de l'objectif en suivant les dispositions établies par la méthode. Un outil peut prendre diverses formes. Il peut s'agir d'une grille d'analyse, d'une liste de questions, d'un tableau de bord, etc. De nombreuses méthodes d'évaluation de la durabilité ont été élaborées à la suite de l'essor du concept de développement durable. Une variété de méthodes a été utilisée pour l'évaluation de la durabilité dans le domaine de la gestion de l'eau (gestion des ressources en eau, irrigation, performance des services d'eau, gestion des pertes, ..., etc.). D'après la littérature scientifique, il existe deux méthodes principales pour l'évaluation de la durabilité (méthodes directes et méthodes indirectes). La figure 2.1, montre certaines de ces méthodes.

Diverses méthodes et outils d'analyse ont été utilisés pour évaluer les performances des systèmes d'eau urbains dans la réalisation des objectifs de durabilité. L'évaluation du cycle de vie (Lundie et al., 2004 ; Lundin et Morrison, 2002), analyse de flux de matière (Jepsson et Hellström, 2002), le calcul du cycle de vie (Rebitzer et al., 2003), l'analyse des risques microbiologiques (Ashbolt et al., 2006) et l'analyse multicritères (MCA), également connue sous le nom d'analyse de décision multicritères (MCDM) (Lundie et al., 2008 ; Garfi et al., 2011) sont des exemples d'outils d'analyse de système appliqués pour l'évaluation de la durabilité des systèmes d'eau urbains. Les techniques MCDM offrent l'avantage important de combiner les résultats de différentes méthodes analytiques pour produire un indice de durabilité intégré pour les systèmes d'eau urbains.

2.1.1. Les méthodes directes

La méthode directe apporte généralement des preuves plus convaincantes que la méthode indirecte. Aller sur le terrain obtenir des renseignements de première main sur le sujet de l'évaluation est un moyen très efficace de recueillir de l'information et des données.

- **Les enquêtes** : Dans le contexte d'une évaluation, les enquêtes sont des moyens systématiques de collecte de données primaires (quantitatives, qualitatives ou les deux). On entend par «enquête» une démarche structurée conçue pour obtenir les données nécessaires d'un échantillon de la population visée (ou de toute cette population). La population visée est composée des personnes dont il faut obtenir des données et de l'information. On utilise souvent des enquêtes dans les évaluations, en raison de leur polyvalence.
- **Les visites sur terrain** : Les visites et les sorties sur terrain, nous permettront de recueillir des éléments d'information en complément de ceux obtenus directement auprès des services de l'eau potable et de l'assainissement.

2.1.2. Les méthodes indirectes

- ♦ La **méthode statistique** fournit des scores ou des taux de durabilité en utilisant des indicateurs de performances. La quantité d'un indicateur de durabilité est généralement exprimée en proportion de laquelle la valeur actuelle est comparée à une valeur de référence. Bien que l'évaluation des indicateurs fournisse des informations utiles sur la situation passée et actuelle de la durabilité, elle a souvent une faible performance dans la caractérisation de la situation future de la durabilité.
- ♦ Les **méthodes analytiques** sont divisées en deux méthodes, les méthodes intégrées et les approches non-intégrées. Les méthodes ayant une approche non-intégrée (unidimensionnelle) n'évaluent qu'un seul critère de durabilité à la fois, elles produisent souvent une valeur unique pour mesurer un aspect spécifique de la durabilité. Les méthodes qui s'inscrivent dans cette logique comprennent, entre autres, l'Analyse du Cycle de Vie (LCV), l'Analyse Coûts-Bénéfices (CBA), l'Etude d'Impact Social (EIS), etc. Les méthodes intégrées (multidimensionnelles) permettent de mieux appréhender la complexité de la durabilité (multi-acteurs, multi-objectifs, multi-dimensions, etc.) en intégrant tous les critères de durabilité. Ces méthodes ont donné naissance à un nombre important d'outils qui varient selon le domaine d'application. Les approches les plus utilisées sont : Triple Bottom Line (TBL), évaluation intégrée (IA) et analyse multicritères (MCA). Chacune de ces approches

peut être appliquée dans différents domaines et niveaux. Ces approches fournissent aux décideurs un bref aperçu quantitatif d'un aspect spécifique de la durabilité; néanmoins, ils sont souvent incapables de quantifier les autres aspects de la durabilité. Elles ont l'avantage de générer des résultats qui sont relativement simples à interpréter mais ne permettent pas de prendre en compte la complexité de la durabilité parce que les critères de durabilité étant généralement conflictuels et parfois contradictoires.

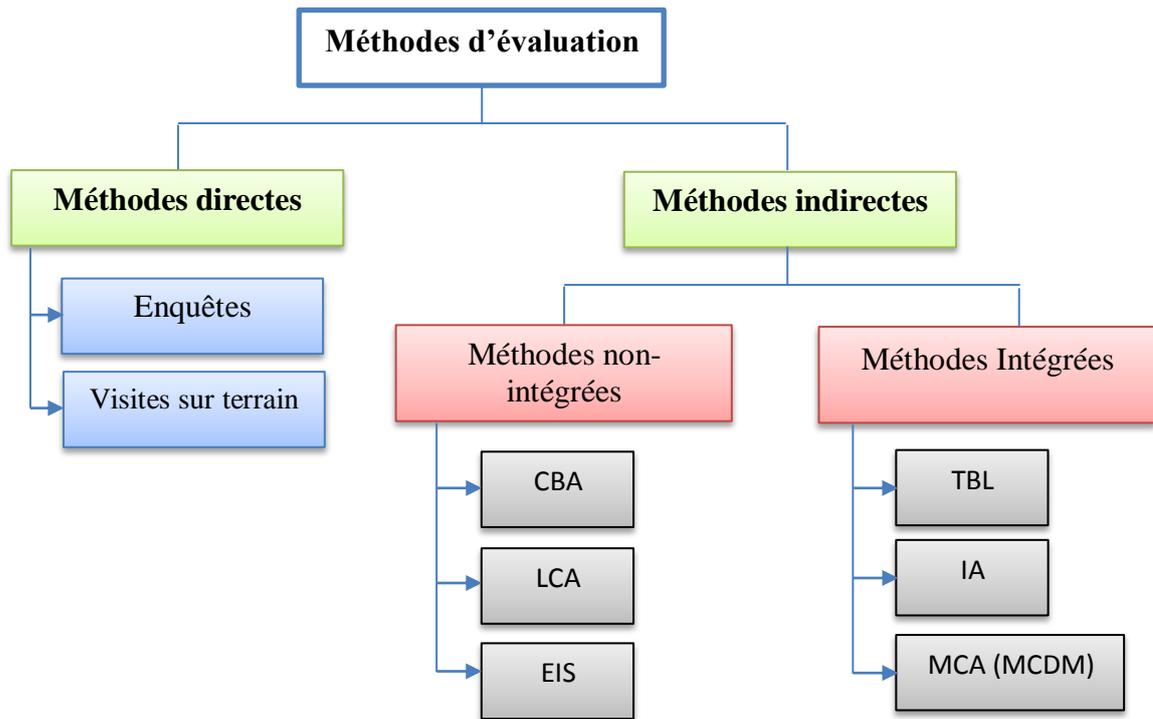


Figure 2.1. Les méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes d'eau urbains

○ **Analyse coût-bénéfice (CBA)**

L'analyse coût-bénéfice (*Cost-Benefit Analysis* : CBA) est l'une des formes d'approche intégrée de prise de décision les plus simples couvrant les préoccupations économiques. Il s'est avéré utile en raison du seul résultat agrégé obtenu qui aide à fournir des informations sur les coûts et les bénéfices des alternatives (Thampapillai, 1991). La CBA a été largement adoptée dans les applications d'ingénierie de l'eau traditionnellement en raison de sa simple approche de la monétisation (Pearce et al., 2006). Arrow et al. (1997) a fourni une bonne base philosophique pour le rôle de la CBA dans la gestion des ressources naturelles, comme l'eau.

○ **Analyse du cycle de vie (LCA)**

La méthode de l'analyse du cycle de vie (*Life-Cycle Assessment* : LCA) est une méthodologie d'évaluation qui permet de quantifier l'impact environnemental des produits, services ou systèmes de production depuis l'extraction des matières premières qui les composent jusqu'à

leur élimination en fin de vie, tout en considérant également les phases de distribution et d'utilisation (Chiu et al., 2012).

- **Triple Bottom Line (TBL)**

Le concept de TBL a été appliqué dans l'évaluation des services de l'eau depuis la fin des années 1990. Il étend la responsabilité sociale des entreprises à partir du concept de durabilité, incitant les organisations à aborder les problèmes de durabilité d'une manière plus intégrée (Elkington, 1998). Cette approche peut être utilisée comme cadre décisionnel pour guider la sélection des indicateurs pour mesurer les performances pour signaler les performances sociales en conjonction avec celles qui sont environnementales et économiques, mais aussi comme cadre de planification pour l'évaluation de la durabilité (Christen et al., 2006).

- **Évaluation intégrée (IA)**

L'évaluation intégrée (*Integrated assessment* : IA) est une discipline émergente mettant l'accent sur le processus visant à rassembler un large éventail de disciplines caractéristiques du problème de décision par la gestion des scénarios et l'engagement des parties prenantes (Rotmans 1998, Parker et al., 2002). IA est de plus en plus appliquée à la gestion intégrée des bassins hydrographiques et des problèmes d'allocation des ressources en eau (Croke et al., 2007). Brouwer et al. (2003) a fourni un examen complet de la notion et des méthodes d'IA pour la gestion de l'eau et des zones humides.

- **Analyse multicritères (MCA)**

L'analyse multicritères (*Multi-Criteria Analysis* : MCA, appelée aussi MCDM : *Multiple Criteria Decision Analysis*) est une approche structurée pour soutenir la prise de décision lorsqu'il s'agit de plus d'un critère unique et permet à chaque utilisateur d'accorder une importance relative à chaque critère. Un examen récent de MCDM pour la planification et la gestion des ressources en eau a montré que les méthodes MCDM sont fortement utilisées dans le domaine de la gestion de l'eau (Hajkowicz et Collins, 2007).

Tableau 2.1. Caractéristiques communes des approches utilisées dans l'évaluation de la durabilité

Integrative Approaches	Philosophie	Forces	Faiblesses	Engagement des intervenants	Caractéristiques communes (cadre ou outil)	Références clés
Cost-benefit analysis (CBA)	Les coûts et les bénéfices d'une option sont convertis en termes monétaires. La comparaison est faite sur les coûts / bénéfices relatifs. Il s'agit également d'actualiser ces valeurs au cours de la durée de vie du système en valeurs présentes en fonction d'un taux d'actualisation prédéterminé pour refléter la manière dont les humains valorisent leurs biens.	CBA s'est révélé utile en raison du seul résultat agrégé obtenu qui aide à clarifier et à fournir des informations sur les coûts et les bénéfices des alternatives, en soulignant les échanges commerciaux.	Il existe un niveau élevé d'ambiguïté et d'incertitude dans la traduction du jugement de la valeur en valeurs monétaires. Certains de ces impacts ne peuvent être évalués selon les valeurs du marché.	CBA est elle-même un outil d'analyse et non un cadre pour intégrer la participation du public, mais une partie du processus de conduite de la CBA, de la perception sociale et des valeurs peut impliquer une consultation publique.	- Un outil pour quantifier les externalités ou les matières immatérielles - Les dernières technologies d'arrangement - Critère de coût unique	Pearce et al. 2006
Triple bottom line (TBL)	Il est créé comme un cadre pour guider la sélection des indicateurs pour mesurer les performances. Toutefois, il ne se limite pas à un outil de déclaration, mais peut être utilisé comme cadre décisionnel en intégrant les facteurs environnementaux et sociaux dans les décisions.	TBL est largement adopté par les fournisseurs de services d'eau en raison de sa capacité à être utilisé comme outil de planification et de communication. C'est un outil d'information et de communication d'entreprise.	Manque de développement académique et de citation. Aussi le manque d'intégration; les indicateurs pour les trois piliers sont indiqués séparément sans aucune évaluation globale.	C'est un outil de communication multidimensionnel utile en tant que cadre intégratif pour engager les parties prenantes.	- Aucun outil de mesure précis - Outil de planification et de rapport multidimensionnel - Participation à la participation publique	Christen et al. 2006
Integrated assessment (IA)	L'IA est un processus structuré pour traiter des problèmes complexes, en utilisant les connaissances de diverses disciplines scientifiques et / ou parties prenantes, de sorte que des idées intégrées sont mises à la disposition des décideurs.	Il est utile pour encadrer les problèmes et comme un outil de communication entre les scientifiques et les décideurs. IA fonctionne sur une variété de niveaux et d'échelles, et donc diverses méthodes peuvent être utilisées non limitées à la modélisation technique.	C'est une discipline structurée relativement nouvelle. Il est encore de nature essentiellement qualitative sans modèle robuste.	Au fur et à mesure que diverses disciplines scientifiques et les parties prenantes sont rassemblées dans le processus d'IA, le processus lui-même peut devenir un cadre d'engagement des parties prenantes.	-Un cadre interactif et transparent -Un processus enrichi par la participation du public - Lier la recherche à la politique - Une approche itérative - Reconnaître les connaissances manquantes	Kolhoff et al. 1998; Craswell et al. 2007
Multi-criteria analysis (MCA)	En tant qu'outil d'analyse de décision, l'analyse multicritères (MCA) est une approche structurée avec un ensemble de procédures à suivre pour faciliter la prise de décision lorsqu'il s'agit de plus d'un critère unique	Il fournit un cadre structuré pour résoudre des problèmes multicritères qui sont souvent des problèmes très complexes.	Cela nécessite un développement cognitif considérable des décideurs pour faire des jugements, en particulier dans la mise en place de modèles de préférence.	La MCA nécessite généralement une méthode de structuration du problème qui englobe le processus d'engagement des parties prenantes	- Un cadre structuré intégratif -Unité de critère multiple -Variant branches existent -Plus d'approches pour la conduite de l'intégration	Hajkowicz et Collin, 2007; Hajkowicz et Higgins 2008

Source: Lai et al., 2008

2.2. Examen des Méthodes de Prise de Décision Multicritères (MCDM) appliquées dans le domaine de l'eau

Dans le domaine de la gestion de l'eau, la prise de décision multicritères (Multi-Criteria Decision-Making : MCDM) est apparue comme un outil d'aide à la décision pour intégrer diverses informations et valeurs des parties prenantes. Différentes techniques et outils MCDM ont été développés. Cette section présente une revue sur l'application de la littérature MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau (ressources, services, réhabilitation, irrigation, qualité de l'eau, ...etc.).

Après une vaste recherche bibliographique, 102 articles publiés ont signalé des applications MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau entre les années 2000 et 2017. Les articles examinés sont classés en fonction du domaine d'application (gestion des ressources en eau, gestion des pertes, durabilité des services d'eau potable et d'assainissement, irrigation, qualité de l'eau, réutilisation des eaux usées, etc.) et selon les méthodes MCDM utilisées dans l'analyse. Les résultats suggèrent qu'il y a une croissance significative des applications de MCDM dans le secteur de l'eau au cours de ces dernières années. Il a également été noté que de nombreux outils d'aide à la décision basés sur plusieurs méthodes MCDM ont été utilisés avec succès.

2.2.1. Introduction

L'application de ces outils devient toutefois de plus en plus difficile. Dans de nombreux cas, les décisions de gestion sont basées sur des critères/données multiples et conflictuels qui sont soumis à différents niveaux. De plus, ces décisions intègrent un jugement et une opinion d'expert. Enfin, les méthodes MCDM sont utilisées pour identifier et quantifier les considérations des décideurs et des parties prenantes concernant divers facteurs afin de comparer des pistes d'action alternatives (Huang et al., 2011). La MCDM représente des méthodes potentiellement capables d'améliorer la transparence, et la vérifiabilité de ces décisions (Dunning, Ross et Merkhofer, 2000). De nombreux articles de synthèse ont été publiés sur l'utilisation des méthodes MCDM dans divers domaines de la gestion de l'eau. Romero et Rehman (1987) ont passé en revue l'utilisation du MCDM dans 150 applications de gestion des ressources naturelles. Hayashi (2000) a examiné l'application de la MCDM à l'agriculture en se référant à plus de 80 études. Hajkowicz & Collins (2007) ont examiné 113 articles scientifiques appliquant de différentes méthodes MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau dans 34 pays. Ils constatent que la MCA est fortement utilisée pour l'évaluation de la politique de l'eau et la performance des infrastructures d'eau.

Les tendances clés dans les applications de MCDM dans la gestion des eaux urbaines décrites par Vázquez et Rosato (2006) et Hajkowicz et Collins (2007) sont:

- Il est difficile de trouver la méthodologie de MCDM la plus appropriée pour un problème spécifique. Il n'y a pas de relation stricte entre les méthodes et les problèmes. Le choix dépend aussi de la disponibilité de l'information et de sa qualité.
- Les raisons communes à l'adoption de MCDM sont la responsabilité de rendre compte et de transparence au processus décisionnel, à la résolution des conflits, à l'engagement des parties prenantes et à l'utilisation de la théorie des décisions pour éclairer le choix.
- Il semble y avoir un accent croissant sur l'utilisation de méthodes MCDM moins complexes parce que la plupart des décisions de gestion de l'eau en milieu urbain sont stratégiques normalement entreprises par des non-experts dans le domaine de MCDM.
- De nombreuses réalisations ont été obtenues dans l'application et le développement des méthodes MCDM. La tendance est maintenant moins axée sur le développement de nouvelles méthodes, mais sur le développement de cadres intégratifs qui incluraient les aspects sociopolitiques du processus décisionnel.

Le but de cette section est de passer en revue la littérature récente et identifier les tendances actuelles dans les applications MCDM à la gestion de l'eau. Cette recherche bibliographique s'appuie sur l'examen de 102 articles scientifiques publiés dans le cadre de l'application des MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau entre les années 2000 et 2017. L'examen se limite aux publications de revues scientifiques qui ont porté un large éventail de problèmes de gestion de l'eau et comportent différentes méthodes d'application.

2.2.2. Un bref aperçu des principales approches MCDM

Dans cette section, nous avons essayé de fournir un bref aperçu expliquant les idées de base sur divers des méthodes MCDM (tableau 2.2). La grande variété de méthodes MCDM utilisées pour la gestion de l'eau nécessite une définition préliminaire pour guider notre examen. La MCDM peut être définie comme un modèle de décision qui contient:

- ◆ Un ensemble d'options de décision qui doivent être classées ou marquées par le décideur;
- ◆ Un ensemble de critères, généralement mesurés en différentes unités; et
- ◆ Un ensemble des indicateurs de performance, qui sont les scores bruts pour chaque option de décision par rapport à chaque critère.

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils d'aides à la décision développées depuis les années 1960. De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un bon «choix ». Elle devient multicritère lorsque le problème comporte plusieurs objectifs conflictuels et multi-décideur, lorsque plusieurs parties prenantes ont des points de vue différents sur les objectifs considérés. » (Doyon 1994).

En prenant cette définition, nous présentons, dans ce chapitre, d'abord, un panorama des méthodes de sélection, y compris l'analyse multicritère, les plus utilisées pour la sélection d'une action ou d'une alternative dans un problème avec l'explicitation de leurs fondements. Ensuite nous justifierons notre choix pour la sélection d'une méthode multicritère ELECTRE.

Pour des raisons pratiques, nous classons les méthodes de sélection en trois catégories :

- ◆ Les méthodes basiques (élémentaires).
- ◆ Les méthodes d'optimisation mathématique.
- ◆ Les méthodes d'aide à la décision multicritère :
 - Méthode d'agrégation complète : approche du critère unique de synthèse
 - Méthode d'agrégation partielle : approche de surclassement de synthèse

Tableau 2.2. Les différentes méthodes MCDM

Méthodes	Références
Les méthodes de base (élémentaire)	Méthode catégorique Timmerman, 1987
	Méthode de la somme pondérée Timmerman, 1987
	Méthode de "Max Min" Guitouni and Martel, 1998
Les méthodes d'optimisation mathématique	Programmation de but (GP) Charnes et Cooper, 1961
	Méthode du critère global Vincke et Roy, 1989
	Méthode ϵ -contrainte Festa et Grandinetti, 2010
	Programmation mathématique à objectifs multiples Zopounidis et Pardalos, 2010
Les méthodes d'analyse décisionnelle multicritères	SMART Edwards, 1971
	Méthode d'agrégation complète: approche synthétique du critère unique MAVT Keeney and Raiffa, 1976
	MAUT Keeney and Raiffa, 1976
	AHP Saaty, 1980
	TOPSIS Hwang and Yoon, 1981
	MACBETH e Costa and Vansnick, 1994
Méthodes d'analyse des ensembles flous	MCA : Méthode d'agrégation partielle: approche de sur-classification PROMETHEE Brans et Vincke, 1986
	L'approche mixte ou hybride ELECTRE (I, II, III, IV, TRI, Is) Roy, 1985
	QUALIFLEX Paelinck, 1978
Approches floues (<i>Fuzzy</i>) Leberling, 1981	

D'après l'étude de Hajkowicz & Collins (2007), les méthodes de la MCA les plus utilisées dans la gestion de l'eau sont : TOPSIS, AHP, MACBETH, ELECTRE, et PROMETHEE. Dans cette section, nous avons examinés les fondements théoriques de chacune de ces cinq

méthodes ainsi que les points forts et les points faibles (critiques) de ces méthodes (Tableau 2.3)

2.2.1.1. TOPSIS

La technique pour l'ordre de préférence par similitude à l'idéal solution (TOPSIS : *Technique for Order by Similarity to Ideal Solution*), est une méthode de prise de décision multicritère développée par Hwang et Yoon (1981). Le concept de base de cette méthode est que, l'alternative choisie doit avoir la distance la plus courte de la solution idéale positive et la plus éloignée de la solution idéale-négative (Cheng et al., 2002).

Fondements de la méthode

L'idée fondamentale de cette méthode consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et de s'éloigner le plus possible de la pire solution (qui dégrade tous les critères). Les deux solutions sont hypothétiques et sont dérivées dans la méthode. Le concept de proximité a ensuite été établi et a conduit à la croissance réelle de la théorie TOPSIS (Zeleny, 1982).

Les étapes à suivre pour appliquer la méthode TOPSIS sont présentées dans la figure 2.2.

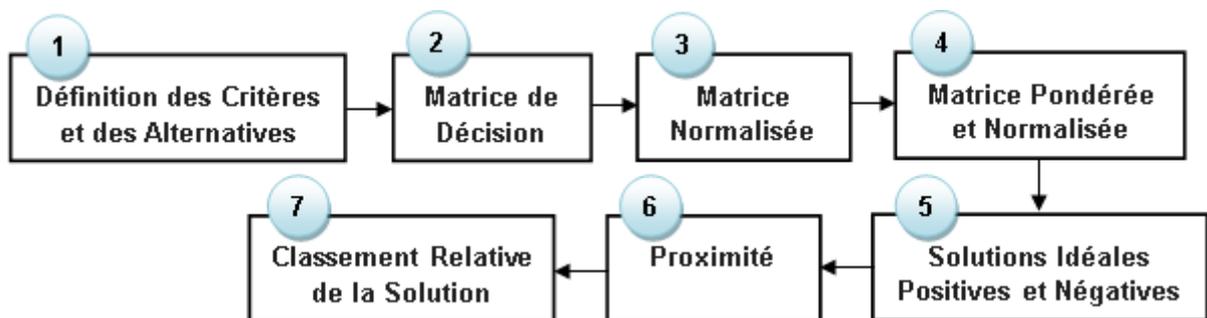


Figure 2.2. Méthodologie TOPSIS.

- **Étape 1** : Définition des critères et des alternatives sélectionnés ;
- **Étape 2** : Construire la Matrice de Décision $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_{ij}]_{m \times n}$, où m est le nombre d'alternatives et n est le nombre de critères.
- **Étape 3** : Normaliser les performances
- **Étape 4** : Calculer le produit des performances normalisées par les coefficients d'importance relative des critères
- **Étape 5** : Déterminer les profils : idéal (A^+) et anti-idéal (A^-)
- **Étape 6** : Calculer la distance euclidienne par rapport aux profils A^+ et A^- . Ensuite, calculer un coefficient de mesure du rapprochement au profil idéal :

- Une alternative est dite idéale favorable si elle est la plus loin de la pire alternative et la plus proche de la meilleure alternative.
 - Une alternative est dite idéale défavorable si elle est la plus proche de la pire alternative et la plus loin de la meilleure alternative.
- **Étape 7** : Ranger les actions en fonction des valeurs décroissantes de RC_i^* .

Après avoir trié les valeurs RC_i^* , la valeur maximale correspond à la meilleure solution au problème.

Cette méthode est bien développée dans le chapitre 6.

2.2.1.2. AHP

Le processus hiérarchique analytique (*Analytic Hierarchy Process* : AHP) a été développée par Saaty en 1980, elle est largement appliquée dans des problèmes impliquant des critères multiples, souvent contradictoires (Georgiou et al., 2015) et pour évaluer et soutenir des décisions ayant même des objectifs concurrents (Cay et Uyan, 2013, Cheng et Tao, 2010). Le principe de base de l'AHP pour un problème compliqué consiste à déterminer d'abord les facteurs relatifs et à en assurer la hiérarchie, puis à les comparer entre eux pour s'assurer de leur signification comparative (Ouma et Tateishi, 2014).

Fondements de la méthode

La méthode AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments (dimensions, critères, indicateurs et alternatives) du problème, à procéder ensuite à des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions. L'objectif de l'AHP est de définir l'alternative optimale et de classer les autres en fonction des critères qui les décrivent. Afin d'appliquer la méthode AHP, quatre étapes doivent être suivies, comme le montre la figure 2.3.

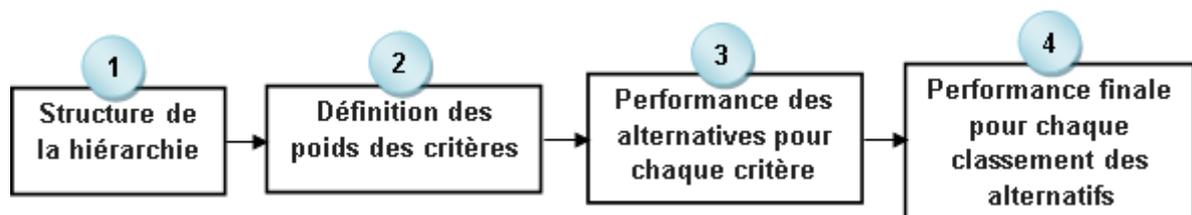


Figure 2.3. Méthodologie AHP

La méthode AHP est bien expliquée dans le chapitre 5 (les étapes de calcul, les formules et un exemple d'application).

- **Étape 1** : Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments.

La première phase implique la structuration du problème de décision dans une structure hiérarchique. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif (critères et indicateurs). Le dernier niveau est celui des alternatives.

- **Étape 2** : Procéder à des comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Dans la deuxième phase, les poids pour chaque critère doivent être obtenus. Une matrice de comparaison en paire (A), ou une matrice de jugement, devrait être compilée. L'entrée dans la rangée i et la colonne j de A (a_{ij}) représente le critère plus important i que j par rapport à l'alternative. Cette étape permet de construire des matrices de comparaisons. L'importance relative des éléments est déterminée par une comparaison par paire et convertie en un ensemble de poids. En utilisant une méthode simple de pondération additive, le classement des alternatives est dérivé. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements effectués par des experts en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaisons binaires). Saaty (1980) a suggéré, pour la quantification des données qualitatives, une échelle d'importance relative, c'est-à-dire que les valeurs utilisées pour une paire donnée varient de 1 (où i et j ont une importance égale) à 9 (où i est absolument plus important que j).

- **Étape 3** : Déterminer l'importance relative des éléments en calculant les vecteurs propres correspondants aux valeurs propres maximales des matrices de comparaisons et vérifier la cohérence des jugements.

- On calcule d'abord, l'indice de cohérence IC.

IC est l'indice de cohérence moyen obtenu en générant aléatoirement des matrices de jugement de même taille, le calcul de l'indice IC et de la valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires (λ_{\max}) est bien expliqué dans le chapitre 5 (section 5.3).

- On calcule le ratio de cohérence (CR) définit par :

CR est une ration entre IC et IR (indice aléatoire). Une valeur de RC inférieure à 10% est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

- **Étape 4** : Établir la performance relative de chaque alternative.

La méthode AHP a fait l'objet de plusieurs extensions telles que la prise en compte de l'incertitude (AHP stochastique) et du flou (AHP flou) dans l'expression des jugements. Processus de réseau analytique (ANP) est une extension de AHP développée par Saaty (2004) qui traite de la dépendance entre les critères et les objectifs dans les problèmes de décision.

2.2.1.3. **MACBETH**

La méthode *Measuring Attractiveness by Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), comme son nom l'indique, est une approche pour mesurer l'attractivité par une technique d'évaluation basée sur des catégories, elle est développée par (e Costa et al. 1994).

Il s'agit d'un processus interactif qui permet, à partir d'un ensemble fini d'éléments, de construire une échelle intervalle permettant de quantifier l'attractivité de ces éléments selon l'opinion d'un évaluateur. Cette méthode s'inscrit dans la famille des systèmes d'aide à la décision du type critère unique de synthèse. Dans la procédure MACBETH, afin d'établir une échelle cardinale de valeur pour l'évaluation d'actions ou la pondération de critères, on fait appel au jugement qualitatif de l'évaluateur. Comme le souligne Bana e Costa et al. (2003), ceci a pour avantage d'éviter les difficultés potentielles qui peuvent subvenir lorsque l'on force l'évaluateur à produire une estimation numérique directe des poids ou de la valeur des actions. L'approche et son logiciel d'application ont été utilisés dans des problèmes décisionnels divers (e Costa et Soares, 2004).

La méthode préconise une procédure structurée en 5 étapes principales (figure 2.4) schématisées comme suit :

- **Étape préliminaire** :
- **Étape 1** : L'acquisition des informations de préférence
- **Étape 2** : La proposition d'une échelle
- **Étape 3** : L'ajustement de l'échelle
- **Étape 4** : La détermination des poids
- **Étape 5** : L'agrégation des performances
- **Analyse de sensibilité**

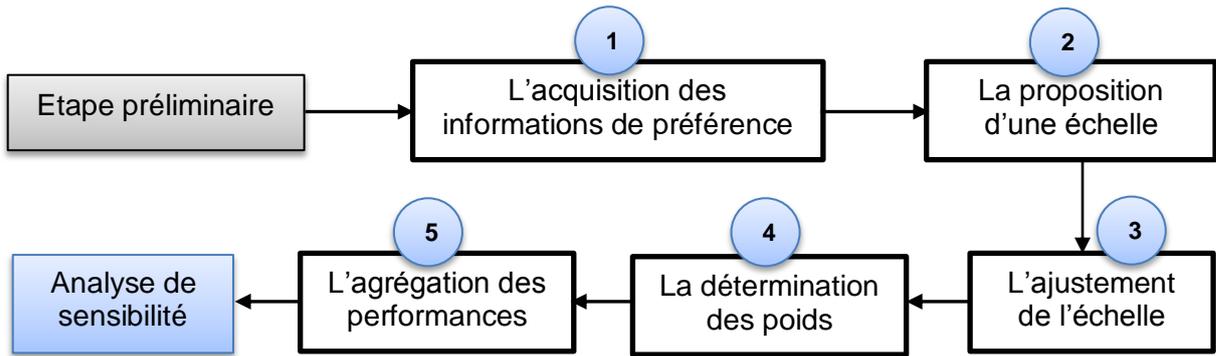


Figure. 2.4. La procédure MACBETH adaptée par (e Costa et al. 1999)

Les experts peuvent revenir sur leurs comparaisons si des contradictions sont détectées ou si les résultats obtenus ne les satisfont pas (e Costa et al. 2003). La méthode MACBETH est en effet une procédure interactive qui consiste à demander au décideur de juger la différence d'attractivité entre deux actions x et y de S (avec x est plus attractive que y) en utilisant les catégories sémantiques suivantes

Tableau 2.3. Exemple de Catégorie de jugement

C ₀	Différence d'attractivité est nulle
C ₁	Différence d'attractivité est très faible
C ₂	Différence d'attractivité est faible
C ₃	Différence d'attractivité est modérée
C ₄	Différence d'attractivité est forte
C ₅	Différence d'attractivité est très forte
C ₆	Différence d'attractivité est extrême

Durant ce processus interactif, une matrice de jugements catégoriques sera construite. Un exemple est montré dans le tableau 2.4

Tableau 2.4. Exemple d'une Matrice des jugements du décideur par rapport au critère

Qualité	A	B	C	D	E	F
A	Nulle	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Très forte
B		Nulle	Faible	Modérée	Extrême	Extrême
C			Nulle	Forte	Très forte	Extrême
D				Nulle	Très forte	Modérée
E					Nulle	Très forte
F						Nulle

La méthode MACBETH associe un score à chacune des actions.

2.2.1.4. ELECTRE

Les méthodes **É**limination **E**t **C**hoix **T**raduisant la **R**éalité (ELECTRE) ont été développées par Roy et al. (1971). Ils ont ainsi initialisés toute une série de méthodes, dites méthodes de surclassement basées sur des comparaisons d'actions deux à deux. La méthode utilise une comparaison par paire pour évaluer la relation de dépassement. En évaluant les alternatives par le biais de relations externes, l'alternative dominée est éliminée et la méthode cherche à trouver une alternative qui est au moins aussi bonne que les autres pour la plupart des critères. Une famille d'ELECTRE : ELECTRE I (Roy et al. 1971), ELECTRE II (Roy et Bertier 1971), ELECTRE III (Roy, 1978), ÉLECTRE Iv (Hugonnard & Roy, 1982), ELECTRE Is (Roy et Skalka, 1984), et ELECTRE TRI (Yu, 1992) a été développée avec le temps. Toutes les versions d'ELECTRE sont basées sur les mêmes concepts fondamentaux mais sont fonctionnellement différentes (Tableau 2.5).

Tableau 2.5. Les versions de la méthode ELECTRE

Versions	Fonctionnement
ELECTRE I et ELECTRE Is	Choisir une ou plusieurs actions
ELECTRE TRI	Déterminer toutes les bonnes actions
ELECTRE II, ELECTRE III et ELECTRE Iv	Classer les actions de la meilleure à la moins bonne

Toutes les versions d'ELECTRE sont basées sur les mêmes concepts fondamentaux :

- Etape 1. Calcul des indices de concordance pour chaque couple d'actions (a_i, a_k)
- Etape 2. Calcul des indices de discordance pour chaque couple d'actions (a_i, a_k)
- Etape 3. Construction des relations de surclassement
- Etape 4. Exploitation des relations de surclassement pour déterminer la décision : Cette étape consiste à déterminer le sous-ensemble d'actions N appelé noyau tel que toute action qui n'est pas dans N est surclassée par au moins une action de N et les actions de N sont incomparables entre elles.

ELECTRE I

Les indices de discordance :

$$D_{ik} = \begin{cases} 0, & \text{si } J^-(a_i, a_k) = \emptyset \\ \frac{1}{\delta_j} \text{Max} \{g_j(a_k) - g_j(a_i)\}, & j \in J^-(a_i, a_k) \end{cases}$$

δ_j est l'amplitude de l'échelle la plus grande associée à l'un des critères j .

Les relations de surclassement :

$$\text{si } (C(a_i, a_k) \geq c) \text{ et } D(a_i, a_k) \leq d \Leftrightarrow a_i S a_k$$

c : seuil de concordance ($0,5 \leq d \leq 1$),

d : seuil de discordance ($0 \leq d \leq 1$), mais relativement petit.

Si l'un ou l'autre des tests ou les deux ne sont pas satisfaits, on se trouve dans une situation d'incomparabilité.

$$\text{si } (C(a_i, a_k) \leq c) \text{ ou } D(a_i, a_k) \geq d \Leftrightarrow a_i R a_k$$

c : est le seuil de concordance : il est relativement grand

ELECTRE II

L'indice de concordance

$$C_{ik} = \frac{P^+(a_i, a_k) + P^-(a_i, a_k)}{P}$$

l'indice de discordance

$$D_{ik} = \begin{cases} g_j(a_k) - g_j(a_i), & \text{si } j \in J^-(a_i, a_k) \\ 0, & \text{si } j \notin J^-(a_i, a_k) \end{cases}$$

Les relations de surclassement :

- On conclut au surclassement fort de a_k par a_i ($a_i S_{Fa} a_k$) si un test de concordance et un test de non discordance sont satisfaits :

$$\left. \begin{array}{l} C_{ik} \geq c^+ \text{ et} \\ g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{ij} \forall j \in F \text{ et} \\ \frac{P^+(a_i, a_k)}{P(a_i, a_k)} \geq 1 \end{array} \right\} \text{et/ou} \left\{ \begin{array}{l} C_{ik} \geq c^0 \text{ et} \\ g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{2(i)} \forall j \in F \text{ et} \\ \frac{P^+(a_i, a_k)}{P(a_i, a_k)} \geq 1 \end{array} \right.$$

où :

$$c^+ \geq c^0 \geq c^-, \\ D_1, D_2 (D_2 \leq D_1) : 2 \text{ seuils de discordance}$$

- On conclut au surclassement faible de a_k par a_i ($a_i S_f a_k$) si les tests de concordance et de non discordance suivants sont satisfaits :

ELECTRE Is

Construire les relations de surclassement

$$\begin{cases} \text{si } (C(a_i, a_k) \geq c) \text{ et } D_j(a_i, a_k) \leq (v_j - D), \forall j & \Leftrightarrow (a_i S a_k) \\ \text{si non} & \Leftrightarrow (a_i R a_k) \end{cases}$$

$$\text{avec } D = q_j * \frac{1 - C(a_i - a_k)}{1 - c}$$

Exploiter les relations de surclassement :

Cette étape consiste à déterminer le noyau du graphe de surclassement

ELECTRE III

L'indice de concordance globale

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot c_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m P_j}$$

C_{ik} : indice de concordance globale,

P_j : poids des critères,

c_j : indice de concordance,

p_j : seuil de préférence stricte,

q_j : seuil d'indifférence.

$$c_j(a_i, a_k) = \frac{g_j(a_i) + p_j - g_j(a_k)}{p_j - q_j} \text{ (Interpolation linéaire)}$$

soit :

$$c_j(a_i, a_k) = 0 \Leftrightarrow p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i)$$

$$0 < c_j(a_i, a_k) < 1 \Leftrightarrow q_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j$$

L'indice de discordance (par critère)

$$d_j(a_i, a_k) = \frac{g_j(a_k) - g_j(a_i) + p_j}{v_j - p_j}$$

soit :

$$d_j(a_i, a_k) = 1 \Leftrightarrow v_j < g_j(a_k) - g_j(a_i)$$

$$0 < d_j(a_i, a_k) < 1 \Leftrightarrow p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j$$

$$d_j(a_i, a_k) = 0 \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) < p_j$$

$$\begin{cases} C_{ik} \geq c^- \\ g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{i(j)} \forall j \in F \\ \frac{P^+(a_i, a_k)}{P^-(a_i, a_k)} \geq 1 \end{cases}$$

où :

$$c^+ \geq c^0 \geq c^-, \\ D_1, D_2 (D_2 \leq D_1) : 2 \text{ seuils de discordance}$$

ELECTRE IV

Les relations de surclassement de toute paire d'actions

- Quasi-dominance :

$$a_i S_q a_k \Leftrightarrow \begin{cases} m_p(a_k, a_i) + m_q(a_k, a_i) = 0 \text{ et} \\ m_{in}(a_k, a_i) \leq 1 + m_{in}(a_i, a_k) + m_q(a_i, a_k) + m_p(a_i, a_k) \end{cases}$$

- Dominance canonique :

$$a_i S_c a_k \Leftrightarrow \begin{cases} m_p(a_k, a_i) = 0 \text{ et } m_q(a_k, a_i) \leq m_p(a_i, a_k) \text{ et} \\ m_q(a_k, a_i) + m_{in}(a_k, a_i) \leq 1 + m_{in}(a_i, a_k) + m_q(a_i, a_k) + m_p(a_i, a_k) \end{cases}$$

- Pseudo-dominance :

$$a_i S_p a_k \Leftrightarrow \begin{cases} m_p(a_k, a_i) = 0 \text{ et} \\ m_q(a_k, a_i) \leq m_q(a_i, a_k) + m_p(a_i, a_k) \end{cases}$$

- Veto-dominance :

$$a_i S_v a_k \Leftrightarrow \begin{cases} \text{soit } m_p(a_k, a_i) = 0 \\ \text{soit } m_q(a_k, a_i) = 1, \text{ et non } a_k P_v a_j, \forall j \text{ et} \\ m_p(a_i, a_k) \geq \frac{m}{2} \end{cases}$$

Exploitation des relations de surclassement : L'étape 2 nous permet de construire un graphe avec des arcs de surclassement fort et des arcs de surclassement faible. Il ne reste plus qu'à chercher deux classements antagonistes, ce qui s'appelle la distillation comme dans Electre III.

Les degrés de crédibilité des surclassements

$$\delta_{ik} = \begin{cases} C_{ik} \text{ si } d_j(a_i, a_k) \leq C_{ik} \\ C_{ik} \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a_i, a_k)}{1 - C_{ik}} \text{ si non} \end{cases}$$

où :

$$\bar{F} = \{j | j \in F, d_j(a_i, a_k) > C_{ik}\} \text{ et } F \supset \bar{F}$$

ELECTRE TRI

Les propriétés des critères d'ELECTRE TRI comprennent les poids W_k , un seuil de préférence P_k , un seuil d'indifférence S_k , et un seuil de veto Q_k .

Cette procédure d'exploitation portant sur la problématique de tri, mobilise un système de préférences qui n'a pas pour objectif de comparer les actions entre elles, mais à les comparer indépendamment les unes des autres à des actions de référence A_i^* ($i=1, 2, \dots, n^*-1$) [Lourenço et al 2004]. Les A_i^* sont des actions limites qui marquent les frontières successives qui séparent les catégories G_1, G_2, \dots, G_k auxquelles on veut affecter les actions qui constituent une famille complètement ordonnée. Chaque alternative de référence A_i^* est définie par son vecteur des jugements $U^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*\}$. Ce vecteur est appelé profil de référence ou profil limite (Mousseau et al 2000).

2.2.1.5. PROMETHEE

La méthode d'organisation pour l'évaluation de l'enrichissement (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations* : PROMETHEE) est une méthode de dépassement de valeur, a d'abord été développée par Brans (1982) et étendue par Brans et Vincke (1985) qui a ses racines dans ELECTRE. L'indice de dépassement est déterminé par la préférence positive (c'est-à-dire la force de la variante) et négative (c'est-à-dire la faiblesse de la variante) pour chaque alternative. Les résultats sont présentés sous forme graphique. Il existe différentes versions de PROMETHEE (tableau 2.6): PROMETHEE I (classement partiel, Brans, 1982), PROMETHEE II (classement complet, Brans, 1982), PROMETHEE III (classement par intervalles, Brans & Vincke, 1985), PROMETHEE IV (cas continu; Brans et Vincke, 1985), PROMETHEE GAIA (analyse géométrique pour l'assistance interactive, Mareschal & Brans, 1988), PROMETHEE V (MCDM avec contraintes de segmentation, Brans & Mareschal, 1992) et PROMETHEE VI (représentation du cerveau humain, Brans & Mareschal 1995).

Tableau 2.6. Les versions de la méthode PROMETHEE

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

Source : Ayabi (2010)

PROMETHEE est une méthode de sur-classement pour un ensemble fini d'actions alternatives à classer et à sélectionner parmi des critères contradictoires. Elle est basée sur la comparaison des alternatives considérant les écarts que les alternatives montrent selon chaque critère. PROMETHEE a utilisé des flux de préférences positives et négatives pour chaque alternative afin de générer un classement par rapport aux poids de décision. PROMETHEE permet le fonctionnement direct sur les variables incluses dans la matrice de décision, sans nécessiter de normalisation et applicable même en cas d'information manquante.

Fondements de la méthode

PROMETHEE est appliqué en cinq étapes, comme le montre la figure 2.5.

- **Etape 1.** La préférence des décideurs entre deux actions est présentée par une fonction de préférence de manière indépendante.
- **Etape 2.** Les alternatives proposées sont comparées entre elles par rapport à la fonction de préférence,
- **Etape 3.** Les résultats des comparaisons et la valeur du critère de chaque alternative sont illustrés dans une matrice.
- **Etape 4.** L'approche de PROMETHEE I est utilisée afin de trier le classement partiel, et finalement,
- **Etape 5.** la cinquième action contient le processus PROMETHEE II afin de terminer les classements alternatifs.

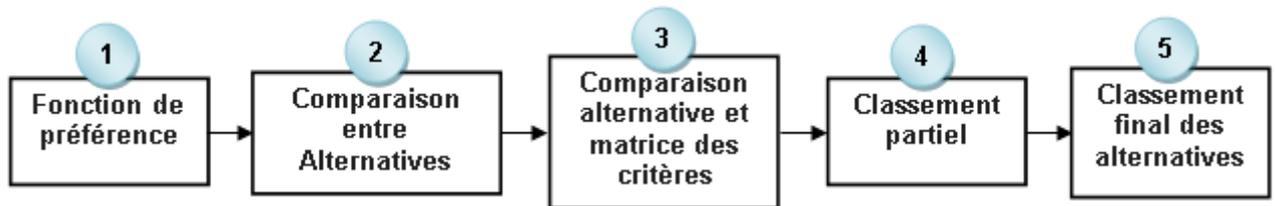


Figure 2.5. Méthodologie PROMETHEE.

Les méthodes PROMETHEE se basent sur une extension de la notion de critère par l'introduction d'une fonction exprimant la préférence du décideur pour une action a_i par rapport à une autre action a_k . Pour chaque critère, le décideur est appelé à choisir une des six formes de courbes représentées ci-dessous. Les paramètres relatifs à chaque courbe représentent des seuils d'indifférence et/ou de préférence (figure 2.6).

- Type 1 : Vrai-critère
- Type 2 : Quasi-critère
- Type 3 : Pré-critère
- Type 4 : Pseudo-critère 1
- Type 5 : Pseudo-critère 2
- Type 6 : Critère gaussien 1

<p>1^{ère} forme : Vrai-critère</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Préférence stricte immédiate. • Pas de paramètres à déterminer. $F_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) > g_j(b) \\ 0 & \text{si } g_j(a) \leq g_j(b) \end{cases}$
<p>2^{ème} forme : Quasi-critère</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe un seuil d'indifférence (quasi-critère) qui doit être fixé. $F_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) > q_j \\ 0 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) \leq q_j \end{cases}$
<p>3^{ème} forme : Pré-critère</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La préférence croît jusqu'à un seuil de préférence qui doit être fixé. $F_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) > p_j \\ \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p_j} & \text{si } 0 < g_j(a) - g_j(b) \leq p_j \\ 0 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) \leq 0 \end{cases}$
<p>4^{ème} forme : Pseudo-critère 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe un seuil d'indifférence et un seuil de préférence à fixer (pseudo-critère); entre les deux, la préférence est moyenne. $F_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) > p_j \\ 1/2 & \text{si } q_j < g_j(a) - g_j(b) \leq p_j \\ 0 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) \leq q_j \end{cases}$
<p>5^{ème} forme : Pseudo-critère 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe un seuil d'indifférence et un seuil de préférence à fixer; entre les deux la préférence est croissante. $F_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) > p_j \\ \frac{g_j(a) - g_j(b) - q_j}{p_j - q_j} & \text{si } q_j < g_j(a) - g_j(b) \leq p_j \\ 0 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) \leq q_j \end{cases}$
<p>6^{ème} forme : Critère gaussien</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La préférence croît suivant une loi gaussienne dont il faut fixer l'écart type. $F_j(a,b) = 1 - \exp\left(-\frac{g_j(a) - g_j(b)}{-2\sigma^2}\right)$ <p>(avec σ = écart-type)</p>

Figure 2.6. Types de critères et fonctions de préférence pour PROMETHEE (Source : Brans et Vincke 1989)

Les Méthodes PROMETHEE I et II se présentent comme suit :

- Étape 1 : On fixe pour chaque critère, une des six formes de courbes proposées dans PROMETHEE ainsi que les paramètres qui lui sont associés.
- Étape 2 : Pour chaque couple d'actions (a_i, a_k); on calcule la préférence globale (degré de surclassement) de la manière suivante :

$$P(a_i, a_k) = \sum_{j=1}^n \pi_j F_j(a_i, a_k)$$

- Étape 3 : Calculer les flux entrant et sortant pour chaque action a_i .

$$\Phi^+(a_i) = \sum_{a_k \in A; a_k \neq a_i} P(a_i, a_k); \text{ flux positif qui exprime la force de } a_i; \text{ flux sortant}$$

$$\Phi^-(a_i) = \sum_{a_k \in A; a_k \neq a_i} P(a_k, a_i); \text{ flux négatif qui exprime la faiblesse de } a_i; \text{ flux entrant}$$

- Étape 4 : Déterminer les 2 pré-ordres totaux et procéder au rangement des actions
- ✓ Le premier pré-ordre total consiste à ranger les actions dans l'ordre décroissant des Φ^+ .
- ✓ Le second pré-ordre total consiste à ranger les actions dans l'ordre croissant des Φ^- .
- ✓ L'intersection des 2 pré-ordres totaux fournit le pré-ordre partiel de la méthode PROMETHEE I.
- ✓ PROMETHEE II consiste à ranger les actions selon l'ordre décroissant des scores $\Phi(a_i)$ définis comme suit :

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i)$$

Ainsi, PROMETHEE II fournit un pré-ordre total.

Il existe d'autres méthodes qui sont appliquées rarement dans l'évaluation de la gestion de l'eau, comme : L'approche de la théorie de l'utilité des attributs multiples (*Multi-Attribute Utility Theory* : MAUT), la théorie de la valeur des attributs multiples (*Multiple Attribute Value Theory* : MAVT) et la technique simple d'évaluation multi-attributs (*Simple Multi-Attribute Rating Technique* : SMART). La complexité de ces trois approches est l'affectation d'une fonction d'utilité et de valeur appropriée (Mingshen Wang, 1998).

Tableau 2.7. Points forts et points faibles des MCDM

Méthodes	Points forts	Points faibles	Logiciels
TOPSIS	<ul style="list-style-type: none"> • Facile à appliquer ; • Sensible à la volonté du décideur : • Prise en compte des solutions idéales positives et négatives; • Mise en place d'un cadre analytique bien structuré pour le classement des alternatives 	<ul style="list-style-type: none"> • Les critères doivent être de nature cardinale ; • Les préférences sont fixées a priori ; • Si toutes les actions sont mauvaises, la méthode propose la meilleure action parmi les mauvaises ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Micro Soft Excel
AHP	<ul style="list-style-type: none"> • La modélisation du problème de décision par une structure hiérarchique et l'utilisation d'une échelle sémantique pour exprimer les préférences du décideur • Applicable pour des problèmes simples ou multiples, car il incorpore à la fois qualitatif et quantitatif critères. • Calcul du rapport de cohérence pour assurer la prise de décision par les décideurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un grand nombre d'éléments dans le problème de décision fait exploser le nombre de comparaisons par paires. • Le problème de renversement de rang (deux actions peuvent voir leur ordre de priorité s'inverser suite à une modification (ajout ou suppression d'une ou de plusieurs actions) de l'ensemble des actions. • La perte d'information peut survenir en raison de la potentielle compensation entre bons scores sur certains critères et mauvais scores sur d'autres critères 	<ul style="list-style-type: none"> • Criterium Decision Plus 3.0 http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-00/cdpmain.html • aliah Think http://www.decisioncoaches.com (version démo gratuite) • Expert Choice http://www.expertchoice.com/download/Default.htm (version démo gratuite)
MACBETH	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode interactive. • L'outil associé permet de réaliser une étude de sensibilité. 	L'outil MACBETH n'est pas disponible en open Access (c'est un logiciel payant)	<ul style="list-style-type: none"> M-MACBETH http://www.m-macbeth.com/fr/index.html
ELECTRE	Electre I: Applicable même en cas d'informations manquantes, Applicable même quand il y a	ELECTRE utilise une méthode indirecte qui classe les alternatives au moyen de la comparaison par paire, et en raison de la complexité procédure de calcul, il prend du	<ul style="list-style-type: none"> • Electre III (version démo gratuite) http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#el2s

	<p>incomparable alternatives, Applicable à la fois quantitatif et qualitatif les attributs.</p> <p>La méthode Electre Iv a aussi l'avantage de traiter des pseudo-critères ce qui traduit mieux la réalité.</p> <p>La méthode Electre Iv est facile à exploiter, toutefois, elle exige un grand nombre de paramètres techniques.</p> <p>La méthode Electre II demeure parmi les plus connues et les plus utilisées des méthodes Electre.</p>	<p>temps sans en utilisant un logiciel spécifique (Chan et Huang, 2002).</p> <p>Electre II est une méthode partiellement compensatoire.</p> <p>Electre III a été jugée trop complexe et parfois difficile à interpréter.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Electre Iv (version démo gratuite) http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#e12s • Electre Tri (version démo gratuite), Electre Is http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#e12s
<p>PROMETHEE</p>	<p>Les méthodes PROMETHEE sont faciles et compréhensibles par l'utilisateur</p>	<p>Toutes les versions prennent du temps sans utiliser de logiciel spécifique et deviennent difficiles pour le décideur d'obtenir une vision claire du problème en utilisant de nombreux critères (Macharis et al., 2004).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Decision Lab 2000 http://www.visualdecision.com/download.htm (version démo gratuite)

2.2.3. Méthodes d'enquête documentaire

La recherche de publications pertinentes a été effectuée à l'aide de plusieurs moteurs de recherche scientifiques sur le Web (annexe A1). La majorité des articles sont recueillis à partir de la base de données *Science Direct*. La recherche initiale comprenait des requêtes utilisant une combinaison de mots-clés MCDM / gestion de l'eau. Les résultats ont été affinés en fonction des domaines de l'eau fournis par *Science Direct*, notamment la gestion des ressources en eau, irrigation, gestions des pertes en eau, durabilité des services d'eau potable et d'assainissement, qualité de l'eau, etc.

La recherche s'est limitée à des articles publiés dans des revues à comité de lecture entre 2000 et 2017. Ensuite, une recherche manuelle sur le moteur de recherche Google a également été effectuée pour compléter la recherche automatisée. La procédure manuelle impliquait la recherche dans les sections de référence des documents identifiés par la recherche automatique en suivant toutes les références pertinentes dans ces documents.

2.3. Résultats et discussions

Le principale objectif de cette recherche bibliographique est de mener un examen de l'état de l'application des méthodes de MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau au cours de 18 dernières années (2000 – 2017) pour identifier les tendances et les approches pour faciliter le choix de la meilleure méthode applicable pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) en Algérie.

2.3.1. Croissance des articles appliquant les MCDM dans la gestion de l'eau

Le nombre total d'articles ayant utilisé l'une des méthodes du MCDM ne cessent de croître entre les années 2000 à 2017. La fréquence de la répartition par année de publication est présentée à la figure 2.7. Cette figure montre une augmentation relativement lente mais régulière au cours des dernières années. Le nombre d'articles publiés en appliquant l'une ou plusieurs méthodes MCDM a considérablement augmenté depuis 2007.

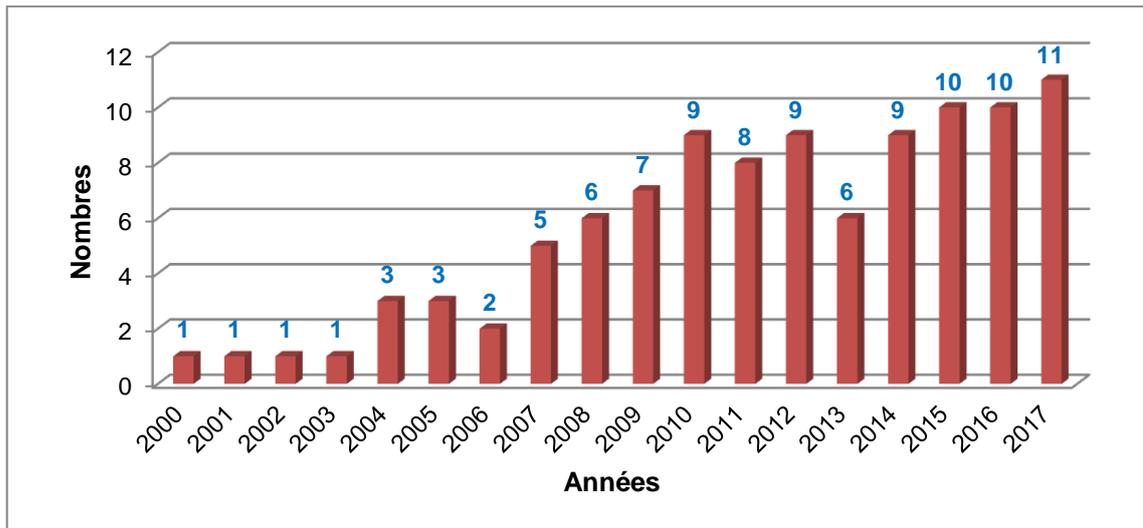


Figure 2.7. Croissance des articles appliquant les MCDM dans la gestion de l'eau (2000-2017).

2.3.2. Les Méthodes de MCDM appliquées dans la gestion de l'eau

Les 102 articles ont été classés ensuite par les différentes méthodes de MCDM appliquées dans la gestion de l'eau (figure 2.8). Les méthodes les plus couramment appliquées étaient les AHP (44,12%). Les méthodes combinées ont été utilisées plus largement que les autres méthodes MCDM (24,51%). L'approche AHP est également appliquée dans tous les domaines de la gestion de l'eau, et depuis cette méthode est jugée la méthode dominante parmi les méthodes MCDM.

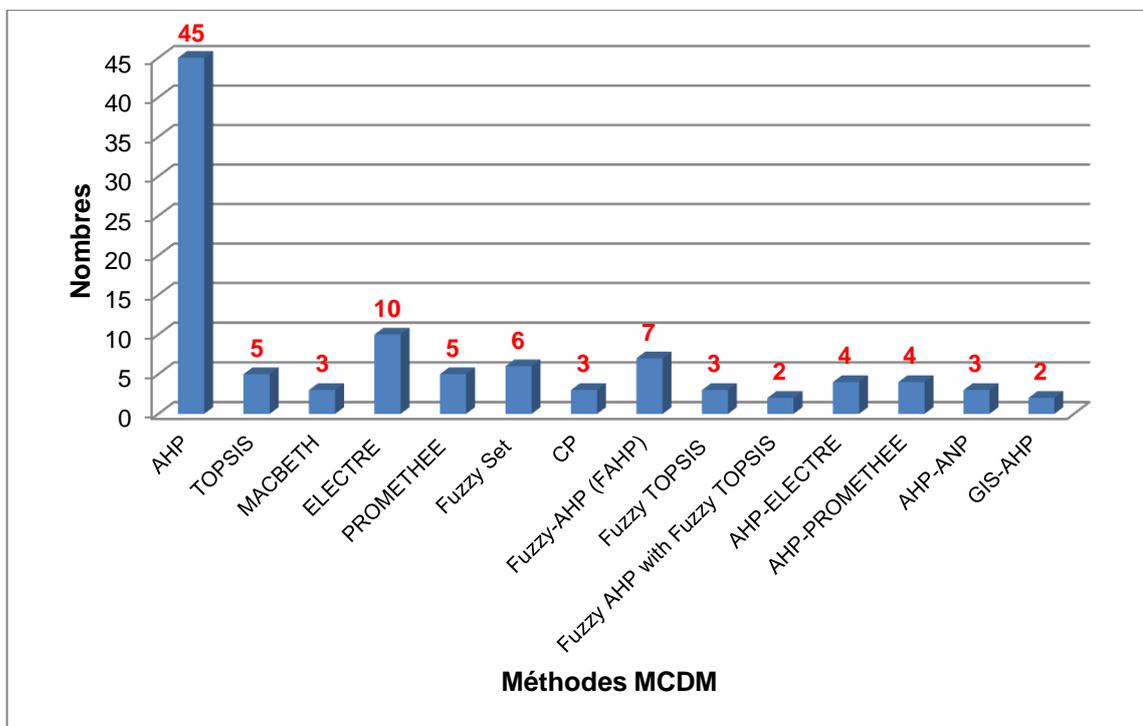


Figure 2.8. Distribution des articles MCDM par méthodes appliquées dans la gestion de l'eau (2000 et 2017).

2.3.3. Domaines d'application des méthodes MCDM

Ensuite, les 102 articles ont été classés par domaines d'application. Le nombre des documents dans les seize domaines d'application est présenté à la figure 2.9.

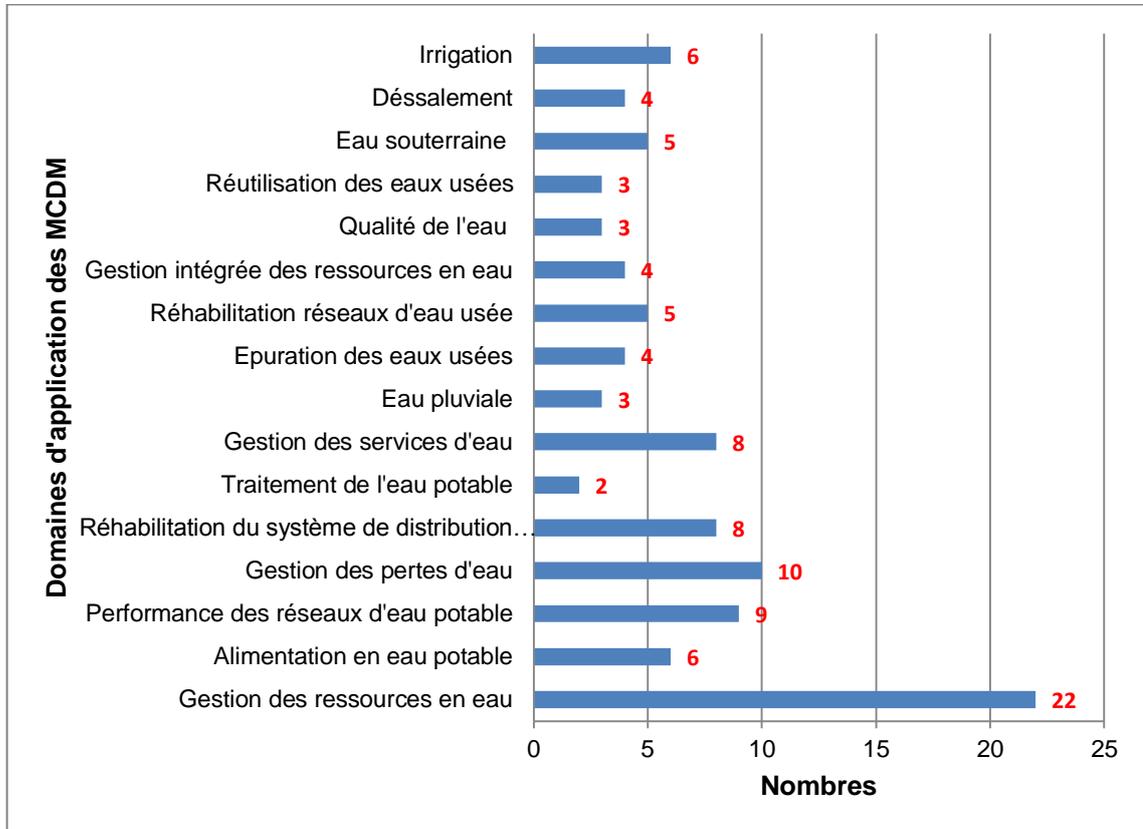


Figure 2.9. Répartition des méthodes MCDM par domaine d'application (2000 et 2017).

La majorité des applications des MCDM sont dans le domaine de la gestion des ressources en eau (21,57%) et la gestion des pertes en eau (9,80%). Par contre, seulement (7,84%) des recherches qui ont appliqué les MCDM dans la gestion des SEPA.

2.3.4. Analyse géographique des articles MCDM appliqués dans la gestion de l'eau

Nous avons également analysé la distribution des articles MCDM par pays. Le résultat de cette analyse est résumé dans la figure 2.10. Au total, les 102 articles examinés sont divisés par 29 pays. La Chine, le Brésil, l'Iran et l'Espagne ont dominé la publication des recherches en appliquant les méthodes MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau avec 11,76%, 10,78%, 9,80% et 8,82% respectivement. Par contre, et pour le cas de l'Algérie, seulement 3 articles sont trouvés (avec un faible taux qui égal à 2,94%).

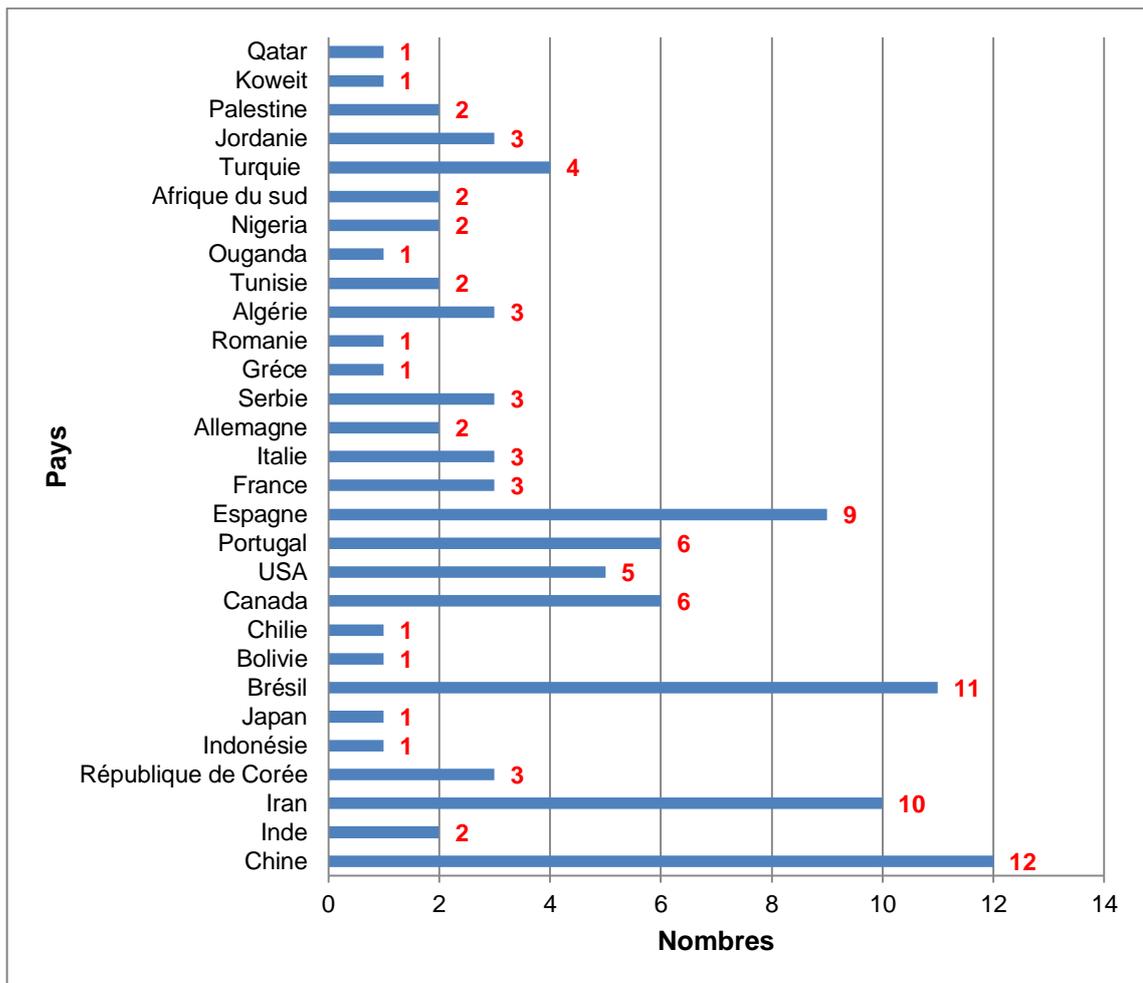


Figure 2.10. Répartition de nombre des articles appliquant les méthodes MCDM par pays (2000 et 2017).

2.3.5. Distribution par revues des articles MCDM appliqués dans la gestion de l'eau

La diffusion de la recherche appliquant les méthodes MCDM est indiquée par le grand nombre et la diversité de revues à comité de lecture. Au fil des ans, les 102 articles ont été publiés dans 52 revues. La liste des revues connues pour avoir publié des articles sur la gestion de l'eau en appliquant les méthodes MCDM donne de la crédibilité à l'application des MCDM dans la gestion de l'eau (figure 2.11). Cette figure montre que la gestion de l'eau constitue une approche importante et pertinente pour une grande variété de domaines. Le Journal Water Resource Management a publié 18 publications (17,65%), suivi du Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA et le Journal Desalination and Water Treatment avec 6 publications (5,88%) pour chaque Journal. Par contre, 38 revues scientifiques ont publié seulement un seul article.

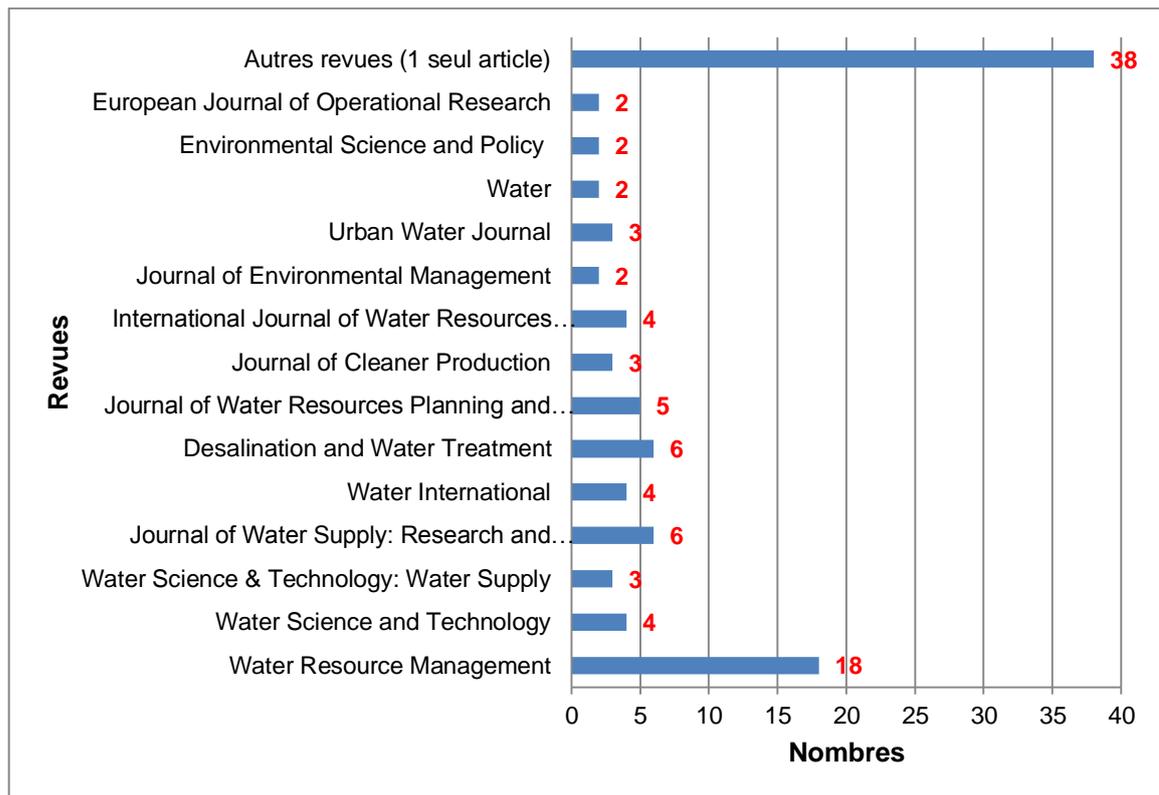


Figure 2.11. Liste des revues ayant publiées sur les méthodes MCDM appliquées dans la gestion de l'eau (2000 et 2017).

2.4. Application des MCDA pour l'évaluation de la gestion des SEPA

Plusieurs chercheurs ont appliqué les méthodes multicritères d'aide à la décision (MCDM) pour l'évaluation de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement :

- **Jaber et Mohsen (2002)** ont proposé un système de soutien pour l'évaluation des décisions et la sélection des ressources en eau non conventionnelles en Jordanie. Ils comprennent le dessalement de l'eau de mer, les eaux usées traitées, et la collecte de l'eau de pluie. En utilisant l'AHP, ils ont constaté que le dessalement de l'eau était la meilleure solution pour combler le manque de la mobilisation d'eau potable pour le cas de la Jordanie.
- **Butler et al. (2003)** ont présenté les principaux résultats de «SWARD» (les décisions sur les ressources en biens durables de l'industrie de l'eau), qui était un projet collaboratif majeur mis en œuvre par une équipe de chercheurs des universités du Royaume-Uni. Son objectif était de fournir un moyen permettant aux fournisseurs de services d'eau d'intégrer plus efficacement les principes de la durabilité dans le processus décisionnel. Dans SWARD, sept phases ont été proposées comme des

alternatives à l'évaluation durable des systèmes de l'eau urbaine, y compris la génération d'options, la sélection des critères et des indicateurs de durabilité, la sélection des options privilégiées et la mise en œuvre des options sélectionnées. Les chercheurs ont suggéré d'appliquer des outils multicritères d'aide à la décision (MCDM) tels que la technique d'évaluation des attributs multiple simple (Smart), le processus hiérarchique analytique (AHP) et l'élimination et le choix expression de la technique de la réalité (ELECTRE) pour sélectionner les options les plus durables.

- **da cruz et Marques (2013)** ont utilisé le modèle MACBETH pour déterminer le niveau de durabilité des services d'eau et d'assainissement (SEPA) au Portugal. Ils montrent qu'il est possible d'évaluer la durabilité et la performance des SEPA dans chaque dimension particulière de la durabilité, en tenant compte des valeurs et des jugements des parties prenantes.
- **Ruiz-Villaverde et al. (2013)** ont utilisé des techniques de processus de hiérarchie analytique (AHP) pour effectuer une analyse de la décision pour transférer la gestion du service d'eau urbain de Grenade (dans le sud de l'Espagne) à un partenariat public-privé. La conclusion principale est que la décision était rationnelle, car c'était la meilleure alternative possible compte tenu de la hiérarchie des préférences. En outre, la confrontation avec les graves difficultés financières rencontrées par le gouvernement local a clairement pris le pas sur d'autres aspects lorsque la décision a été prise.
- **Marques et al. (2015)** ont discuté le concept de services d'eau durables et ils ont suggéré d'utiliser MACBETH comme méthode d'analyse multicritères pour la mesure et l'évaluation de la durabilité des SEPA au Portugal.
- **Hamchaoui et al. (2015)** ont développé un outil méthodologique pour la gestion durable du service d'alimentation en eau potable pour le cas de l'Algérie. Cette recherche accompagne le service de l'eau dans ses enjeux pour améliorer la qualité des services rendus aux clients. La méthodologie consiste en une phase de construction et une phase d'évaluation. La phase de construction consiste à identifier les objectifs et sous-objectifs antérieurs, ainsi que les critères et indicateurs de durabilité qui leur sont associés. La phase d'évaluation consiste à évaluer la performance du service d'eau potable. L'agrégation des indicateurs et des critères est effectuée par la méthode du processus hiérarchique analytique (AHP). L'application est effectuée pour le cas du service d'eau potable de la ville de Bejaia (Algérie).

2.5. Conclusion

Dans son ensemble, ce chapitre a présenté un examen approfondi de la littérature sur les applications des méthodes MCDM dans la gestion de l'eau consistant en 102 articles scientifiques dans seize domaines d'application dans 29 pays. A cet effet, un schéma de classification a été développé pour organiser chaque article en plusieurs catégories (années, méthode appliquée, domaine d'application, pays et les différentes revues). L'application des méthodes MCDM dans le domaine de la gestion de l'eau montrent une augmentation significative du nombre d'articles publiés.

Les études menées sur l'application des méthodes MCDM dans le cadre de la gestion de l'eau examinées dans ce chapitre fournissent des informations sur la raison pour laquelle la MCDM est adoptée. Ce chapitre explore brièvement certaines des principales raisons pour lesquelles les chercheurs ont adopté le MCDM par rapport à d'autres méthodes d'évaluation. Dans de nombreuses études, la MCDM s'est révélée assurer la transparence et la responsabilité à l'égard des procédures de décision qui pourraient avoir des motifs et des justifications peu clairs (Joubert et al., 1997 ; Brown et al., 2001). La transparence dans le MCDM est obtenue en pondérant explicitement les critères de décision. Les raisons du choix sont explicites et les décisions peuvent facilement être vérifiées (Hajkowicz et Collins, 2007).

Les applications des MCDM dans la gestion des ressources en eau ou de la gestion des pertes en eau sont les plus dominantes, ce qui est naturel en raison de la nature interdisciplinaire des problèmes de gestion de l'eau. L'analyse décisionnelle utilisant les méthodes MCDM permet aux utilisateurs de résoudre des problèmes complexes d'une manière techniquement valide et pratique. Les MCDM visualisent les compromis entre plusieurs critères contradictoires nécessaires à la comparaison des solutions de réduction et de remédiation disponibles. Ce processus aide la décision à appliquer systématiquement des jugements des experts afin de trouver une alternative de gestion la plus favorable possible.

Cependant, malgré le fait que MCDM a été largement appliquée dans le domaine de la gestion de l'eau, Lundie, et Ashbolt (2008) ont abordé certaines lacunes génériques des méthodes MCDM comme la préférence pour les critères est supposée être indépendante les uns des autres. Malgré certaines limitations, MCDM offre des avantages démontrables et le choix parmi les méthodes MCDM est une tâche complexe. Chaque méthode a ses forces et faiblesses. Pour choisir une approche MCDM particulière, il est important de considérer la complexité de la décision en termes de facteurs scientifiques, techniques et politiques, ainsi

que de comprendre les besoins du processus, la disponibilité d'informations et de connaissances des vrais problèmes (Huang et al., 2011).

Cependant, nous avons fait de notre mieux pour fournir cet état des examens des demandes, il y a plusieurs mises en garde qui devraient être prises en compte lors de l'interprétation des résultats présentés dans ce document. Par contre, il existe d'autres domaines dans la gestion de l'eau qui ne sont pas pris en compte dans cette étude (par exemple, les barrages, l'hydraulique maritime, ...). Aussi, *Science Direct* ne couvre que partiellement certaines des revues, donc, il y a d'autres articles publiés dans d'autres bases qui ne sont pas pris en compte dans notre analyse. Ainsi que, tous les articles sélectionnés pour l'examen étaient concentrés dans des revues anglaises; par conséquent, les journaux dans les autres langues n'étaient pas concernés. Cela signifie que l'examen n'est pas exhaustif, mais il fournit un examen qui comprend la majorité des articles qui ont été publiés par des revues scientifiques. Par conséquent, ce chapitre serait en mesure de fournir des informations utiles sur l'anatomie des méthodes MCDM, et de proposer une feuille de route pour les futures tentatives pour les chercheurs universitaires et les praticiens.

Chapitre 3.

Services d'eau potable et d'assainissement en Algérie

Chapitre 3.

Services d'eau potable et d'assainissement en Algérie

Ce chapitre sur les services d'eau potable et d'assainissement, recense les principaux problèmes auxquels les gouvernants et les planificateurs sont confrontés. Il analyse les grandes composantes et orientations d'une stratégie énoncées par les pouvoirs publics pour le secteur de l'eau, et examine le schéma général des dépenses publiques, et analyse les données des deux services d'eau potable et d'assainissement.

3.1. La politique de l'eau en Algérie

Plusieurs chercheurs ont contribué à l'analyse de la problématique de l'eau en Algérie. Ils se sont posés une multitude de questions fondamentales liées : à la ressource eau (Rémini, 2017), aux besoins (Hamchaoui, 2017) et à la gestion des services d'eau potable et d'assainissement (Boukhari et al., 2017). L'objectif de ce chapitre est d'identifier les lacunes et les solutions adéquates aux difficultés rencontrées dans la gestion de l'offre de service d'eau. Plusieurs facteurs ont été abordés: la situation hydrique en Algérie, le financement du secteur de l'eau, et la gestion actuelle des SEPA. Ce dernier fait face à des contraintes majeures qui rendent difficile la gestion des SEPA.

Le secteur de l'eau en Algérie et depuis l'indépendance, a subi de profonds bouleversements qui peuvent être résumés en trois étapes :

- Une étape d'inventaire et de connaissance des ressources en eau allant de l'indépendance aux années 80 ;
- Une étape de recherche de modèle institutionnel marqué par la création du premier Secrétariat d'État en 1974 et des Directions Hydrauliques de Wilaya ;

- Une étape de stabilisation de l'organisation à partir des années 2000. A noter la promulgation de la loi sur l'eau en 2005. Cette étape est caractérisée par la mise en place d'un programme intensif de mobilisation des ressources en eau.

Cet aboutissement, a été le fruit des réflexions sur une nouvelle politique de l'eau engagée dans le cadre des assises nationales de l'eau en 1995, qui ont retenu les principes suivants :

- L'unicité de la ressource : l'eau devant être gérée à une échelle hydrographique ;
- La concertation : implication de l'ensemble des usagers dans la prise de décision ;
- L'économie : la réhabilitation permanente de la ressource ;
- L'écologie : gestion durable des ressources en eau ;
- L'universalité : l'eau est l'affaire de tous.

3.1.1. La législation algérienne sur l'eau

Avec le temps, la législation algérienne dans le secteur de l'eau a connu plusieurs changements, mais les lois qui ont changé le code de l'eau en Algérie sont:

- Lois n° 83-17 du 16 Juillet **1983** portant code des eaux
- Ordonnance n°96-13 du 28 Moharram 1417 correspondant au 15 juin **1996** modifiant et complétant la loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.
- Loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août **2005** relative à l'eau.

Dans le cadre des réformes, de renforcement des institutions de l'eau et dans le souci de l'amélioration de la situation hydraulique du pays, la nouvelle loi sur l'eau n° 05-12 du 04 août 2005 a pour but de: (a) définir les objectifs de la politique nationale de l'eau, (b) encourager l'utilisation optimale de l'eau, (c) fixer un cadre pour la gestion intégrée des ressources en eau du pays afin de garantir une quantité suffisante et une qualité satisfaisante, et (d) appliquer une nouvelle tarification pour l'eau potable et l'assainissement.

À travers la lecture de cette loi, nous avons essayé d'identifier les nouveaux principes de la nouvelle politique nationale de l'eau :

- Le droit à l'eau, consacré par l'article 03 ;
- De l'économie de l'eau, consacrée par l'article 03
- De la gouvernance, énoncée par l'article 04
- De la concession et de la participation : de l'article 77 à l'article 90
- L'eau et l'assainissement comme des services publics, consacré par l'article 100

3.1.2. La gouvernance de l'eau en Algérie

Dans le but de moderniser les instruments d'intervention et de gestion, le secteur des Ressources en eau a mis en œuvre une réforme juridique et institutionnelle répondant à une triple exigence:

- La durabilité de la gestion des ressources en eau ;
- La planification des aménagements hydrauliques et la gestion concertée de l'eau à l'échelle des bassins hydrographiques ;
- L'efficacité de la gestion des services publics de l'eau et de l'assainissement.

3.2. Les Ressources en eau en Algérie

Selon divers rapports préparés par des experts et des organismes spécialisés dans le domaine des ressources en eau, l'exposition de nombreux pays et régions au niveau mondial à une grave crise de l'eau, parmi ces pays l'Algérie, qui est classé selon un rapport de la banque mondiale parmi les 17 pays africains qui souffrent de la pauvreté de l'eau à horizon 2025 (>400 m³ par habitant et par an). La figure 3.1, nous renseigne sur l'évolution de la part d'eau par habitant de 1962 aux prévisions 2020.

Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998, elle ne sera plus que de 430 m³ en 2020 (Nichane et Khelil, 2014). C'est un pays semi-aride, voire même Aride (200 à 400 mm) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière. Le potentiel hydrique Algérien est estimé à environ 18 milliards de m³/an (PNUD, 2009). La répartition spatiale de ces ressources dépend des caractéristiques géographiques du pays. Sa superficie de 2,4 millions de km² se compose d'une diversité géographique et climatique : du nord composé de régions côtières vers les régions des hauts plateaux semi-arides, en allant vers le sud et son vaste ensemble saharien au climat aride. Il en résulte une répartition spatiale des ressources en eau estimée à 12 Milliards de m³ dans les régions Nord et 5,2 Milliards de m³ dans les régions sahariennes.

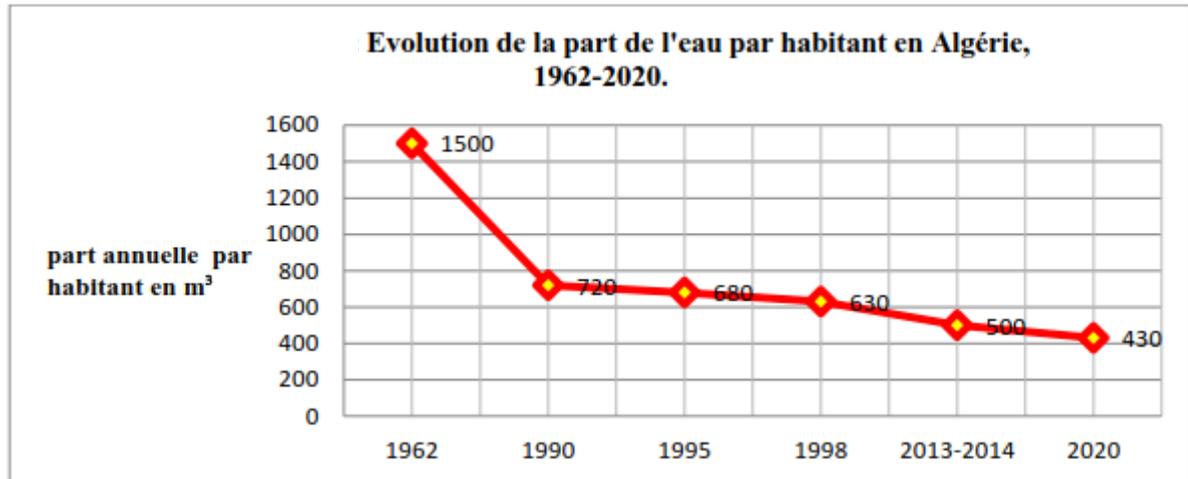


Figure 3.1. Evolution de la part de l'eau par habitant en Algérie, 1962 - 2020

Source : séminaire international, enjeux et perspectives de la gestion de l'eau potable en milieu rural, état des lieux des secteurs de l'eau potable en Afrique du nord, Sénégal, 3-7 nov. 2008.

Le graphique ci-dessus illustre la baisse continue de la part annuelle de l'eau par habitant en Algérie. À l'horizon 2020 si l'Algérie ne rattrape pas ce retard elle descendra en dessous des normes définies par la banque mondiale pour exprimer la pauvreté en eau.

3.2.1. Les Ressources en eau disponibles en Algérie

La ressource en eau en Algérie est rare (Boudjadja, 2003; Boukhari et al., 2008 ; Remini 2010). Sa capacité est limitée (Benblidia et Thivet, 2010). Sa répartition sur l'échelle nationale est inéquitable (Benblidia et Thivet, 2010) dans le temps et dans l'espace. Cette situation a invoqué un déséquilibre entre l'offre et la demande. Ce manque dans l'offre est dû principalement aux problèmes de manque dans la mobilisation de l'eau et les pertes en eau qui sont de l'ordre de 50% en moyenne (Benblidia, 2011 ; Kertous, 2012; Abdelbaki et al., 2012). Il exige une croissance proportionnelle de l'offre dont l'Algérie doit investir dans des aménagements de plus en plus coûteux, tel que le dessalement de l'eau de mer.

Les ressources en eau sont estimées en Algérie à environ 17,2 milliards de m³, 12 milliards de m³ le volume des ressources en eau de surface dans le nord et 5,2 milliards de m³ représentant des ressources en eau dans les zones désertiques (0,2 milliards de m³ superficielles et 5 milliards de m³ d'eau souterraine) (PNE, 2011). Les ressources en eau renouvelables représentent en Algérie 75% du total. Le sud algérien dort sur un trésor en ressources en eau souterraine très impressionnant. La capacité est estimée à près de 60.000 milliards de m³, répartie sur deux bassins. Le premier est une nappe d'une profondeur estimée entre 100-400m située dans le désert inférieur. Le deuxième est une nappe dont la profondeur se situe entre

1000-1500 m de profondeur, la capacité est de 30.000 à 40.000 km³ (Maliki, 2010), 60 à 70% est situé en Algérie et 40 à 30% en Libye (UN, 2009).

3.2.2. La mobilisation des ressources en eau :

- ◆ L'Algérie dispose de 72 barrages d'une capacité globale de 7.4 milliards de m³.
- ◆ 3 grands transferts, qui ont permis de mobiliser en 2009 un volume régularisé total de 940 Millions de m³/an.
- ◆ La réalisation de 13 stations de dessalement d'eau de mer de capacités variables qui produiront à terme, 2,26 millions de m³/jour.

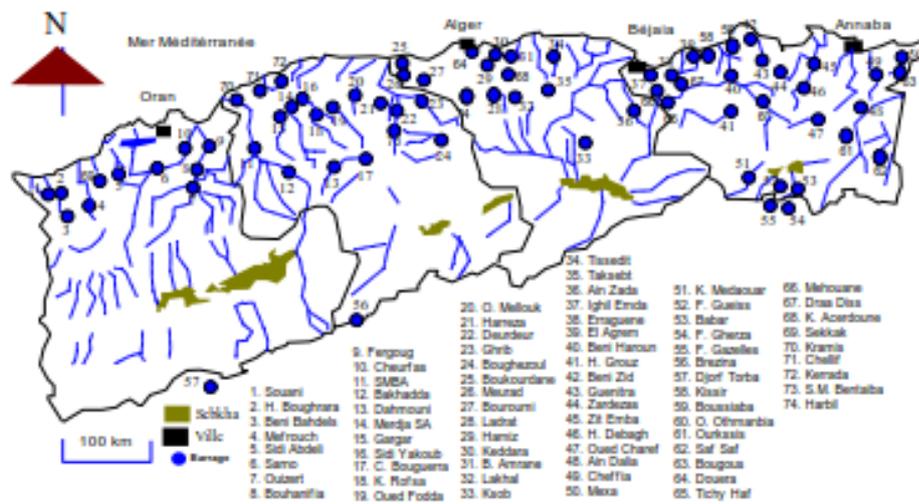


Figure 3.2. Localisation des barrages en Algérie (2014)

Source : Remini, 2017

3.3. Problématiques

L'Algérie est confrontée à de graves difficultés pour gérer le secteur de l'eau. Trois défis se détachent en particulier :

- ◆ **Une pénurie d'eau.** Presque toutes les régions du pays ont beaucoup de mal à satisfaire leurs besoins à partir des ressources locales.
- ◆ **Des services d'eau potable et d'assainissement peu performants.** Les opérateurs des SEPA sont loin de satisfaire l'offre de service pour leurs abonnés. Si l'accès à l'eau est relativement bon, la qualité du service a été beaucoup critiquée par les citoyens.
- ◆ **Des problèmes de gouvernance.** Dans le secteur de l'eau, les décideurs s'intéressent avant tout aux systèmes physiques, et pas assez à la gestion et au renforcement des

institutions. La planification des infrastructures et le portefeuille d'investissements sont donc considérés sous un angle purement technique. Les problèmes institutionnels, notamment le peu de contrôle et de transparence et la faible participation des usagers, ne sont pas résolus. Le secteur souffre ainsi du plus grave problème qui est le manque de coordination entre les institutions concernées à tous les niveaux.

Depuis l'année 2000, l'Algérie tente de rattraper le retard enregistré dans le secteur de l'eau en intensifiant l'investissement en eau. Une stratégie à long terme est adoptée clairement annoncée dans les différents programmes quinquennaux (1999-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2019). L'objectif s'articule autour de l'amélioration en fourniture des ressources en eau en se basant sur l'utilisation rationnelle des ressources en eau, la construction de barrages, des usines de dessalement et des stations d'épuration des eaux usées et la réalisation des grands transferts d'eau potable. L'Algérie s'est lancée dans un grand chantier de ressources en eau afin de garantir un développement durable et essayer de réduire la dépendance en matière de sécurité alimentaire.

A cet effet, l'examen des dépenses publiques dans le secteur de l'eau doit prendre en compte trois circonstances particulières :

- **L'eau est une ressource naturelle partagée par différentes communautés.** Cet état de fait entraîne des conflits entre usagers de l'amont et usagers de l'aval, entre les riches et les pauvres, et entre la génération actuelle et les générations futures concernant le partage intergénérationnel des ressources hydriques. Mais dans un pays dépourvu de cadre juridique rigoureux et où les institutions réglementaires ne fonctionnent pas correctement, ils risquent de se résumer aux droits de fait, souvent au détriment des droits traditionnels des communautés.
- **Les dépenses publiques dans le secteur de l'eau** sont souvent illustrées par **les investissements de l'État** dans les grandes infrastructures telles que les barrages, les systèmes de transfert et les usines de dessalement, qui sont tous des biens publics.
- Le modèle économique actuel en Algérie est caractérisé par l'importance du modèle social, il est adossé (appuyé) sur la rente pétrolière.
- **Les services de l'eau fournis aux ménages, aux entreprises industrielles et aux agriculteurs, pour des raisons politiques,** ils n'ont jamais été envisagés de **les facturer à leur coût réel.** Leurs recettes étant par conséquent limitées, les compagnies d'eau potable et d'assainissement ne sont pas en mesure de financer leurs

fonctionnements et le traitement de la charge de pollution qu'elles génèrent. Le budget de l'État en est fortement alourdi.

- **Une bonne partie des infrastructures hydrauliques sont en mauvais état.** Une bonne partie des infrastructures de mobilisation et de transfert sont vétustes, mal conçues ou mal entretenues et doivent être rénovées.

Toutes ces contraintes ont influencé sur la gestion des SEPA en Algérie. Ces services souffrent d'une variété de problèmes, ce qui a fait que les objectifs de durabilité dans le secteur de l'eau urbain n'ont pas encore été pleinement atteints (Hamchaoui, 2017). Ces problèmes majeurs sont résumés ci-dessous :

- ◆ Augmentation de la demande d'eau et de la production de déchets en raison de croissance démographique et développement socioéconomique
- ◆ Diminution de la disponibilité de l'eau par habitant en raison de la sécheresse et de l'évolution des modèles climatiques
- ◆ Fortes pertes d'eau urbaine (eau non comptabilisée)
- ◆ Surexploitation des eaux souterraines
- ◆ Participation insignifiante des parties prenantes dans la planification et la gestion du développement
- ◆ Coordination limitée entre les parties prenantes
- ◆ Capacité technique, institutionnelle et financière limitée des entreprises d'eau et d'assainissement
- ◆ Structures et niveaux tarifaires inadéquats
- ◆ Manque des outils de prise de décision efficaces.

Des travaux de recherches ont jugé que les SEPA en Algérie sont considérés comme étant le moins efficace de tous les services publics. En conclusion, les SEPA en Algérie sont caractérisés par:

- Le gaspillage de l'eau potable (Photo 3.1)



Débordement d'une fontaine d'eau



Lavage d'une voiture



Arrosage d'un jardin avec de l'eau potable



Arrosage de la rue avec de l'eau potable

Photo 3.1. Gaspillage de l'eau potable

- Des piquages illicites (photo 3.2) sur le réseau d'alimentation en eau potable



Photo 3.2. Branchements illégaux (Consommation illicite)

-

- Les fuites dans les réseaux d'eau potable (photo 3.3)



Fuite d'eau en l'emboîtement d'une conduite en PVC

Fuite d'eau sur une conduite en PVC



Fuite d'eau sur réseau de distribution

Fuite d'eau sur un branchement

Photo 3.3. Fuites sur réseau d'eau potable

- La distribution de l'eau potable n'est pas assurée de façon continue. Les ménages recevaient de l'eau qu'un à deux jours par semaine et quelques heures seulement par fréquence (Abdelbaki et al., 2012). Alors, les ménages ont recours à des apports d'eau complémentaire pour satisfaire leur besoin (Photo 3.4). Cela n'est pas sans conséquence car ils perdent du temps et de l'argent.



Photo 3.4. Alimentation avec d'autres sources d'eau

- La majorité des ménages optent pour un stockage de l'eau potable (Photo 3.5).



Photo 3.5. Réservoirs de stockage pour l'eau potable

3.4. La gestion des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie

A la fois service industriel et commercial, service universel et service public, l'eau potable et l'assainissement sont au cœur des défis posés par le développement durable.

3.4.1. Introduction

Tous les services d'eau reposent sur un socle commun, à la fois technique et réglementaire. Les étapes nécessaires à faire couler l'eau au robinet pour chaque abonné sont invariantes : il faut extraire et rendre potable une eau naturelle, la mettre à disposition des abonnés à leur domicile grâce à des réseaux d'adduction et de distribution, puis la collecte des eaux usées, assainir ces eaux avant de les jetées au milieu naturel, et gérer les relations avec les abonnés.

La continuité du service doit être assurée par la permanence du fonctionnement du service. Et aussi, les gestionnaires des services de l'eau doivent fournir une quantité d'eau suffisante et de bonne qualité à tous les usagers et à un prix abordable (Smets, 2008), ainsi qu'épurer les eaux usées des usagers raccordés au réseau d'assainissement collectif.

Les réseaux d'eau et d'assainissement sont constitués d'ouvrages de captages, stockage, distribution d'eau potable, de collecte, épuration des eaux usées qui constituent un patrimoine qu'il faut entretenir régulièrement pour assurer quotidiennement les fonctions des services d'eau et d'assainissement, mais qu'il faut également renouveler périodiquement, pour assurer la continuité des services sur le long terme. A chacune de ces activités correspondent deux grandes catégories de prestations à effectuer, qui sont indispensables au bon fonctionnement du service :

- ✓ l'investissement : pour le financement et la mise en place de nouvelles infrastructures et la gestion du patrimoine.
- ✓ l'exploitation et la maintenance : L'exploitation consiste à faire fonctionner les infrastructures de pompage, de traitement, de stockage et de distribution, à gérer la clientèle (relèves de compteurs, réponses aux doléances ...) ou encore à assurer une veille permanente (analyses, réglages, vérifications, astreintes).

Un service d'eau potable est un système à trois composantes avec en amont la ressource en eau, puis le service d'eau proprement dit qui comprend un certain nombre de fonctions techniques (production, distribution), administratives (facturation) et en aval des abonnés les consommateurs d'eau (figure 3.3).

Le service d'assainissement est symétrique avec en amont les usagers – abonnés qui déversent des eaux usées, puis le service d'assainissement proprement dit qui comprend un certain nombre de fonctions techniques (collecte, épuration) et administratives ou financières (comptabilité) et en aval le milieu naturel (ressources en eau, sols) pour le rejet des eaux et des déchets après épuration (figure 3.4).

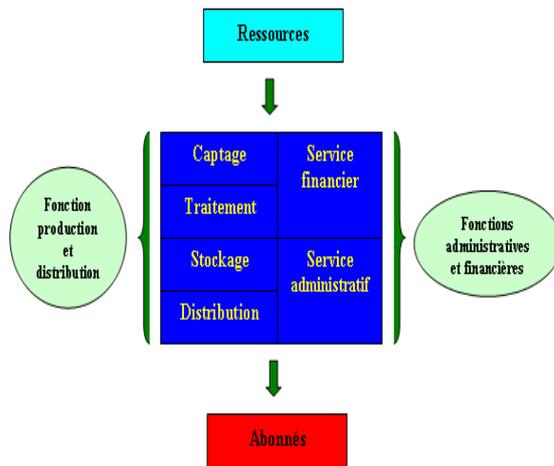


Figure 3.3 : Le schéma des services d'eau potable

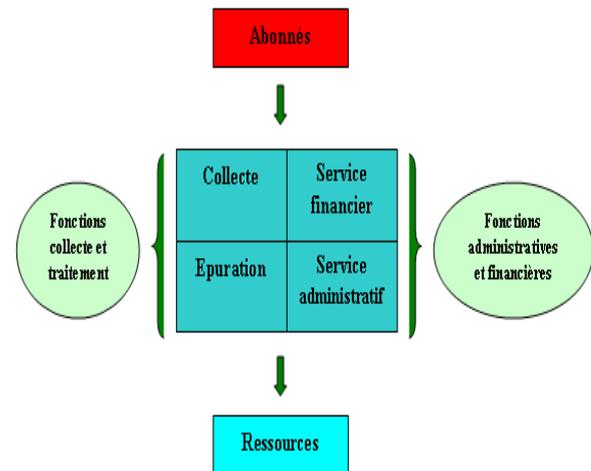


Figure 3.4 : Le schéma des services d'assainissement

En Algérie, le réseau d'eau potable est géré par l'Algérienne Des Eaux (ADE) et le réseau d'assainissement est géré par l'Office National d'Assainissement (ONA).

Les services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) sont définis comme l'activité de fournir de l'eau potable et d'évacuer les eaux usées, pour la satisfaction des besoins des activités humaines. Ces deux services reposent sur deux aspects :

- ♦ Technique, c'est le cas des infrastructures en réseau qui assurent la circulation de l'eau depuis les points de prélèvement, jusqu'aux points de retour dans le milieu naturel. Cette circulation correspond aux aspects techniques des services urbains d'eau, aux principales étapes suivantes : mobilisation de ressource en eau, traitement, transport, stockage, distribution, collecte et transport des eaux usées, épuration, rejet dans le milieu naturel (Breuil 2004).
- ♦ Gestion des services, qui assure les fonctions de contrôle de la production et de fonctionnement interne (management, ressources humaines, etc.), de relations et de communication avec l'extérieur (usagers, autorités organisatrice, société), etc. Ce sont les aspects organisationnels des services d'eau et d'assainissement.

Ces composantes technico-économiques doivent permettre une offre de service continue, avec des coûts marginaux de production, de distribution d'eau potable, de collecte et d'épuration des eaux usées. Ces SEPA ont également une forte dimension sociale (Ménard 2002). Au niveau socio-institutionnel, les SEPA revêtent une importance similaire : ils participent au développement et au fonctionnement général de la société et de l'économie (Camdessus 2003).

3.4.2. Historique de la gestion des services de l'eau en Algérie

On peut résumer la situation de la gestion des services de l'eau potable et de l'assainissement en Algérie comme suit:

De 1962 à 1970, la gestion des services d'eau et d'assainissement était assurée par les régies communales en majorité, par certains opérateurs intercommunaux et par quelques sociétés privées (Alger, Oran, Villes du Sud...).

En 1970, face à un constat d'insuffisance des capacités au niveau des communes et la dégradation de la qualité des services, l'Etat a créé la SONADE, Société Nationale de Distribution de l'Eau potable et Industrielle chargée de la production et de la distribution de l'eau sur l'ensemble du territoire. L'assainissement est resté de la compétence des communes. Trois ans après sa création, la responsabilité de la distribution lui était formellement retirée et redonnée aux communes. Seule la gestion des installations de production est restée dans ses attributions. Les problèmes du secteur n'étaient pas résolus pour autant. Bien au contraire, ils se sont aggravés avec la pression démographique.

En 1983, la SONADE a été dissoute et remplacée par 13 entreprises régionales de distribution et de production, sous tutelle du Ministère chargé de l'Hydraulique, couvrant tout le territoire.

En 1987, une nouvelle réorganisation du secteur a réduit le nombre d'entreprises régionales à 9 placées sous tutelle du Ministère de l'Hydraulique et a créé 26 entreprises de Wilaya sous tutelle du Ministère de l'Intérieur. En revanche le service d'assainissement restait à la charge des 950 régies communales d'assainissement. Toutefois la multiplicité des organismes de gestion, la diversité de leurs statuts et tutelles, et surtout leurs grandes différences de moyens et de capacités rendaient très difficiles le contrôle et la régulation du secteur.

Au cours de la période de 1962 à 2001, l'évolution du service public de l'eau aura été marquée par :

- ✓ Une série de restructurations qui n'a pas permis de stabiliser une organisation en mesure de développer une politique financière, technique et de gestion efficace

- ✓ Des responsabilités parfois contradictoires
- ✓ Une préoccupation des pouvoirs publics plus grande pour l'investissement que pour la gestion
- ✓ Un affaiblissement dans la maîtrise et la qualité de la gestion des services de l'eau.

En 2001, les pouvoirs publics ont décidé de réorganiser le secteur en regroupant et en intégrant l'ensemble des entreprises publiques, régionales, wilayas et des régies communales dans deux sociétés nationales : **ADE** pour l'eau potable et **ONA** pour l'assainissement. Cette réforme s'appuyait sur les objectifs suivants :

- ✓ Mettre fin à une situation de désordre dans l'organisation du secteur
- ✓ Mettre en œuvre une stratégie de redressement et de planification permettant de garantir un développement durable du service public de l'eau
- ✓ Favoriser le développement de partenariats avec des opérateurs nationaux ou étrangers.

En 2005, Le Code de l'Eau autorise en effet «le secteur privé à participer en tant qu'opérateur d'une concession au développement du secteur» depuis 1996 (la loi de 1996 modifiant la loi de 1983. Cette loi a été améliorée en 2005). Cependant, malgré des améliorations notables dans certaines villes, les performances de l'ADE et de l'ONA sont loin d'atteindre les objectifs qui étaient assignés à ces entreprises. La qualité du service de l'eau est encore insuffisante dans de nombreuses villes où la distribution est encore intermittente.

En 2006, la première opération de partenariat public privé a été lancée : la gestion de la distribution d'eau et de l'assainissement d'Alger a été confiée à une société publique filiale de l'ADE et l'ONA (SEAAL) gérée par l'entreprise Suez-Environnement, dans le cadre d'un contrat de gestion. Le contrat prévoit, pour une période de cinq ans.

3.4.3. Aspects freinant le développement du service d'eau potable et d'assainissement en Algérie

L'alimentation en eau potable des villes algériennes fait face à différentes contraintes. Ces contraintes mettent la question sur la qualité de la gestion de l'eau et la performance de ses infrastructures.

- Instabilité au plan organisationnel et **déficit des textes juridiques des services de l'eau en Algérie**

De 1962 à 2005, plusieurs lois, décrets et textes d'application : arrêtés et circulaires ont vu le jour. Les structures, les textes et la gestion étaient en perpétuel changements. Les politiques

concernant le secteur de l'eau ne sont pensées qu'en fonction des crises qui secouent le pays. L'évolution des textes est intimement liée à celle des structures. Une prolifération de lois, décrets et textes d'application a vu le jour. Ces instruments ont été mis en place, modifiés, complétés ou abrogés lors de suppressions de structures ou de changement de responsables.

Les textes élaborés, au fur et à mesure de la création des structures, n'ont joué aucun rôle pratique sur le terrain, et ont contribué par leur foisonnement à rendre complexes et difficiles le fonctionnement et l'organisation des services concernés. On est donc loin d'un système législatif et réglementaire complet, claire et objectif étayé par des mécanismes efficaces de contrôles technique et judiciaire.

- Instruments financiers limités

Malgré la volonté de l'état concernant l'octroi d'une enveloppe budgétaire importante réservée à la réalisation des différents programmes infrastructurels en hydraulique (barrages, retenues collinaires, grands transferts d'eau, réhabilitation des réseaux d'AEP, etc.), mais, les investissements restent insuffisants à cause de l'augmentation importante de la demande et du retard enregistré durant la décennie 90. L'état cherche toujours à satisfaire la demande par la recherche de nouvelle ressource. Car le choix politique de l'Algérie est axé sur la gestion de l'offre (Kertous, 2012). La recherche de nouvelles ressources nécessite des coûts d'investissements importants. Ces nouvelles ressources sont de plus en plus éloignées des zones à desservir. La mobilisation et le transfert des eaux nécessitent des coûts qui sont à leur tour difficile à mobiliser.

- Développement démographique, économique et urbanisation rapide

En Algérie, la démographie a connu une croissance significative ces dernières décennies. La population est passée de presque 30 millions en 1998 à plus de 37 millions en 2013. Une croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide et anarchique. Parallèlement, l'exode rural a été fort durant ces deux dernières décennies. On est passé d'une population plutôt rurale les années 70 (plus de 60 % de la population était en milieu rural) à une population plutôt urbaine (Plus de 70 % de la population est aujourd'hui urbaine).

- Pollution des milieux naturels par les eaux usées

La croissance démographique de la population urbaine et la croissance de l'activité économique ont provoqué la production d'énormes quantités d'eaux usées déversées directement dans le milieu naturel. Le volume rejeté annuellement est évalué à plus 600 millions de m³ (Kettab, 2001). Il est évalué à de 750 millions de m³ de rejets par an en 2011 (PNUD, 2009).

L'effort engagé par l'Algérie en matière des systèmes d'épuration a été fait essentiellement depuis le début des années 80. Mais, la plus part des stations d'épuration réalisées sont non-fonctionnelles (CNES, 2003). Jusqu'à 2003, les équipements d'épuration restent faibles. Ils se situent en deçà des besoins, faisant que, de nombreux réseaux continuent à rejeter dans des oueds, la mer ou la nature (CNES, 2003). Seules une soixantaine de communes sur les 1541 communes sont équipées de stations d'épuration qui de surcroît et pour la plupart, ne fonctionnent pas (Kettab, 2001).

- Diminution des capacités de stockage

En Algérie la capacité de stockage des barrages diminue pour différentes causes.

- Une sédimentation élevée: la plus part des barrages en Algérie sont menacés par le phénomène de l'envasement. Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants, favorisé par la nature des sols et l'absence de boisement (Remini, 2017).
- Evaporation des lacs des barrages: durant la période 1992-2002, la quantité d'eau évaporée représente la moitié du volume d'eau utilisé par l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie (Remini, 2010).
- Fuites dans les barrages : un problème qui peut engendrer la déstabilisation de l'ouvrage. Environ 22 barrages ont fait l'objet des mesures périodiques des fuites en Algérie durant la période 1992-2002. Certains barrages enregistrent une perte annuelle par fuite avoisinant même la valeur de 10% de leur capacité (Remini, 2010).

3.4.4. Les différents modes de gestion des services d'eau en Algérie

Il existe plusieurs modes de gestion des services d'eau potable et d'assainissement : La régie (gestion directe du service), la délégation de service public (affermage et concession) :

- ✓ **La régie** constitue le mode de gestion directe du service public par la commune ou l'établissement public (elle gère ce service, avec ses propres moyens, notamment en personnel et en argent). Il existe trois formes de régies : la régie simple ou directe, la régie dotée de la seule autonomie financière et la régie dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière, par exemple, un établissement public local.
- ✓ **La délégation** de service public (la gestion déléguée) est un mode de gestion indirecte, par lequel une collectivité publique confie à un délégataire la gestion de tout ou partie du service public dont elle a la responsabilité. Le délégataire est lié par contrat à la collectivité. Le mode de délégation de service public le plus répandu est l'affermage, vient ensuite la concession.

Les Modes actuels de gestion des services publics de l'eau en Algérie sont assurés à travers trois dispositifs (tableau 3.1):

- ✓ La **concession** octroyée par l'État (ou les communes) à des établissements publics (ADE – ONA),
- ✓ La **délégation de gestion** confiée par l'État ou les établissements publics à des opérateurs publics ou privés (la délégation à des filiales des établissements publics peut être soutenue par des contrats de type management),
- ✓ La **régie communale** avec autonomie financière.

Tableau 3.1. Répartition des communes selon le mode de gestion (ADE, 2009)

Mode de gestion		Nombre communes concernées	%	Population (Hab)	%	Nombre d'abonnés
Concession ADE		502	32.5	18 306 144	53	2 600 000
Gestion déléguée (filiales)	SEAAL (Alger)	57		2 950 000		440 000
	SEATA (Annaba/Taref)	36		1 051 830		167 620
	SEACO (Constantine)	12		943 112		130 790
	SEOR (Oran)	26		1 443 052		200 833
Total		131	8,5	6 387 994	19	939 243
Régies communales		908	59	9 705 862	28	

Depuis avril 2001, la gestion du service public de l'eau potable et de l'assainissement a été confiée à deux EPICs nationaux créés par les décrets exécutifs N° 01-101 et 01-102 du 21 avril 2001, respectivement relatifs à la création de l'Algérienne Des Eaux (ADE) et de l'Office National d'Assainissement (ONA).

L'ADE et l'ONA, placés sous la tutelle du ministère algérien des ressources en eau, ont remplacé les 9 établissements régionales, les 26 établissements de wilaya gérant 258 communes ainsi que les 932 régies communales chargées de la gestion des dits services.

3.4.5. L'Algérienne Des Eaux

L'établissement public «Algérienne des eaux : ADE » a été créé par décret exécutif n°01/101 du 22 avril 2001 sous forme d'EPIC dans le cadre d'une politique d'ensemble et de gestion intégrée. L'ADE est structurée au niveau central en 08 directions et au niveau régional en 15 zones et 42 unités couvrant les wilayas sous sa compétence territoriale. Des SPA, filiales de l'ADE gèrent les six wilayas restantes.

Les objectifs stratégiques assignés à l'ADE étant d'assurer une meilleure satisfaction des besoins en eau des usagers, d'assurer une gestion plus efficiente de la ressource en réduisant les pertes d'eau et de redonner à l'eau sa valeur économique. Parmi ses principales missions, l'ADE est chargée de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable dans tous ses

volets de gestion de la production, transferts, distribution et approvisionnement en eau potable et industrielle. Elle est, par ailleurs, chargée de la maîtrise d'œuvre pour son propre compte et/ou par délégation pour le compte de l'État ou des collectivités locales.

L'ADE gère 779 communes dont 124 en Gros, sur un total de 1 382 que compte les wilayas inscrites dans le périmètre de sa compétence territoriale (Hors SPA). Le taux de couverture en termes de gestion du service public de l'eau potable est de 56 %. Il est prévu au titre de l'exercice 2013 la prise en charge de 174 nouvelles communes, ainsi le taux de couverture de gestion passera à 69 % (Zeggai, 2013).

La population desservie par l'ADE à l'échelle des 42 Wilayas est d'environ 20 Millions d'habitants sur une population totale de 28.5 Millions habitants (Hors Spa). Ce qui nous donne un taux de desserte de 70% (dont 93 % desservie au détail et 7 % en gros) (Zeggai, 2013). Selon le programme prévisionnel de prise en charge des nouvelles communes la population desservie atteindra à la fin de l'exercice 2013 sera de 22.2 millions d'habitants avec un taux de desserte de 77% (Zeggai, 2013).

Tableau 3.2. Quelques indicateurs technique et commercial de l'ADE

Volet Technique			Volet Commercial				
Volume en Milliards m ³			Indicateurs commerciaux			Equilibre budgétaire	
Produit	Distribué	Facturé	Rendement commercial	Taux de forfait	Indice de recouvrement	Facturation (Milliards DA)	Recette (Milliards DA)
1.352	1.180	563	48%	14%	86%	20,5	17.6

Source : Zeggai, 2013

Portefeuille Clients

L'ADE gère actuellement un portefeuille clients de 3 210 097 abonnés, structuré comme suit:

Tableau 3.3. Portefeuille clients

Catégories	Nombre Abonnés	Pourcentage (%)
Cat 1(ménages)	3 050 698	95
Cat 2 (Administration et commerce)	147 596	4,6
Cat 3 (Industrie & Tourisme)	10 810	0,3
Autres (en gros)	993	0,1

Source : Zeggai, 2013

Branchements Illicites

Journellement les services de l'ADE constatent des fraudes de vol d'eau soit par le biais de branchements illicites, remises illicites, inversion de compteurs ou carrément enlèvement de compteurs avec mise en place de by-pass. Dans ce contexte les services de l'ADE recensent

annuellement une moyenne de 5 000 cas de fraudes dont : 75% sont régularisés à l'amiable, le reste soit 25% relève de la compétence du contentieux et de la justice.

Cependant, cette activité de recensement des branchements illicites par les services de l'ADE reste faible par rapport à la réalité du terrain. A ce titre, il est inscrit dans le cadre des travaux de réhabilitation des grandes villes lancés par l'ADE, entre autres la lutte contre les branchements illicites localisés pendant la phase de diagnostic des réseaux et ce en sus des actions courantes effectuées par les services concernés de l'ADE.

Volume Facturé des 03 dernières années

Le volume facturé évolue annuellement avec une moyenne de 7%. Cette évolution est due essentiellement à l'augmentation du volume produit et le gain en terme de nouveaux clients (Hors SPA)

Tableau 3.4. Histogramme du volume facture

Désignations	Années		
	2010	2011	2012
Volume facturé (Km ³)	496 777	520 952	562 687
Evolution en volume (Km ³)	33 306	24 175	41 735
Evolution %	7	5	8
Evolution en valeur (KDA)	467 008	647 504	816 285

Source : Zeggaï, 2013

Chiffre d'affaires (Eau)

La facturation « Eau » de l'ADE réalisée durant l'année 2012 s'élève à 20,5 milliards de DA dont 35 % représentent les détentions pour compte. La facturation eau a évolué durant ces 03 dernières années comme suit:

Tableau 3.5. Facturation eau TTC « Milliards de DA »

Désignations	Année 2010	Année 2011	Année 2012
Facture eau (TTC) U: 10⁶ DA	17753	18994	20542
Evaluation (%)	6	7	8
Dont produites DAE Valeur	11509	12330	13282
U:10⁶ DA %	64,83	64,92	64,66

Sources : Zeggaï, 2013

Recouvrement des factures d'eau :

Le recouvrement a connu ces dernières années des améliorations mais ceci demeure insuffisant devant l'importance du portefeuille créances qui s'élève à la somme de 32,7 milliards de DA.

L'évolution des encaissements enregistrés ces 03 dernières années ainsi que les indices de recouvrement sont consignés dans le tableau ci-après :

Tableau 3.6. Recouvrement des factures d'eau

Créances	Année 2010	Année 2011	Année 2012
Recettes eau (millions DA)	27714	30500	32717
Evaluation (%)	6	2	6
Indice de recouvrement	90%	85%	86%

Sources : Zeggai, 2013

L'objectif prévisionnel pour les années à venir c'est de dépasser le taux de 100% en termes d'indice de recouvrement afin de réduire objectivement le portefeuille créances.

Créances

Malgré les efforts consentis par l'ADE pour réduire le montant du portefeuille créances, nous enregistrons des progressions annuelles mais qui ont tendances à baisser .Les créances ont progressé de 7 % durant l'année 2012.

Tableau 3.7. Créances

Créances	Année 2010	Année 2011	Année 2012
Eau (millions)	27714	30500	32717
Evaluation (%)	13	10	7
Délai client (nombre de mois)	18	19	19

Sources : Zeggai, 2013

La créance Eau à fin 2012 éclatée par catégorie est établie comme suit :

- Cat (1) : 21.4 milliards DA Soit 65 %
- Cat (2) : 8.5 milliards DA Soit 26 %
- Cat (3) : 1.3 milliards DA Soit 4 %
- Autres (dont vente en Gros): 1.5 milliards DA Soit 5 %
- **Total : 32.7 milliards DA**

Pour atténuer cette évolution récurrente d'année en année, le dispositif de recouvrement mis en place par l'ADE doit être renforcé en moyens (humains et matériels).

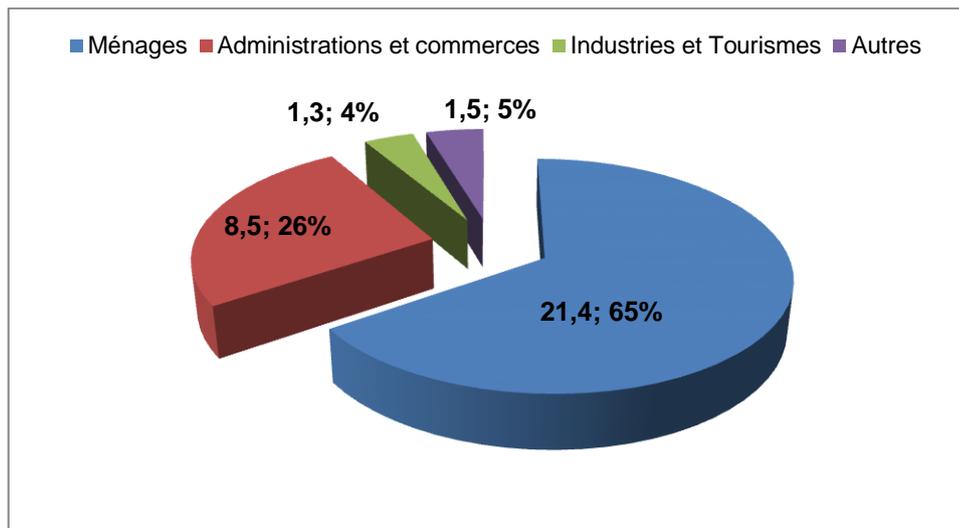


Figure 3.5. La créance Eau par catégorie (2012)

3.4.6. L'office National d'Assainissement

L'office national de l'assainissement (ONA), joue un rôle primordial, étant une entreprise publique nationale à caractère industrielle, mais aussi commercial, l'entreprise créée en avril 2001 sous la tutelle du ministère des ressources en eau.

Les missions qui incombent à l'ONA sont : la gestion, l'exploitation et la maintenance des infrastructures d'épuration. L'ONA est chargé aussi de la mise en œuvre de la politique nationale de l'assainissement en concertation avec les collectivités locales. À ce titre, il est chargé par délégation de: (a) la maîtrise d'œuvre et l'exploitation des infrastructures d'assainissement, (b) lutter contre les sources de pollution hydraulique, la gestion, l'exploitation, le raccordement, la réhabilitation et la construction de nouveaux ouvrages destinés à l'assainissement des agglomérations dans les zones de son domaine d'intervention.

Ses objectifs sont :

- La préservation et la prévention des ressources et de l'environnement hydrique.
- La lutte contre toute forme de pollution hydrique.
- La protection de la santé publique, la réalisation des travaux et infrastructures relatives aux projets d'études.
- La réalisation, la réhabilitation et l'inspection des stations d'épurations du réseau d'évacuation sanitaire et des stations de relevage.

Le nombre total des communes dont le service public de l'assainissement est géré par l'ONA, est de 1 121 communes, soit une population totale de plus de 26 millions d'habitants. Le réseau d'assainissement d'un linéaire total de 52 048 km, est exploité à travers 266 centres d'assainissement opérationnels au niveau de quarante-quatre (44) wilayas. L'ONA gère 32

stations d'épuration et 20 bassins de traitements, et d'une capacité globale de 3.5 millions habitants, soit de 600000m³/jour. Egalement de 189 stations de relevage, chargées de pomper 86 millions de m³/an (ONA, 2017). Et pour cela ses dernières années, le secteur des ressources en eau a fait un grand effort en matière d'assainissement, ainsi 150 milliards de dinars ont été investis pour la préservation de ces ressources contre toute forme de pollution (ONA, 2017).

La stratégie du Ministère des Ressources en Eau (MRE) dans le domaine de l'épuration est basée sur :

- La protection de la ressource hydrique
- La protection des citoyens contre les MTH
- Le confort et le bien-être des citoyens
- La protection du littoral (convention de Barcelone)
- La mise à disposition des volumes épurés pour la réutilisation.

La programmation des STEP

Des investissements ont été mis en œuvre depuis une décennie dans la réalisation de plusieurs stations d'épuration (PNUD, 2009). La capacité installée d'épuration des eaux usées est de 365 millions de m³ par an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation (PNUD, 2009). En 2009, le volume d'eau épuré est de 150 million de m³ par an. Il sera porté à l'horizon 2020 et à 1 milliard de m³ par an (PNUD, 2009). Le MRE a mis en place un programme ambitieux de réalisation des STEP (tableau 3.8).

Tableau 3.8. Planification des STEP pour le moyen et le long terme

Région hydrographique	2010	2015	2020	2025	2030	Total cumulé
Oranie – Chott Chergui	14	27	39	37	35	171
Cheliff – Zahrez	15	34	29	35	33	148
Algérois – Soummam Hodna	42	47	40	24	29	189
Constantine - Seybouse Mellegue	35	17	13	21	21	127
Sahara	46	5	3	4	2	61
Total	152	130	124	121	120	696

Source :

Estimation des eaux usées épurées

Le taux de raccordement à la STEP qui est estimé à partir des bilans d'épuration de l'ONA des années précédentes, principalement 2006 et 2009. Le bilan annuel de l'ONA montre que le volume épuré pour 2009 est un peu plus de 81 Hm³.

3.5. Le financement des services de l'eau en Algérie

Le financement des services d'eau et d'assainissement en Algérie est assuré par : i) le budget de l'Etat pour les dépenses d'investissements de développement et de réhabilitation des infrastructures et ii) les recettes de la tarification pour la couverture des charges liées à la gestion des services publics de l'eau potable et de l'assainissement.

3.5.1. Investissement de l'Etat

En Algérie, le secteur de l'eau fait l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics qui lui consacrent d'importants financements (Benblidia et Thavet, 2010). Les dépenses publiques dans ce secteur sont souvent illustrées par des investissements dans les grandes infrastructures telles que la construction des barrages et des usines de traitement, la réalisation de grands transferts interrégionaux, la réhabilitation des réseaux de distribution d'eau potable et d'assainissement, et aussi la construction des usines de dessalement et des stations d'épuration (PNE, 2011) (Annexe A2).

Les dépenses publiques allouées au secteur de l'eau ont augmenté au cours des dernières années : en pourcentage du PIB, les investissements (nominaux) dans le secteur de l'eau a doublé, passant de 1,3% en 1999 à 2,6% en 2006 (MATE, 2011). L'enveloppe d'investissement national pour le court, moyen et long terme est présentée dans le tableau ci-dessous (MRE, 2006). Malgré ces montants mobilisés, la gestion des services d'EPA est encore perfectible dans la plupart des villes algériennes (Benblidia et Thavet, 2010). Une partie seulement de l'eau potable produite est réellement distribuée aux usagers en raison des pertes (physiques et commerciales) dans les réseaux : les taux de pertes sont très importants, atteignant dans certains cas 50% (Boukhari et al, 2013 ; Benblidia et Thavet, 2010).

Tableau 3.9. Planning d'investissement (2006 – 2025)

Type d'investissement (Milliard DA courants)	Hydraulique agricole	Alimentation en eau potable	Assainissement et épuration	Mobilisation des ressources en eau	Total
Court terme (2006 – 2010)	99,05	485,17	115	1034,75	1733,97
Moyen terme (2011 – 2015)	62,45	126,01	61	185	434,46
Long terme (2016 – 2025)	0	21,30	95,50	34	150,80
Total	161,50	632,48	271,50	1253,75	2319,23

Source : MRE, 2006

Sur la période, les dépenses d'investissement pour le secteur de l'eau sont réparties comme suit :

- 54% = mobilisation des ressources en eau (construction des barrages),
- 27% = alimentation en eau potable,
- 12% = assainissement et l'épuration,
- 7 % = irrigation.

3.5.2. Le prix de service d'eau et d'assainissement en Algérie

Un système équilibré de prix de l'eau doit permettre de dégager des recettes suffisantes pour assurer la couverture des dépenses de fonctionnement, d'entretien, d'investissement et d'amélioration de la qualité et de l'efficacité des services d'eau potable et d'assainissement.

Le tarif de l'eau en Algérie a été révisé plusieurs fois entre les années 1985 et 2005. En valeur courante, un tarif de base unique était appliqué sur l'ensemble du territoire national ; maintenu à 1 DA/m³ de 1985 à 1990, ce tarif a ensuite connu une augmentation pour atteindre 3,60 DA/m³ en 1996. Une nouvelle hausse des tarifs de l'eau potable est intervenue en 2005, avec un tarif de base spécifique, variant de 5,80 à 6,30 DA/m³ selon cinq zones. Après 2005, le tarif de l'eau est resté inchangé : depuis dix ans le prix nominal de l'eau n'a pas varié.

En défalquant l'inflation, on observera que le prix réel de l'eau a diminué. En considérant l'année 1985 comme année de base, on calculera le prix de l'eau hors inflation comme en atteste la figure 3.6, le tarif de l'eau en Algérie a augmenté moins vite que l'inflation entre 1985 et 2014.

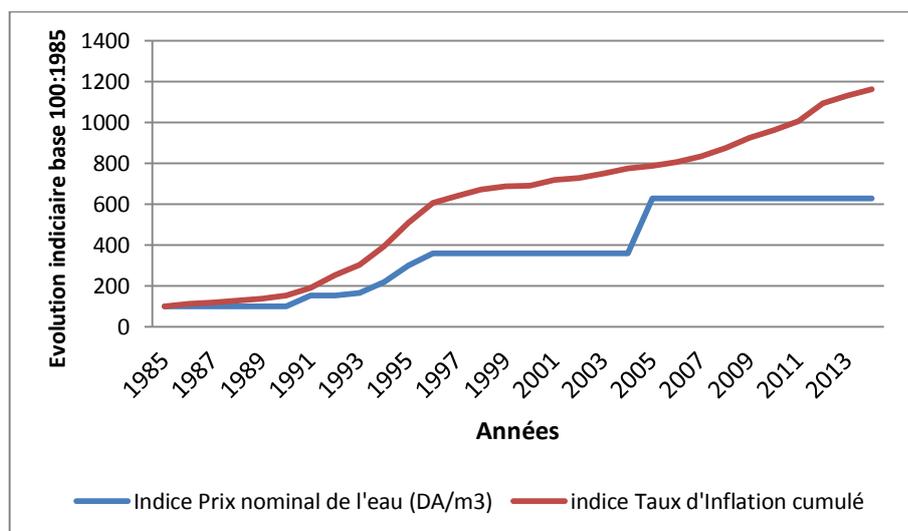


Figure 3.6. Evolution de l'inflation et du prix nominal de l'eau en Algérie (1985 -2014)

Le graphique 3.6 atteste que le prix nominal de l'eau n'a pas suivi l'inflation en conséquence, le prix réel de l'eau potable a baissé. Plus l'inflation a augmenté et plus le prix réel de l'eau a diminué puisque l'écart entre les deux variables s'est nettement creusé entre 1985 et 2014. Maintenir constant depuis trente ans le prix réel (hors inflation) de l'eau potable aurait supposé de multiplier par 2 son prix nominal¹. Autrement dit, en trois décennies le prix réel de l'eau potable a été divisé par deux.

Nous avons effectué une comparaison de l'évolution du prix de l'eau avec certains produits alimentaires (pain, tomate et pomme de terre) en Algérie. Nous avons observé d'après la figure 3.7 qu'au cours de la même période (1985 – 2014) le prix nominal des services de l'eau et de l'assainissement a augmenté moins vite que le prix des autres produits alimentaires témoins.

Cette comparaison livre un indice sur le caractère social de la tarification de l'eau potable en Algérie (même s'il ne faut à perdre de vue que l'accès généralisé à l'eau est annoncé comme un objectif social, mais la disponibilité effective des fluides et leur distribution peine à s'aligner sur ce choix stratégique).

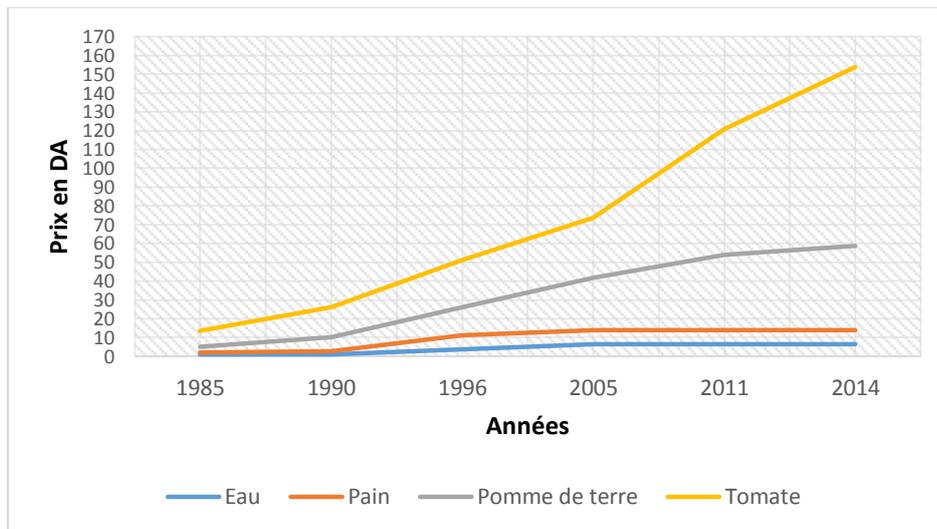


Figure 3.7. Evolution du prix nominal de produits de base

3.5.3. Coût de l'eau

En Algérie, il n'existe peu d'études qui précisent le coût des services de l'eau. Selon notre recherche bibliographique, nous avons identifié :

- L'étude **SOGREAH (2002)** révèle que le coût de l'eau en tête de réseau est de 35 (DA/m³). La distribution de l'eau coûte 20 à 25 DA/m³, soit au total entre 55 à 60

¹ Inflation cumulée : 1985 indice 100, 2014 indice : 1164,59.

Evolution indiciaire du prix nominal de l'eau : 1985 indice 100, 2014 indice : 630.

DA/m³. Le coût réel de l'eau varierait entre 73 et 82 DA/m³ avec un coût d'assainissement de 31,5 à 35 (DA/m³). Le coût de l'eau se situerait alors dans une fourchette de 100,5 à 117 DA/m³.

- Une étude de **Benachenhou (2005)** a montré que le coût réel du mètre cube d'eau en Algérie est d'environ 1,80 dollar, soit 130 DA/m³.
- Le coût réel du mètre cube d'eau et d'assainissement pour la ville de Souk-Ahras est de 125 DA/m³ (**Boukhari, 2010**), ce coût inclut les coûts d'investissement et de fonctionnement (eau potable et assainissement) pour un prix de vente de 18 DA/m³.
- Dans une autre étude réalisée à l'ENSH, le coût réel d'eau est égal à 170 DA/m³ pour la ville de Bordj Bou Arreridj (**Zeroual et al, 2013**).

3.5.4. Tarification de l'eau potable et de l'assainissement en Algérie

La tarification de l'eau potable et de l'assainissement est administrée, elle est régie par des textes réglementaires, le décret exécutif n° 05-13 du 09/01/2005 fixe les règles des services publics d'alimentation en eau potable et assainissement ainsi que les tarifs y afférant.

Les tarifs de l'eau potable et de l'assainissement font l'objet de barème spécifique à chaque zone tarifaire territoriale. Les 05 Zones territoriales (Alger, Oran, Constantine, Chlef & Ouargla) sont définies par voie réglementaire (tableau 3.10).

Tableau 3.10. Wilayas couvertes par Zone tarifaire

Zone tarifaire territoriale	Wilayas couvertes
Alger	Alger, Blida, Médéa, Boumardes, Tizi-Ouzou, Bouira, Bordj Bou Arreridj, M'sila, Setif, Bejaia
Oran	Oran, Ain Témouchent, Tlemcen, Mostghanem, Mascara, Sidi bé labbes, Siadia Naama, El-Baytha
Constantine	Constantine, Jijel, Mila, Betna, Khenchla, Annaba, El Tarf, Skikda, Souk-Ahras, Galma, Tebessa, Oum el Bouagi
Chlef	Chelf, Ain Defla, Relizane, Tiaret, Tissemsilt, Djelfa
Ouargla	Ourgla, El oued, Illizi, Laghouat, Ghardaia, Bechar, Tendouf, Tamanrasset

Le barème des prix par catégories d'usagers et tranches de consommations:

Tableau 3.11. Tarif de l'eau potable et de l'assainissement en Algérie

Catégories d'usagers	Alger-Oran-Constantine		Chlef		Ouargla		
	Eau DA/m ³	Assainis DA/m ³	Eau DA/m ³	Assainis DA/m ³	Eau DA/m ³	Assainis DA/m ³	
Cat 1	1 ^{ère} Tranche	6,30	2,35	6,10	2,20	5,80	2,10
	2 ^{ème} Tranche	20,48	7,64	19,83	7,35	18,85	6,83
	3 ^{ème} Tranche	34,65	12,93	33,55	12,10	31,90	11,55
	4 ^{ème} Tranche	40,95	15,28	39,65	14,30	37,70	13,65
Cat 2	Tranche unique	34,65	12,93	33,55	12,10	31,90	11,55
Cat 3	Tranche unique	40,95	15,28	39,65	14,30	37,70	13,65

Les deux figures 3.8 et 3.9 montrent la progressivité des tarifs pour chaque tranche consommation.

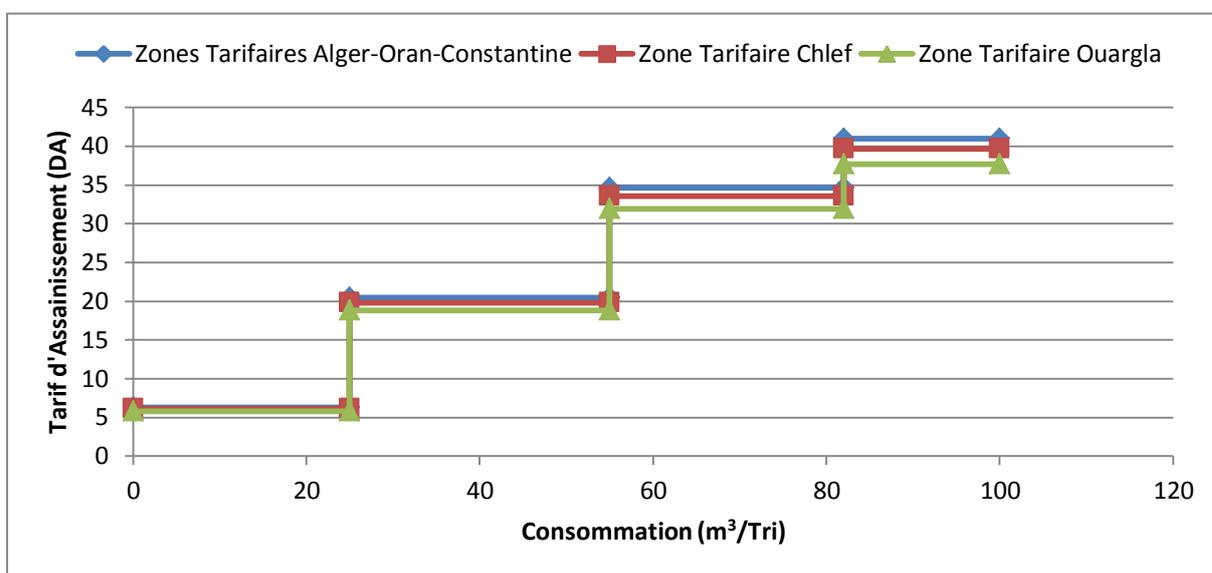


Figure 3.8. Tarif de l'eau potable

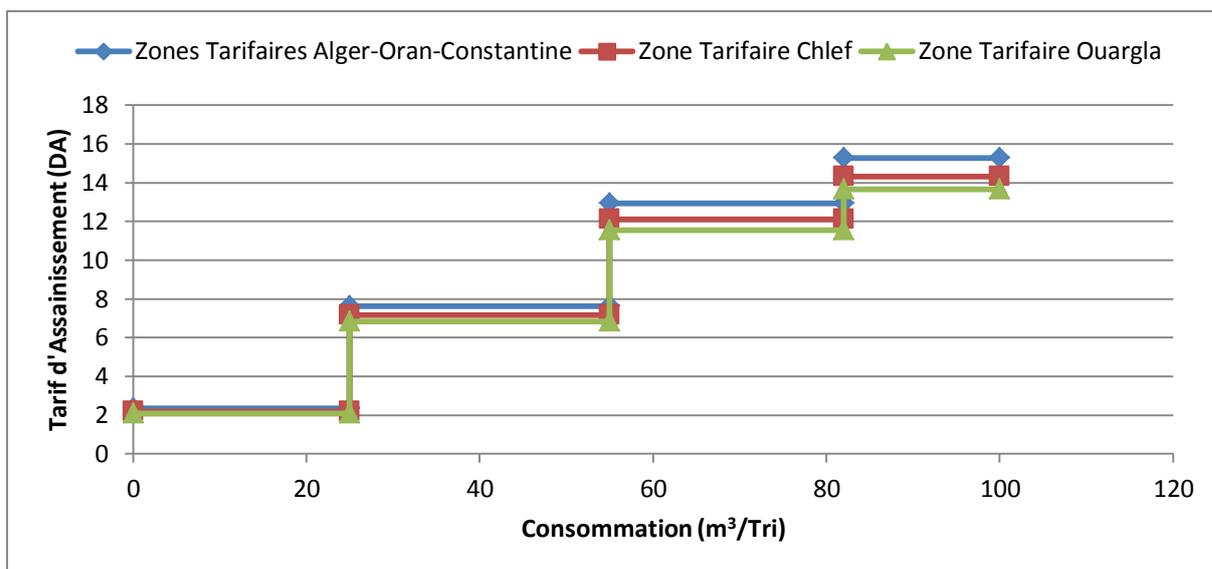


Figure 3.9. Tarif de l'assainissement

Redevance Fixe d'Abonnement RFA (Eau & Assainissement):

La RFA présente la partie fixe de la facture de l'eau en Algérie (tableau 3.12).

Tableau 3.12. Redevance Fixe d'Abonnement

Catégories d'usagers	Abonnement au service eau potable (DA)	Abonnement au service eau assainissement (DA)
Catégorie 1: (Ménage)	240,00	60,00
Catégorie 2: (administration, artisan, et service au secteur tertiaire)	450,00	60,00
Catégorie 3: (unités industrielles et touristique)	4500,00	120,00

Autres éléments de facturation:

- Redevance d'économie d'eau (4% pour les wilayas du nord & 2% pour les wilayas du sud du pays).
- Redevance de la protection de la qualité de l'eau (4% pour les wilayas du nord & 2% pour les wilayas du sud du pays).
- Redevance de gestion est fixée à 3DA/m³.
- Taxe sur la valeur ajoutée, le taux est fixé à 7%.

La figure 3.10, montre le type de la facture d'eau en Algérie

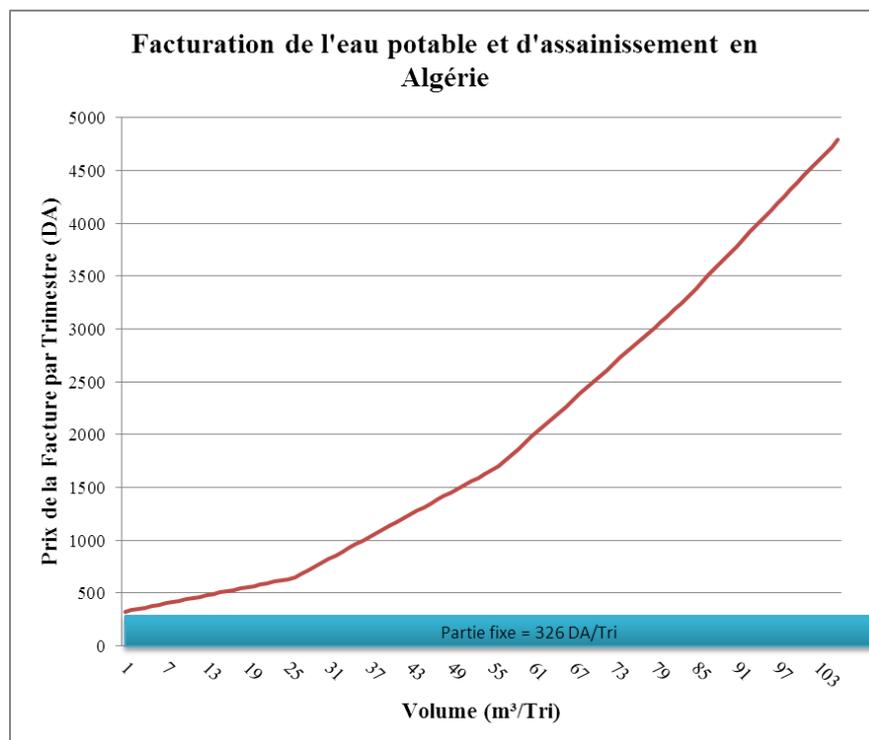


Figure 3.10. Type de facturation de l'eau potable et d'assainissement en Algérie

3.6. Conclusions

La problématique de l'eau en Algérie à soulever un débat national entre les parties prenantes, les experts et les chercheurs universitaires à travers l'organisation de journées d'études, de séminaires et colloques nationaux et internationaux. Les experts et les spécialistes ont jugé que la gestion de l'eau en Algérie est complexe. Avec une ressource en eau est rare causée par les faibles taux de pluviométries dus aux effets du changement climatique et par les grandes taux de pertes sur les réseaux d'eau potable.

Depuis 2001, deux nouveaux établissements sont créés : L'Algérienne Des Eaux (ADE) pour la gestion de l'eau potable et l'Office National d'Assainissement (ONA) pour la gestion de l'assainissement. Malgré les grands investissements de l'Etat dans le secteur de l'eau depuis les années 2000, les gestionnaires de l'ADE et l'ONA ont toujours souffert sur les plans financiers et techniques. Et malgré le taux important de raccordement de la population au réseau public d'eau potable, la desserte globale n'est plus assurée de façon continue. Les ménages optent pour le stockage de l'eau. L'alimentation en eau potable des villes algériennes pose de nombreux problèmes : les fuites dans les réseaux d'eau ; les piquages illicites ; le recours à des apports d'eau complémentaire ; le rationnement avec une discrimination dans les tranches horaires de distribution d'eau. A cela, s'ajoute certains facteurs qui freinent le développement du service public d'eau potable et d'assainissement, comme : le prix du mètre cube d'eau est pratiquement symbolique car il est subventionné à hauteur de 70%. Cette subvention encourage le gaspillage et ne reflète pas la réalité du coût de revient du mètre cube. Par contre, elle occasionne des déficits au niveau des entreprises chargées de sa gestion.

Partie II.

Contributions Scientifiques

Chapitre 4.

Méthode directe pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau en Algérie

Chapitre 4.

Méthode directe pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau en Algérie

Ce chapitre se concentre sur une approche directe pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable d'assainissement (SEPA) en Algérie. Cette approche est basée sur une enquête chez les abonnés raccordés aux services publics qui sont gérés par l'Algérienne Des Eaux (ADE) et l'Office National d'Assainissement (ONA).

L'objectif de ce chapitre est d'examiner et d'analyser l'état actuel des divers éléments de la durabilité des SEPA, en obtenant l'opinion des parties prenantes (décideurs et gestionnaires des SEPA) et les jugements des abonnés concernant la qualité de l'offre de SEPA. Cette évaluation directe a pour but de recueillir des informations et des jugements sur la gestion actuelle des SEPA en Algérie, en prenant la Wilaya de Souk-Ahras comme exemple.

4.1. Introduction

En Algérie, le secteur de l'eau fait l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics qui lui consacrent des moyens de plus en plus importants (Benblidia et Thivet 2010).

Les services de l'eau et de l'assainissement (SEPA) en Algérie souffrent de beaucoup d'insuffisances qualitatives et quantitatives (Kertous, 2012).

La durabilité des SEPA peut être évaluée en appliquant deux types d'approches : une approche directe par sondage (observation sur terrain et enquêtes) et une approche indirecte par l'application des méthodes et des outils d'évaluation de la durabilité.

Ce chapitre se concentre sur une approche directe pour l'évaluation de la durabilité des SEPA en Algérie en appliquant une enquête chez les abonnés. Avant de commencer cette enquête, des observations sur le terrain et entretiens direct avec les gestionnaires des SEPA doivent être effectués pour bien cibler l'échantillon. L'approche directe permettra de recueillir des

éléments d'information en complément de ceux obtenus directement auprès des services commercial et d'exploitation des unités locales de l'ADE et l'ONA. Cette recherche produit des jugements et des informations sur la gestion actuelle des SEPA en Algérie et les conditions dans lesquelles les consommateurs (abonnés) sont prêts à payer.

Le but de cette enquête est d'interroger les ménages (abonnés de l'ADE et de l'ONA) sur comment ils trouvaient la qualité du service de l'eau ? Comment ils trouvaient la qualité de l'eau distribuée ? Trouvent-ils que le prix de l'eau du robinet coûte chère ? Ensuite, une question ouverte a été enchaînée pour combien les abonnés sont prêts à payer pour améliorer la qualité de ce service.

De plus, avec la dégradation de ce service, les abonnés sont devenus moins enclins à vouloir payer leurs factures (Benblidia et Thivet, 2010) et le taux de recouvrement en Algérie serait inférieur à 70%. Dans ce sens, il nous semble intéressant, voire même inévitable, d'analyser les dispositions des ménages à vouloir payer pour améliorer la qualité de ce service et d'estimer leur consentement à payer. À notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur ce sujet en Algérie et ce travail serait une référence pour la mise en place des politiques publiques dans ce domaine.

Pour atteindre les objectifs visés dans ce chapitre, nous avons organisé notre travail comme suite : après un bref rappel d'un ensemble de travaux relatifs à l'estimation du consentement à payer (CAP) des ménages, nous allons présenter notre zone d'étude, ainsi que sa tarification. Une fois ces éléments détaillés, nous allons exposer notre méthodologie ainsi que la démarche suivie pour analyser le CAP. Dans une autre section, nous afficherons les principaux résultats descriptifs de notre enquête et nous allons exposer les principaux modèles retenus pour estimer le consentement à payer des abonnés enquêtés. Enfin, dans un dernier point, nous allons estimer les déterminants de ce consentement à payer et sa valeur.

La section suivante de cet article discute la méthodologie de l'enquête. La section 3 présente les résultats de l'enquête. La section 4 conclut le document.

4.2. Méthodologie

Pour analyser et évaluer la durabilité des SEPA en Algérie, une première enquête a été effectuée au niveau national (48 Wilayas) en utilisant un questionnaire réalisé sur Google Driver (Annexe A3) et partagé sur les réseaux sociaux (différentes pages sur Facebook). Malheureusement, le taux de participation est faible (figure 4.1), mais nous avons remarqué que les réponses sont presque identiques pour toutes les Wilayas.

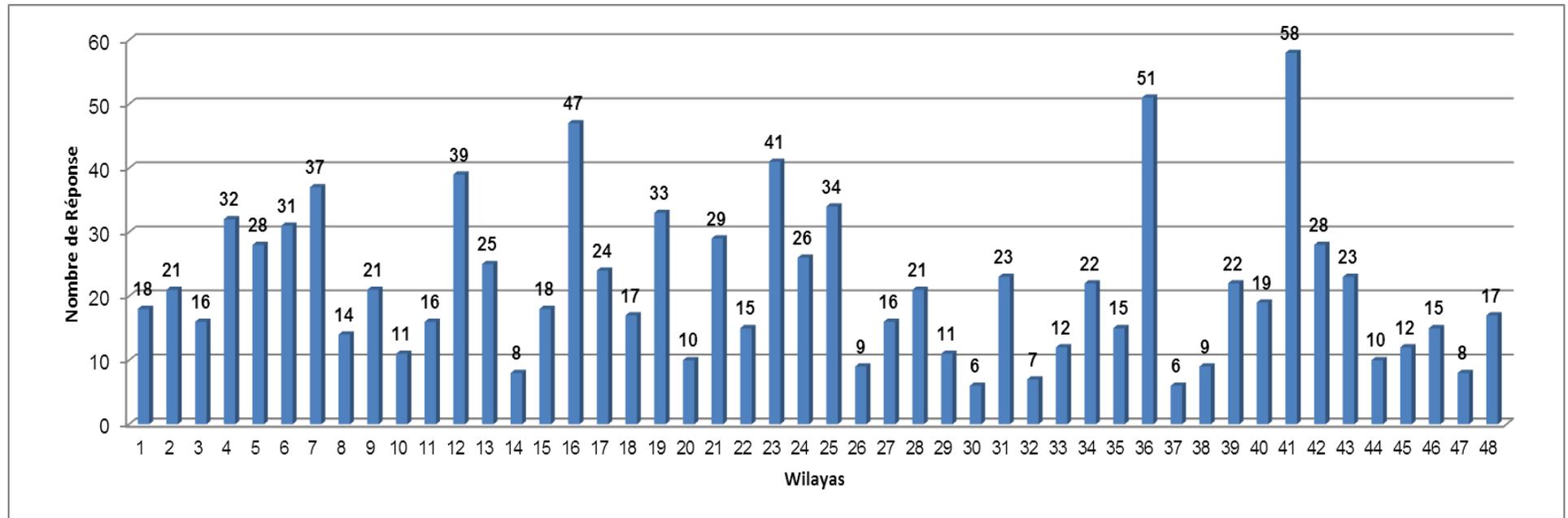


Figure 4.1. Nombre de réponses à l'enquête par wilaya.

Légende : Liste des 48 Wilayas d'Algérie

N	Wilaya
1	Adrar
2	Chlef
3	Laghouat
4	Oum El Bouaghi
5	Batna
6	Bejaïa
7	Biskra
8	Béchar

N	Wilaya
9	Blida
10	Bouira
11	Tamanrasset
12	Tébessa
13	Tlemcen
14	Tiaret
15	Tizi Ouzou
16	Alger

N	Wilaya
17	Djelfa
18	Jijel
19	Sétif
20	Saida
21	Skikda
22	Sidi Bel Abbés
23	Annaba
24	Guelma

N	Wilaya
25	Constantine
26	Médéa
27	Mostaganem
28	M'Sila
29	Mascara
30	Ouargla
31	Oran
32	El Bayadh

N	Wilaya
33	Illizi
34	Borj Bou Arreridj
35	Boumerdés
36	El Tarf
37	Tindouf
38	Tissemsilt
39	El Oued
40	Khenchela

N	Wilaya
41	Souk-Ahras
42	Tipaza
43	Mila
44	Ain Defla
45	Naâma
46	Ain Témouchent
47	Ghardaïa
48	Relizane

Quelques résultats de cette première enquête sont présentés dans l'annexe (A4). Et pour combler cette contrainte (faible taux de réponses), une deuxième enquête a été effectuée pour le cas de la Wilaya de Souk-Ahras (section 4.3).

La méthodologie de l'enquête repose sur une démarche de 4 étapes :

- Étape 1 : le cadrage (détermination des objectifs, de la cible, taille de l'échantillon)
- Étape 2 : l'élaboration du questionnaire
- Étape 3 : la diffusion de l'enquête
- Étape 4 : l'analyse des résultats

4.3. Zone d'étude

La Wilaya de Souk-Ahras est située dans le Nord-Est de l'Algérie (figure 4.2). Elle est frontalière avec la Tunisie et elle est limitée par quatre Wilayas (Wilaya du Nord de El Tarf, au Nord-Ouest de Guelma, à l'Est de Wilaya d'Oum El Bouaghi et au Sud de Wilaya Tebessa). Elle couvre environ une superficie de 4358 km².

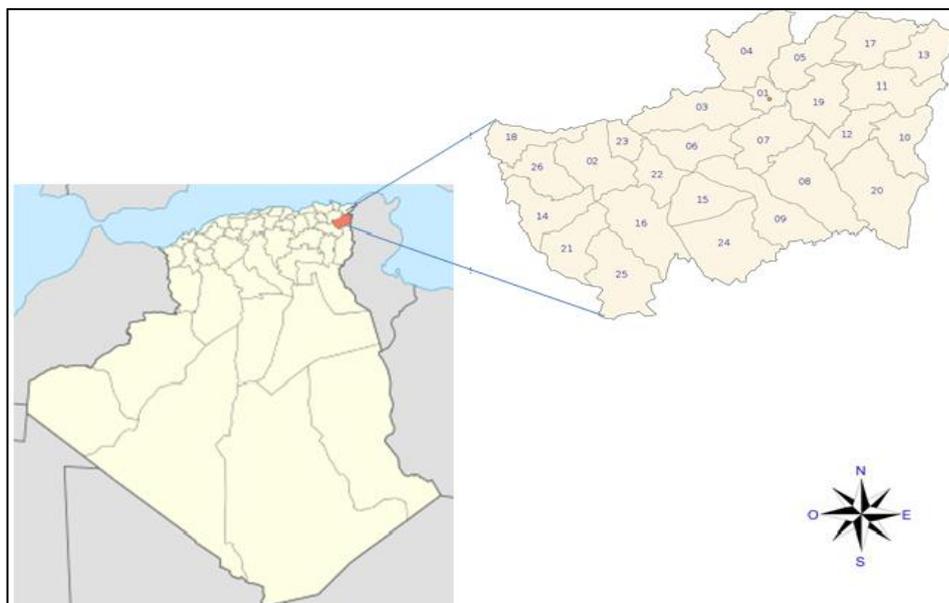


Figure 4.2. Situation de la Wilaya de Souk-Ahras

4.3.1. Présentation de l'unité ADE de Souk-Ahras

Depuis le 1^{er} juillet 2006, la gestion des services d'eau dans la Wilaya de Souk-Ahras est offerte par l'Algérienne des Eaux (ADE), tandis que la gestion des services d'assainissement est assurée par l'office national d'assainissement (ONA). Nous considérons ici uniquement les municipalités gérées par ADE et ONA dans la Wilaya de Souk-Ahras. Elles représentent 16 des 26 communes de la Wilaya (figure 4.3).



Figure 4.3. Carte des Communes gérées par l’ADE

Au niveau local, l'ADE est représentée par l'unité de Souk-Ahras, structurée en 03 centres gérant 16 communes (figure 4.4).

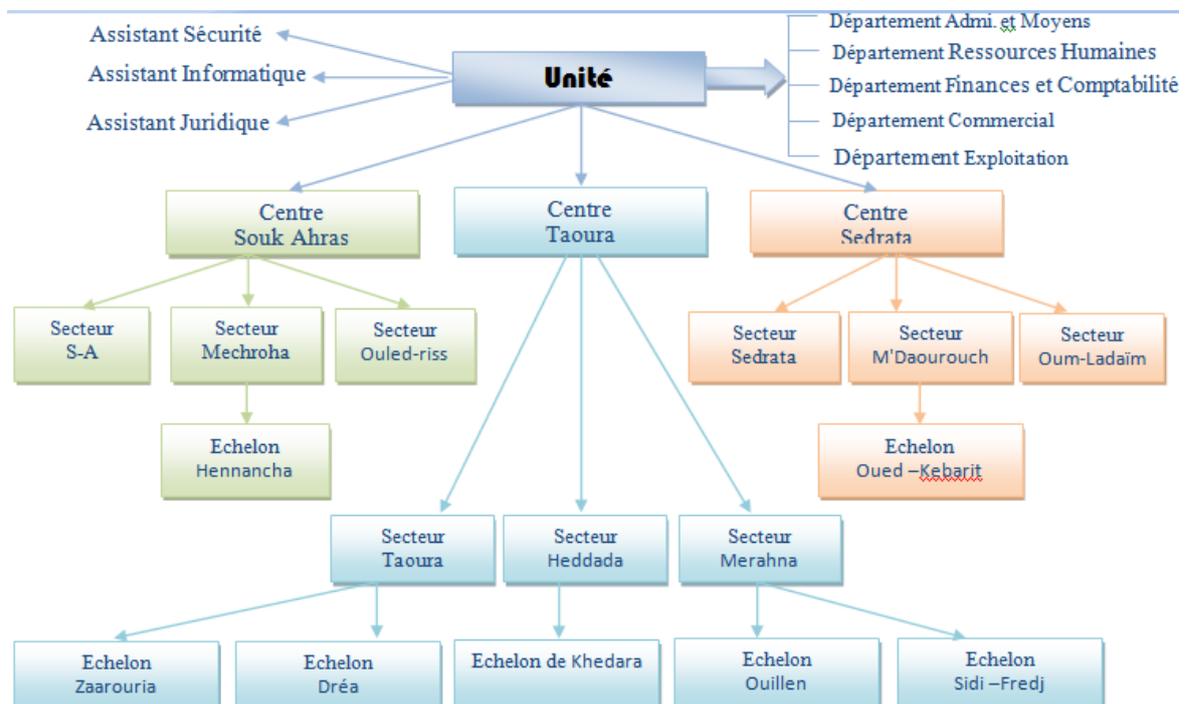


Figure 4.4. Organisation de l’unité ADE de Souk-Ahras

4.3.2. Analyse financière des deux unités ADE et ONA de Souk-Ahras

D’après la législation algérienne relative à l’eau, les services d’eau potable et d’assainissement sont des services publics industriel et commercial : ils doivent disposer statutairement d’un budget équilibré en recettes et en dépenses.

- Les recettes d'exploitation proviennent de la facture d'eau à la charge des usagers.
- Les dépenses comprennent : les frais d'exploitation et d'administration des services, notamment les frais de personnel ; les coûts de maintenance et de réparation, et par définition, ces dépenses ne comprennent pas le coût d'investissement¹.

a) Les coûts de fonctionnement pour les deux services d'eau et d'assainissement de la wilaya de Souk-Ahras

Précisons que les données relatives aux services d'eau et d'assainissement de la wilaya de Souk-Ahras, ne portent que sur les coûts d'exploitation de l'ADE et l'ONA, les coûts d'investissement en eau et assainissement restant à la charge du Ministère des ressources en eau (MRE).

Ces **coûts de fonctionnement** qui déterminent le petit équilibre comptable, comprennent les dépenses suivantes :

- Les frais du personnel ;
- Les dépenses d'électricité ;
- Achat d'eau brute (barrage) ;
- Autres charges : les dépenses d'entretien et de réparation et les frais généraux (véhicules, locaux, direction, matériels de laboratoire, etc.) ;
- Produits chimiques

A partir des données instantanées de l'année 2014, nous avons établi une analyse de ventilation des charges de fonctionnement de l'ADE et de l'ONA de Souk-Ahras (figures 4.5 et 4.6).

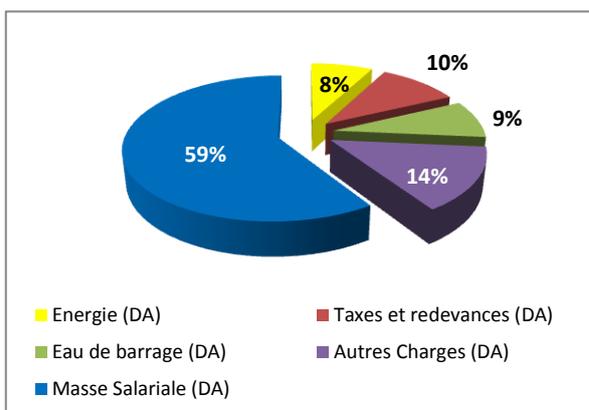


Figure 4.5. Pourcentage des charges « Eau potable », année 2014

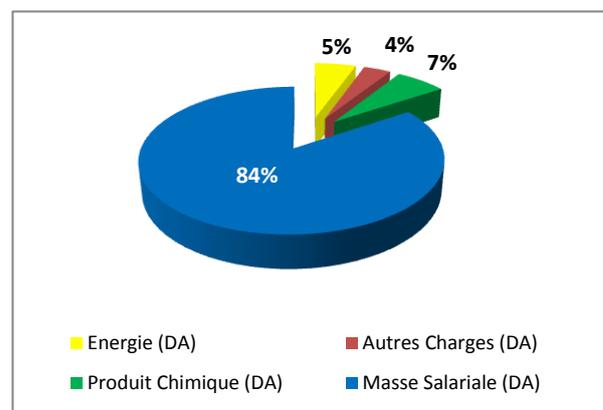


Figure 4.6. Pourcentage des charges «Assainissement», année 2014

¹ Les investissements sont financés par le budget de l'Etat

Cependant, nous avons préféré une analyse dynamique pour la période de 2006 – 2014 (figures 4.7 et 4.8) pour mettre en évidence l'évolution différentielle des charges, et en particulier la hausse relative de la charge salariale pour l'ADE et l'ONA. L'évolution de la charge salariale pour les deux opérateurs suit la même tendance : les charges d'exploitation augmentent sous l'effet d'une hausse nominale continue de la masse salariale.

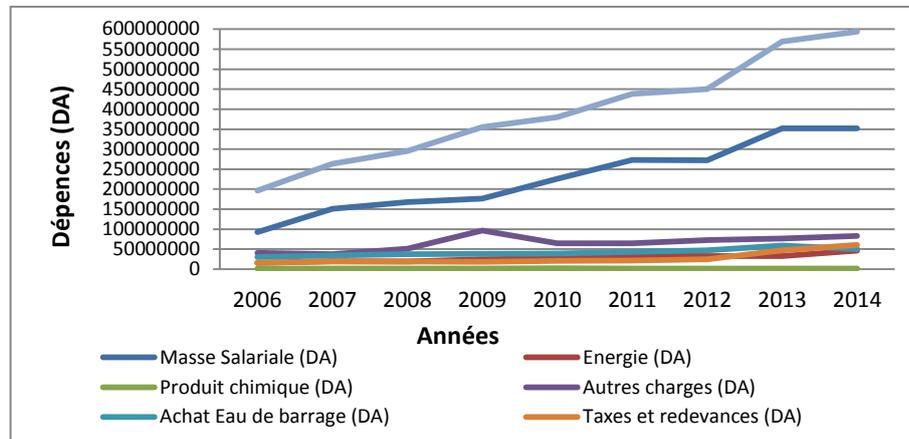


Figure 4.7. Les différentes dépenses nominales du service d'eau potable (ADE, 2006 – 2014)

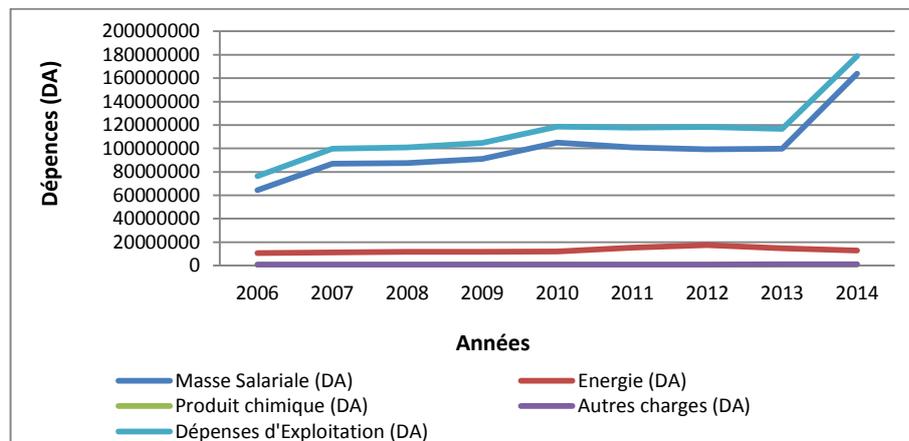


Figure 4.8. Les différentes dépenses du service de l'assainissement (ONA, 2006 – 2014)

Il convient de noter qu'en termes d'évolution indiciaire (figure 4.9), le volume d'eau produit a augmenté moins rapidement que le coût nominal de la masse salariale. Une comparaison entre l'évolution du taux d'inflation et celle de la masse salariale nominale pourrait fournir une indication pertinente à propos de la dynamique de la productivité.

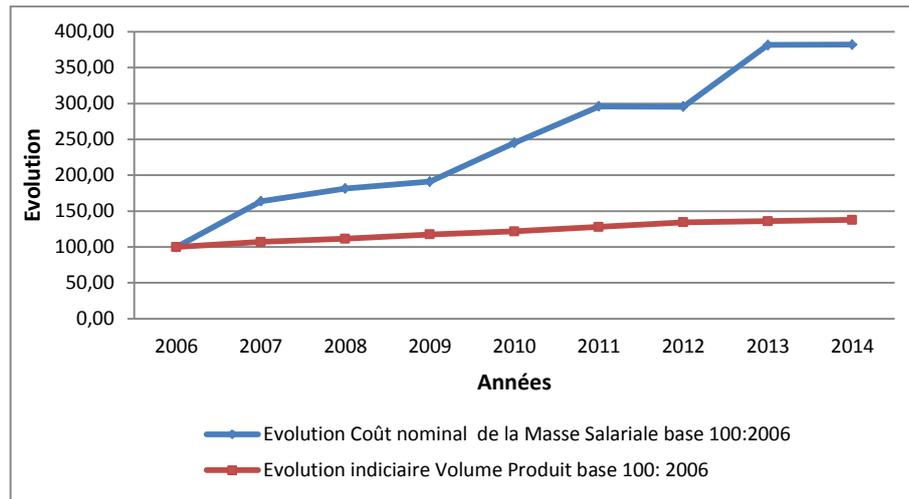


Figure 4.9. Rapport entre la masse salariale / VP et Vd pour la période (2006 – 2014)

b) Les recettes des services d'eau de la wilaya de Souk-Ahras

La figure 4.10, montre que les dépenses d'exploitation ne sont pas couvertes par les recettes facturées et recouvrées par les services d'eau. Donc, le petit équilibre comptable n'est pas atteint pour les services publics d'EPA de la wilaya de Souk-Ahras.

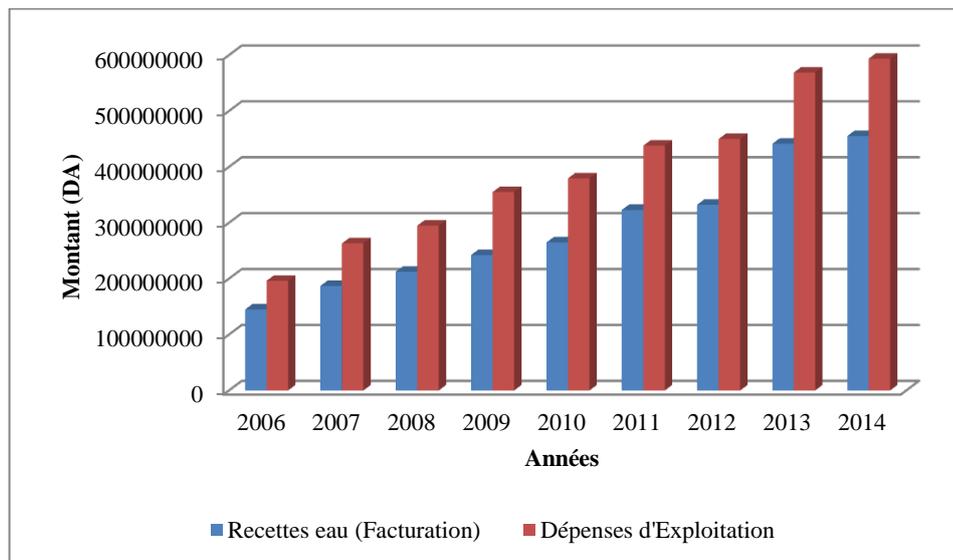


Figure 4.10. La différence entre recettes et dépenses de fonctionnement

Recul des recettes et hausse des dépenses : l'équilibre économique (budgétaire) des SEAP n'est pas atteint. Cette situation conduit les pouvoirs publics à soutenir les opérateurs (ADE et ONA) en leur allouant des subventions.

c) Subvention

L'Etat, à travers son administration (MRE et DRE) ou par l'intermédiaire d'entreprises publiques (ADE et ONA), fournit aux usagers une eau potable tarifée à un montant inférieur à

son coût de production. Les factures des consommateurs ne couvrant qu'une partie des dépenses, d'autres sources de financement, en particulier les subventions, doivent être mises en place. Le mécanisme général des subventions est que l'aide fournie au secteur de l'eau peut abaisser les coûts de production (subvention des coûts d'énergie) mais surtout va accroître substantiellement les ressources des services d'eau potable (subvention directe dans les comptes d'exploitation de l'ADE et l'ONA).

D'après la figure 4.11, les recettes facturées étant inférieures aux dépenses de fonctionnement, une subvention annuelle de la Direction générale (DG-ADE) est versée au compte de l'unité ADE de Souk-Ahras. Le même mécanisme fonctionne pour l'ONA local.

Pour comprendre ce processus de subventionnement, nous avons d'abord analysé l'évolution indiciaire du volume produit (base 100 : 2006) et l'évolution de la subvention réelle² (base 100 : 2006). Nous avons observé que l'évolution du volume produit sur la période de 2006 – 2014 est passée de l'indice 100 à 137, et parallèlement sur la même période le trend de la subvention (hors inflation) a évolué de l'indice 100 à 262.

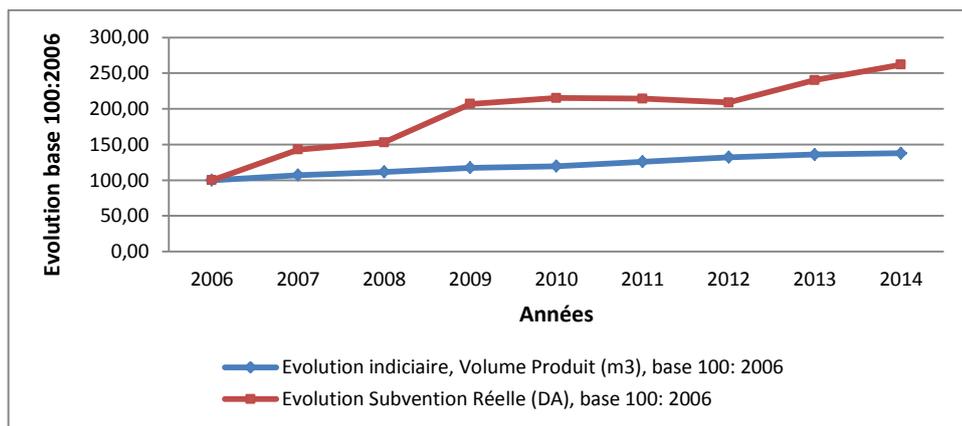


Figure 4.11. Evolution indiciaire des volumes et de la subvention réelle

Cela signifie que sur la période la subvention réelle a évolué plus rapidement que la production en volume.

En conclusion des sections précédentes, il apparaît que le système de gestion des SEPA nécessite un important appui budgétaire public pour assurer les grands investissements dans le secteur de l'eau, identiquement d'importantes subventions directes conditionnent l'équilibre du compte d'exploitation de chaque unité ADE et ONA. Les services d'eau et d'assainissement en Algérie ont toujours souffert d'une faiblesse financière (Boukhari, 2013 ; Haddadi, 2013) en recherchant des solutions pour améliorer les recettes destinées à couvrir les

² Hors inflation

dépenses de fonctionnement. Face à cette situation, les premières questions à laquelle sont confrontés les deux services sont les suivantes:

- Comment assurer la durabilité économique du service, dans un contexte difficile?
- Dans une approche à long terme quelle est la nature (viabilité) de l'équilibre économique de long terme (modèle économique dynamique) ?

Selon les données disponibles et l'analyse proposée, il apparaît que les deux unités locales ADE et ONA sont loin du recouvrement intégral des coûts en raison des faibles tarifs (politique sociale de l'Etat) et de la masse des dépenses. Sur la base de ce constat, un questionnement se pose : comment un service de l'eau organise-t-il son fonctionnement et assure la viabilité économique des services?

4.3.3. Analyse technique des deux unités ADE et ONA de Souk-Ahras

En 2014, l'unité ADE de la wilaya de Souk-Ahras compte 66199 abonnés domestiques (ADE, 2015). Elle gère un important patrimoine hydraulique (tableau 4.1) constitué essentiellement de : 718.080 ml de réseaux de distribution d'eau potable et 365.630 ml de réseaux d'adduction, 91 réservoirs de stockage d'eau potable, 19 stations de pompage, 30 forages, une station de traitement.

Tableau 4.1. Infrastructures hydraulique des communes gérées par l'unité de Souk-Ahras

N°	Localités	Nombre de Forages	Nombre de Réservoirs	Adduction (Km)	Distribution (Km)	Station de pompage
1	Souk-Ahras	03 + 01 Source	22	55,39	138,21	3
2	Macheroha	01 + 03 Sources	8	50,76	57,82	1
3	Hennanecha	02 Sources	4	24,08	15,37	2
4	Ouled Driss	03 Sources	5	8,58	52,28	2
5	Taoura	5	8	17,82	29,12	1
6	Merahena	/	6	16,3	31,32	1
7	Ouilen	2	3	10,27	22,42	/
8	Drea	3	2	5	25,52	/
9	Zaarouria	/	5	11,53	20,28	1
10	Oued Kebrit	01 Source	3	6,5	10,58	1
11	Oum ladaim	01 Source	2	5,73	45,22	1
12	Sidi Fredj	1	1	41	65,68	/
13	Sedrata	03 Sources	8	42,5	64,64	3
14	M'Daourouch	/	6	17,15	39,85	1
15	Heddada	3	6	36,82	61,41	2
16	Khedara	1	2	16,2	39,08	/
	Total	29	91	365,63	718,08	19

Source : ADE, 2015

L'âge moyen du réseau de distribution de Souk-Ahras est d'environ 25 ans (BCEOM, 2008), et, dans les trois dernières années, de nombreux projets de réhabilitation des réseaux de distribution d'eau potable ont été réalisés. Le volume produit en 2014 était de 19.983.000 m³

pour une population de 446 012 habitants, soit une disponibilité théorique de 120 (l/h/j) (ADE, 2015).

Avant d'entamer l'enquête chez les abonnés pour le cas de la Wilaya de Souk-Ahras, une visite sur terrain a été effectuée. Le but de ces sorties est de voir sur le terrain les problèmes rencontrés par les gestionnaires de l'ADE et ONA. Nous avons constatés un taux élevé des fuites en eau sur les réseaux (photos 4.1 – 4.5).



Photo 4.1. Fuite sur la conduite d'adduction de la nappe de Taoura (Souk-Ahras)



Photo 4.2. Fuite sur la conduite d'adduction DEKMA-SNIC (Souk-Ahras)



Photo 4.3. Fuites d'eau sur réseau de distribution (lotissement Diar Zerga, Souk-Ahras)



Photo 4.4. Fuite d'eau sur un branchement (Rue des écoles, Souk-Ahras)



Photo 4.5. Fuite d'eau dans un compteur

De son côté, l'ONA contrôle 864 km de réseau d'assainissement et 3 stations d'épuration. Pour mener à bien ces missions, ces deux unités mobilisent 686 salariés (414 employés pour les services d'eau potable et 272 pour l'assainissement). Les services de l'ONA ont enregistré des cas de Maladies à Transmission Hydriques (MTH) suite à l'infiltration de l'eau usés dans les réseaux d'alimentation en eau potable (photo 4.6).



Photo 4.6. Exemple des risques de MTH (Rue Mouloude Feraoun, Souk-Ahras)

4.4. Résultats et discussions

L'objectif de l'enquête est de connaître les attentes et les jugements des abonnés: cette enquête chez les ménages a été menée sur les 16 communes gérées par l'ADE et l'ONA de la wilaya de Souk-Ahras.

Cette enquête vise six grands axes principaux. Le premier est consacré aux caractéristiques socio-économiques des ménages (le revenu du chef de famille, la taille du ménage, le nombre de personnes dans l'habitation...etc.). Le deuxième est orienté aux caractéristiques de l'habitation (le type de l'habitation...etc.). Le troisième axe a pour but d'analyser la qualité de

l'offre de services d'eau potable et d'assainissement. Le quatrième est consacré à la qualité de l'eau distribuée. Le cinquième est consacré au prix de l'eau. Enfin, dans le sixième axe, les ménages sont interrogés pour savoir s'ils sont d'accords pour payer plus ou non pour différentes raisons.

- *Étape 1 : le cadrage*

Avant de commencer l'enquête, des entretiens ont été menés auprès des responsables commerciaux de l'ADE de la wilaya de Souk-Ahras pour connaître le nombre des abonnés de chaque commune de la wilaya. Cette étape a pour but de définir le nombre de l'échantillon de chaque commune (tableau 4.2).

Tableau 4.2. Nombre et pourcentage des abonnés enquêtés pour le cas de la wilaya de Souk-Ahras

Nombre commune	Communes	Nombre Abonnés ³	Nombre des Abonnés enquêtés	Pourcentage
1	Souk-Ahras	24349	2500	10,27%
2	Mechrouha	2116	215	10,16%
3	Ouled Driss	1028	115	11,19%
4	Hennancha	727	110	15,13%
5	Taoura	3242	330	10,18%
6	Drea	764	80	10,47%
7	Zaarouria	909	110	12,10%
8	Merahna	2089	210	10,05%
9	Heddada	1248	140	11,22%
10	Khedara	727	75	10,32%
11	Ouillene	327	37	11,31%
12	Sidi Fredj	259	30	11,58%
13	Sedrata	8012	715	8,92%
14	M'Daourouch	4962	500	10,08%
15	Oum Laadaim	916	95	10,37%
16	Oued-Kebrit	770	80	10,39%
Total			5342	10,86%

Le nombre des abonnés enquêtés est de 5342 abonnés avec un taux de 10,86% (plus de 10 % de nombre d'abonné pour chaque commune). Le nombre des abonnés enquêtés est représenté dans la figure 4.12, et les taux d'enquêtes dans la figure 4.13.

³ Données collectées auprès du département commercial de l'ADE de Souk-Ahras (ADE, 2016)

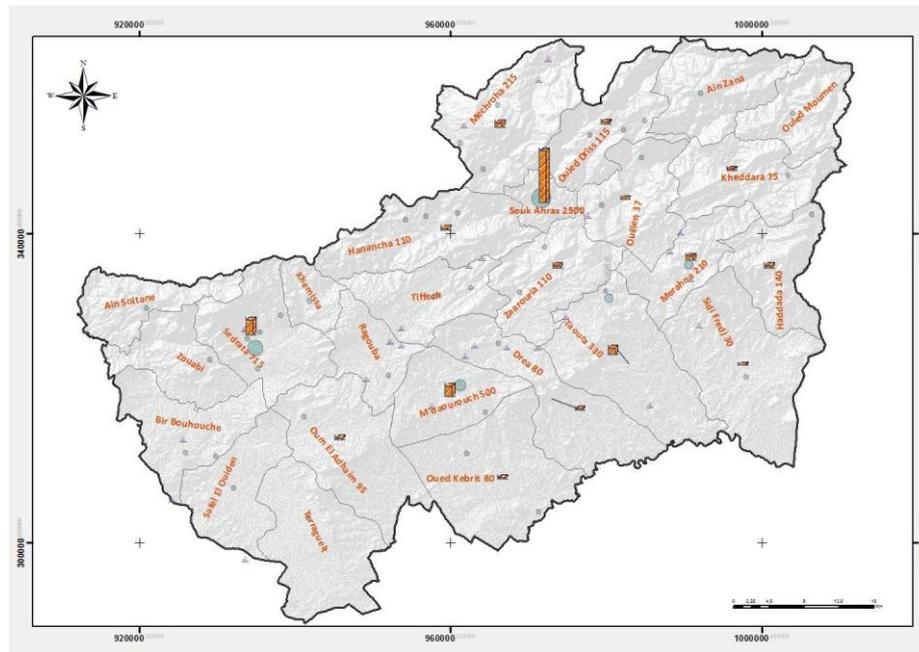


Figure 4.12. Présentation du nombre des abonnés enquêtés

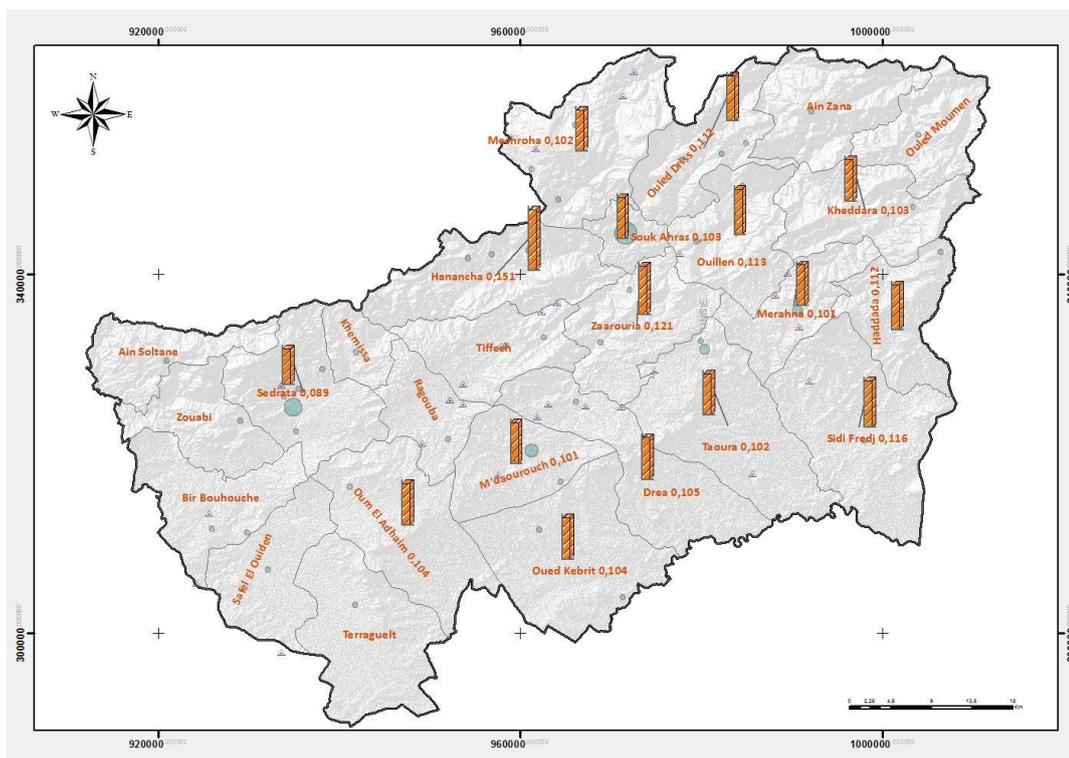


Figure 4.13. Présentation des Taux de l'enquête par commune de la wilaya de Souk-Ahras

- *Étape 2 : l'élaboration du questionnaire*

La mise au point d'un questionnaire est un exercice délicat, il s'agit en effet de collecter des informations qui apportent des précisions utiles pour évaluer la durabilité des deux services locaux (ADE et ONA). Ces informations doivent contribuer à donner des indicateurs de performances sur les actions à entreprendre pour améliorer les services de l'eau. Les questions

sont organisées selon une séquence claire, ordonnée par rubrique (Annexe A4), en commençant par des questions simples qui mettent l'abonné en confiance.

- **Étape 3 : la diffusion de l'enquête**

L'enquêteur est rendu au domicile de personnes sélectionnées aléatoirement dans chaque quartier de ces 16 communes, accompagné d'un questionnaire imprimé sur papier pour lui faciliter la collecte des informations.

Pour le cas de la ville de Souk-Ahras et à l'aide du fichier d'abonnés nous avons procédé à une classification des abonnés en 17 secteurs géographiques (figure 4.14).



Figure 4.14. Plan de la distribution des enquêtes par secteur pour la ville de Souk-Ahras

- **Étape 4 : l'analyse des résultats**

Le but de cette section est de faire une interprétation des résultats de l'enquête chez les abonnés pour le cas national (48 wilayas) et local (16 communes de la wilaya de Souk-Ahras).

Une première lecture descriptive des résultats de l'enquête, nous fournit plusieurs éléments pour évaluer l'offre de services d'eau potable et d'assainissement.

1. Caractéristiques de l'habitation

1.1. Type d'habitat

Dans cette rubrique, nous avons collecté quatre types d'informations : type d'habitat et les propriétaires de ces logements (figure 4.15) et le nombre de famille par maison (figure 4.16) et aussi le nombre de personne par maison (figure 4.17).

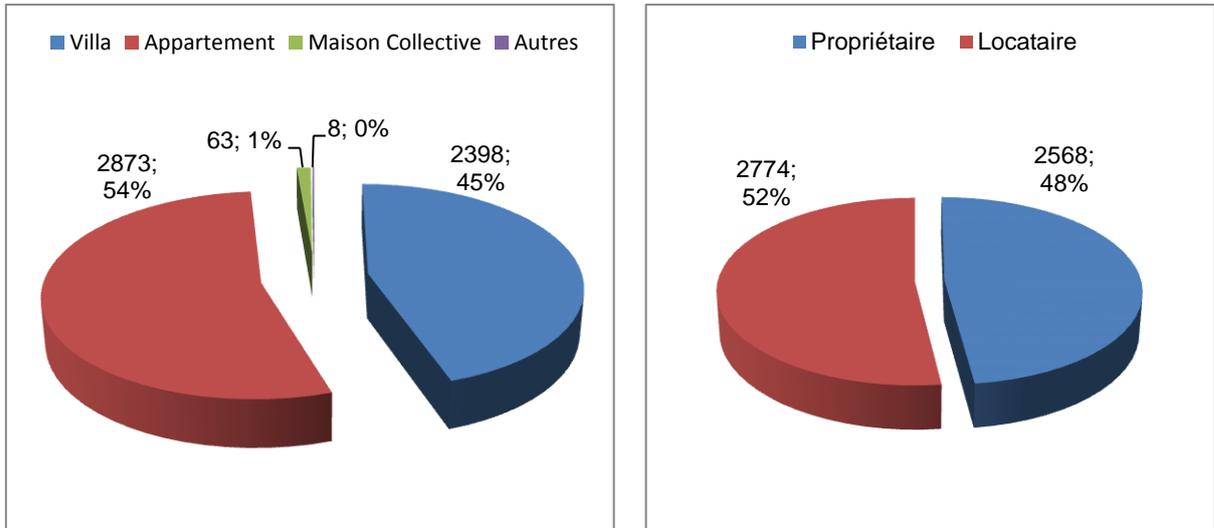


Figure 4.15. Type d'habitat

1.2. Nombre de famille dans la maison

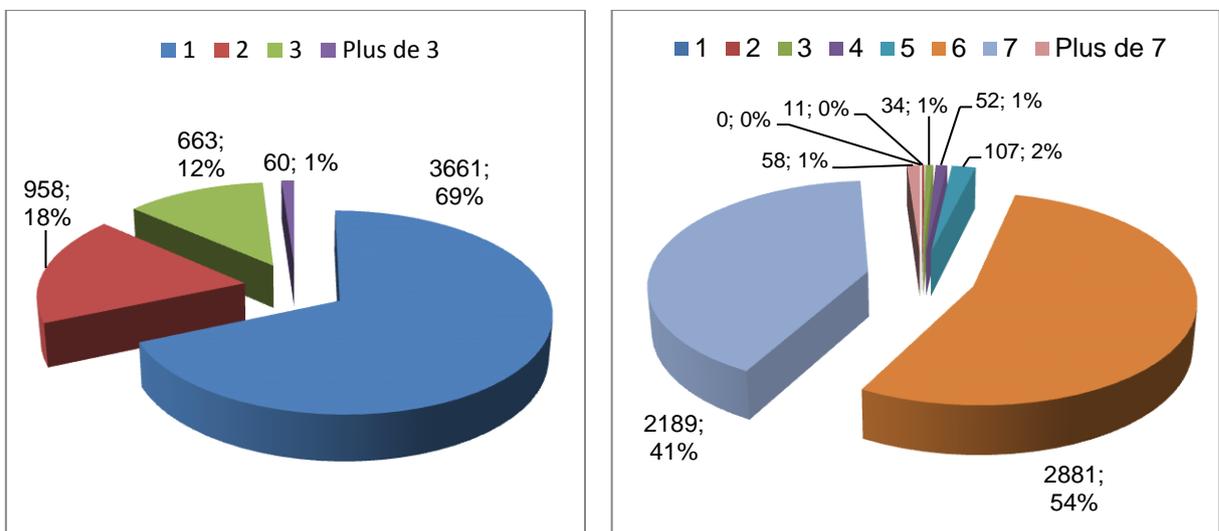


Figure 4.16. Nombre de famille par Maison Figure 4.17. Nombre de personne par Maison
 Nombre de personne dans la maison : La taille moyenne des ménages dans la région est de l'ordre de 3 à 4 enfants.

2. Caractéristiques socio-économiques des ménages

L'analyse des statistiques descriptives nous permet de constater que le revenu moyen des ménages enquêtés se situe au niveau de

2.1. Salaire mensuel

45% des abonnés enquêtés ont un salaire mensuel entre 1800 DA et 3600 DA (figure 4.18).

2.2. Consommation de l'eau par trimestre

40% des abonnés enquêtés ont une consommation de l'eau entre 26 et 55 m³ par trimestre et 38% ont une consommation moins de 25 m³ par trimestre (figure 4.19).

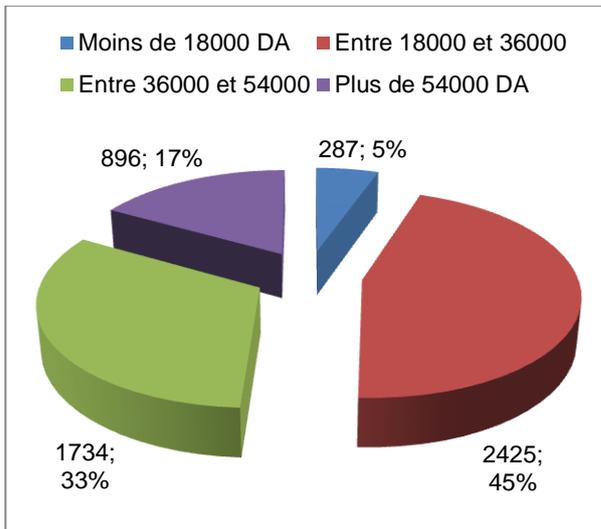


Figure 4.18. Le salaire mensuel

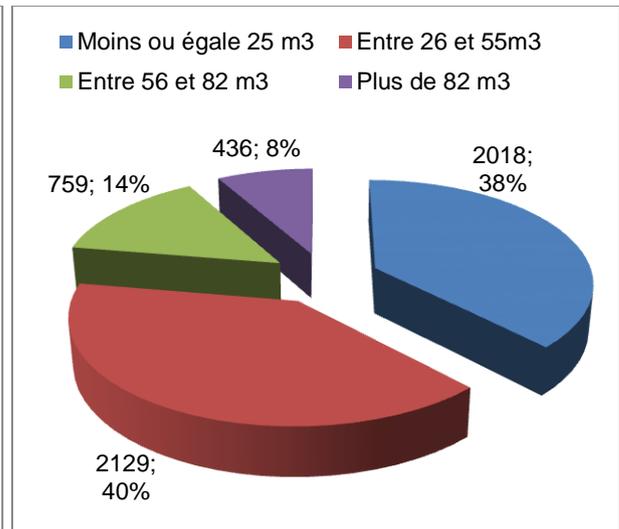


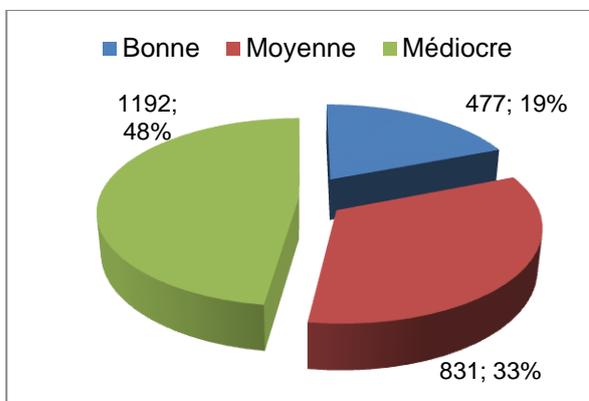
Figure 4.19. La consommation de l'eau par trimestre

3. La qualité des services

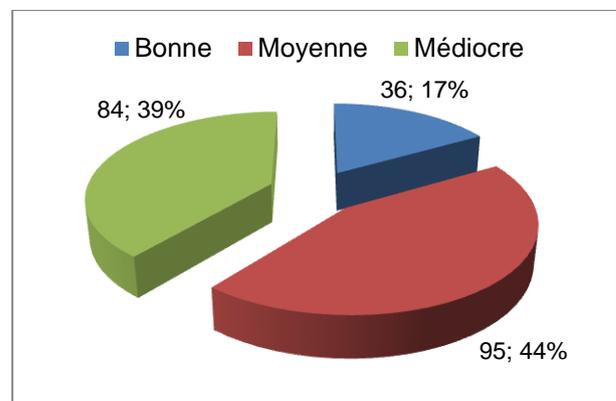
Dans cette rubrique les ménages sont interrogé sur comment ils trouvaient la qualité de l'offre de services de l'eau potable et d'assainissement?

3.1. La qualité des services d'eau potable

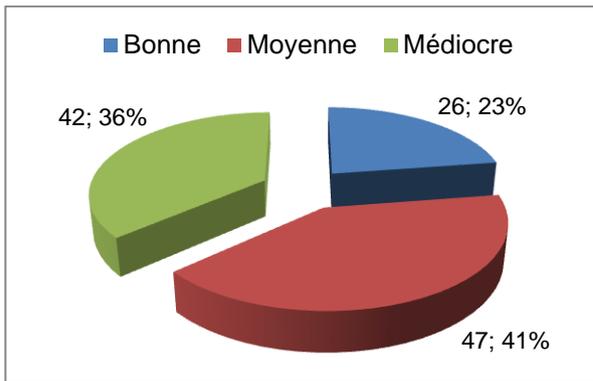
Nous avons constaté que entre 36% et 64% des ménages trouvent que la qualité de l'offre du service de l'eau potable est médiocre (figure 4.20).



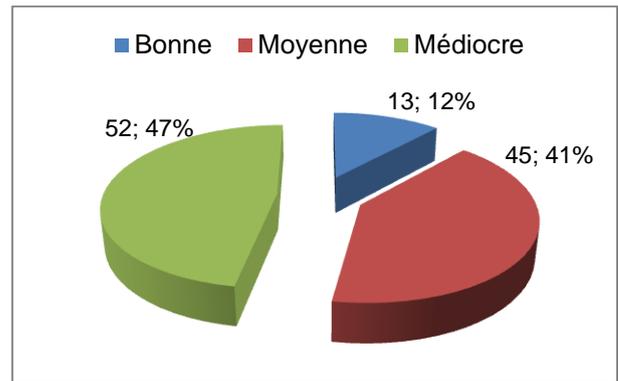
Souk-Ahras



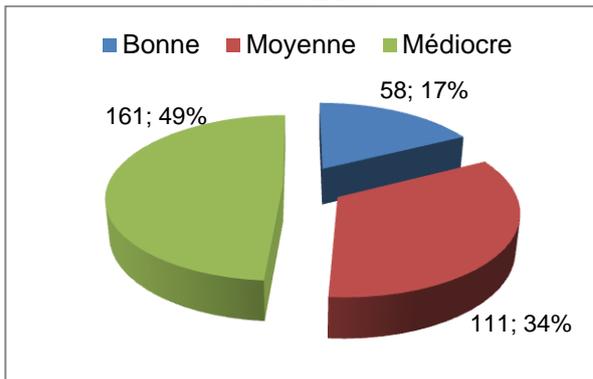
Machrouha



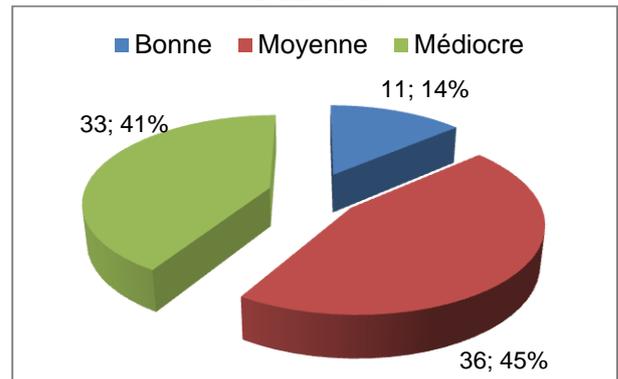
Ouled Driss



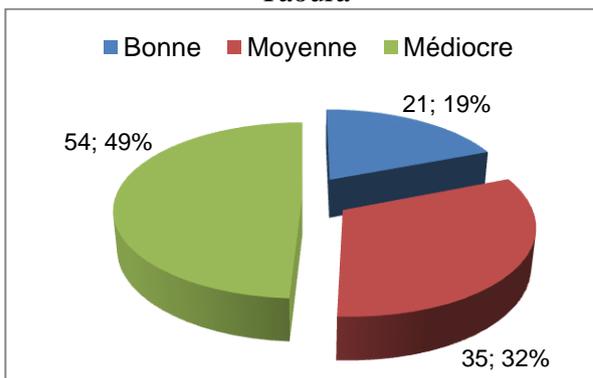
Hennancha



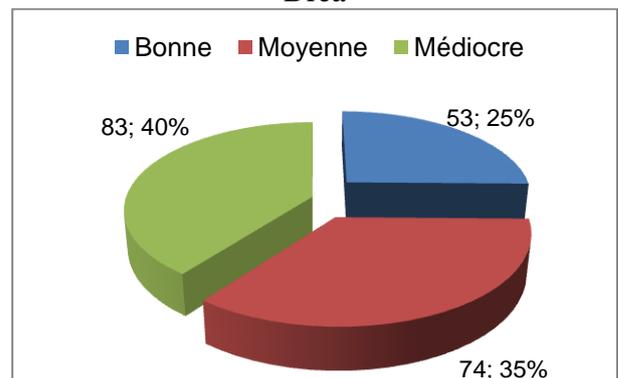
Taoura



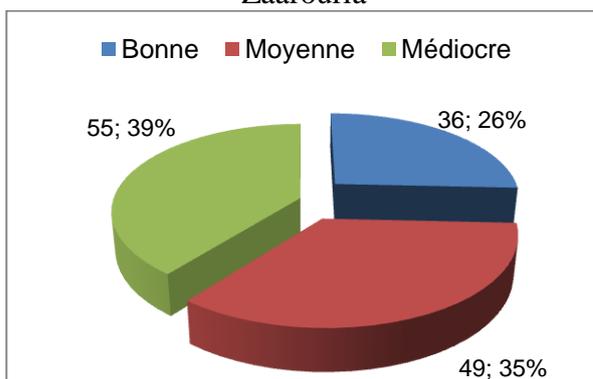
Drea



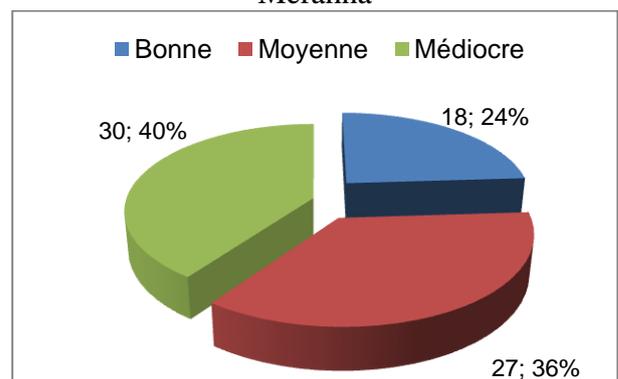
Zaarouria



Merahna



Heddada



Khedara

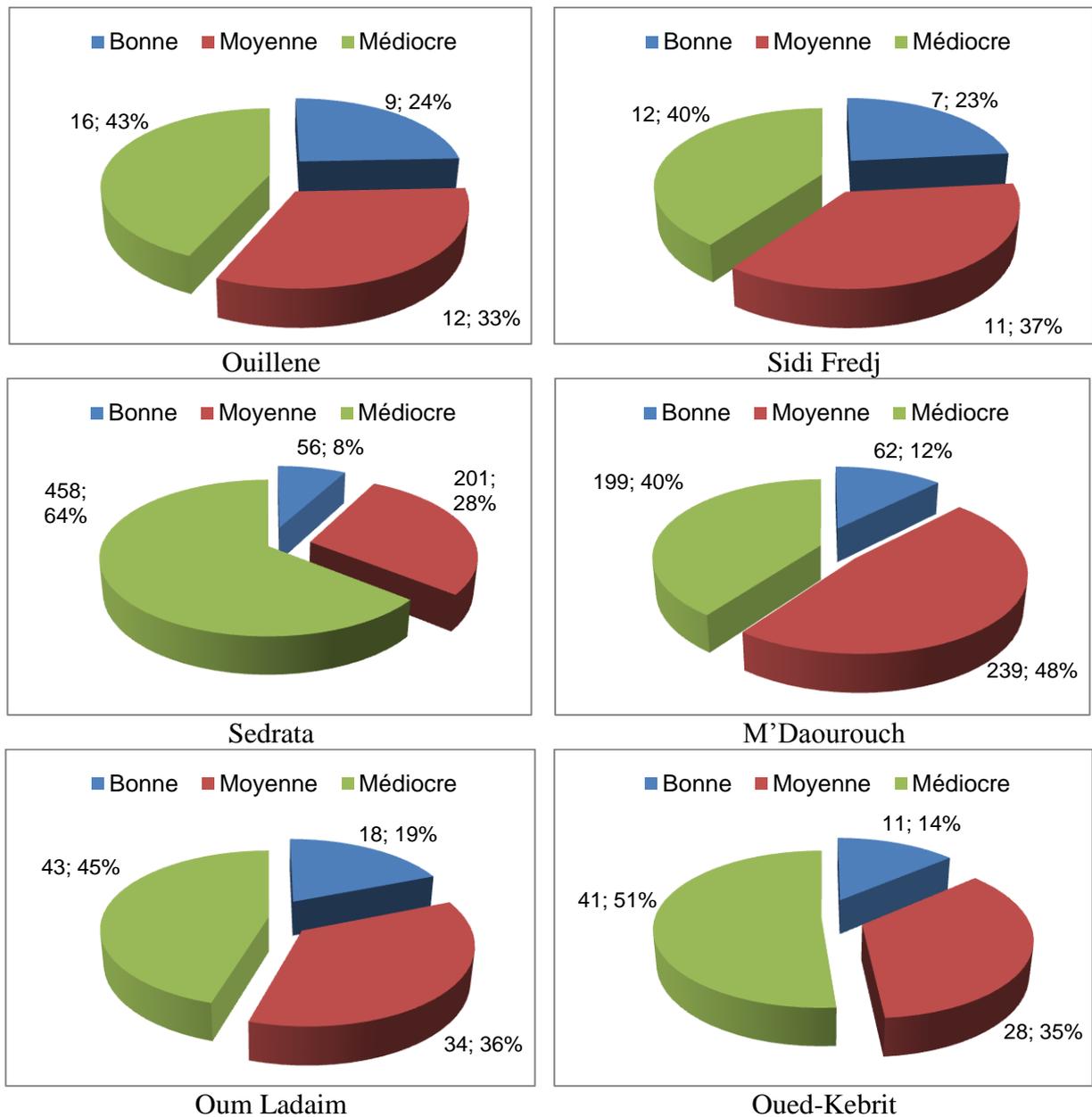


Figure 4.20. Qualité de l'offre de services d'eau potable par commune

3.2. L'eau fournit par les services d'eau couvre vos besoin ?

Le système de stockage : Ce stockage a un coût qui englobe le prix des réservoirs, les canalisations et parfois une pompe électrique pour remonter l'eau. Le prix des réservoirs varie selon la taille et la qualité du matériel utilisé du réservoir. D'après l'enquête 95 % des abonnés enquêtés, utilisent des jerricanes d'eau comme moyens de stockage.

Ceux qui ne possèdent pas des moyens de stockage suffisants, et ceux qui n'ont pas accès à l'eau du réseau, se trouvent obligés d'acheter l'eau des camions citernes ou de demander occasionnellement à leurs voisins de leurs fournir de l'eau.

La situation de pénurie qui prévaut depuis de nombreuses années a contraint une partie des abonnés à s'équiper de réserves de stockage fixes, constituées généralement de cuves métalliques. Selon l'enquête ils seraient environ 20% à disposer de ce type d'installation (photo 4.7). L'utilisation de réserves fixes (cuves, citernes) n'est pas le seul moyen de stocker l'eau. En effet la quasi-totalité des abonnés (95%) indiquent qu'ils ont recours également à des jerricans.



Photo 4.7 : Exemples d'équipements de stockage (fixes ou transportables)

3.3. Buvez-vous directement l'eau du robinet?

54,75% des abonnés ont déclaré qu'ils boivent directement l'eau du robinet contre 45,25% qui utilisent d'autres solutions (figure 4.21)

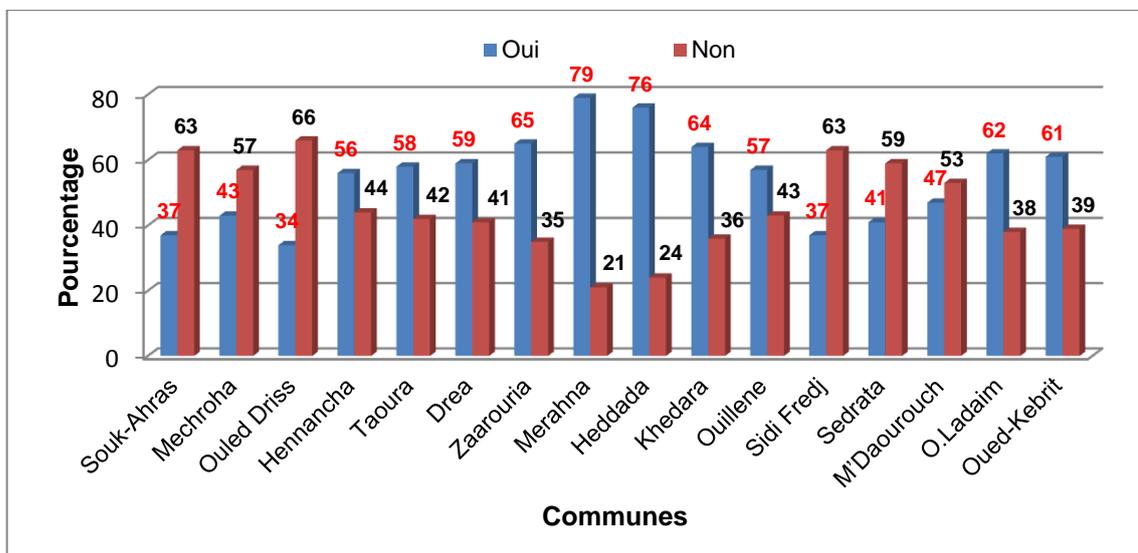
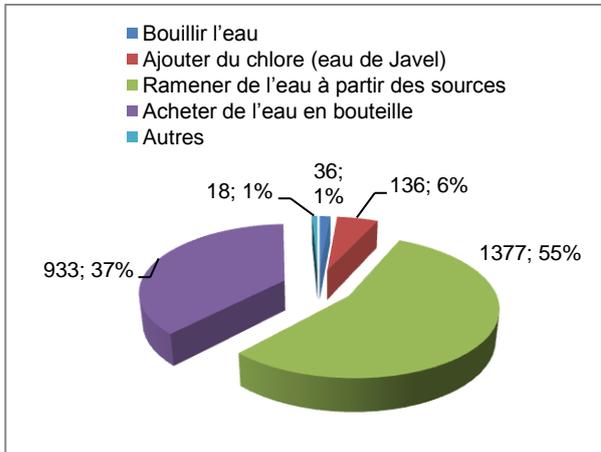


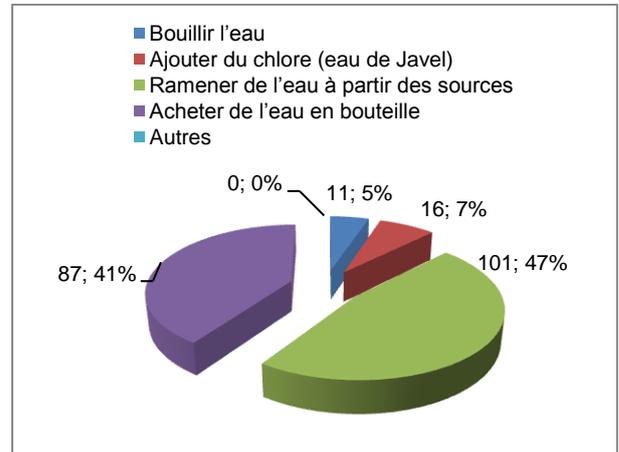
Figure 4.21. Pourcentage des abonnés qui boivent directement l'eau

3.4. Si la réponse est négative (non), qu'est-ce que vous faisiez?

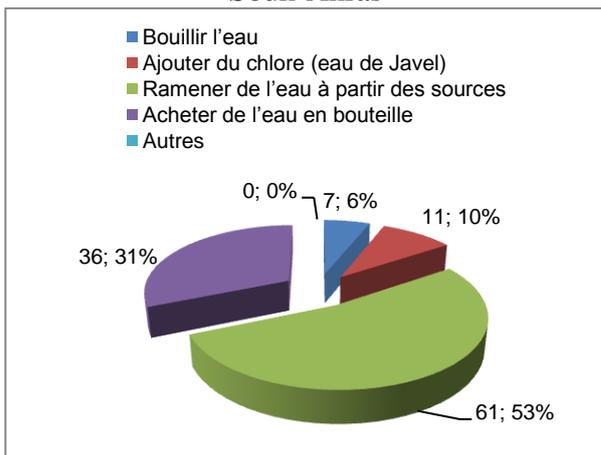
Pour le cas des abonnés qui ont déclaré qu'ils ne boivent pas directement l'eau de robinet, la plus part (42% et 64%) ont déclaré qu'ils ramènent de l'eau à partir des sources et (28% et 43%) achètent de l'eau en bouteille (eau minérale et eau de sources). Pour les cas restants, ils font bouillir de l'eau ou ajouter du chlore (eau de Javel) à l'eau du robinet (figure 4.22).



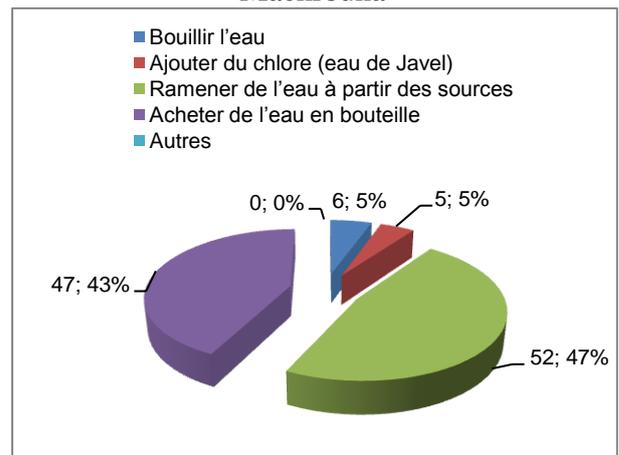
Souk-Ahras



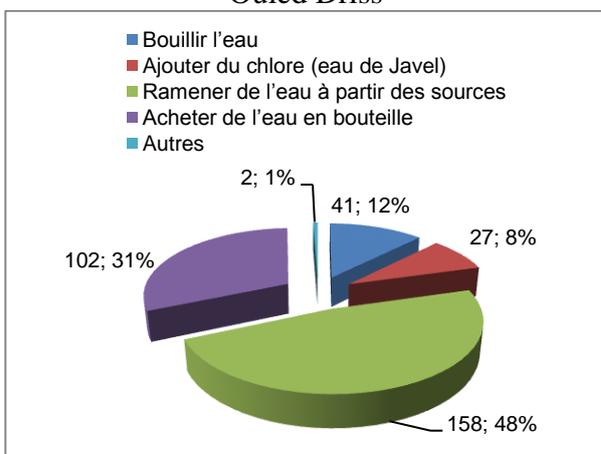
Machrouha



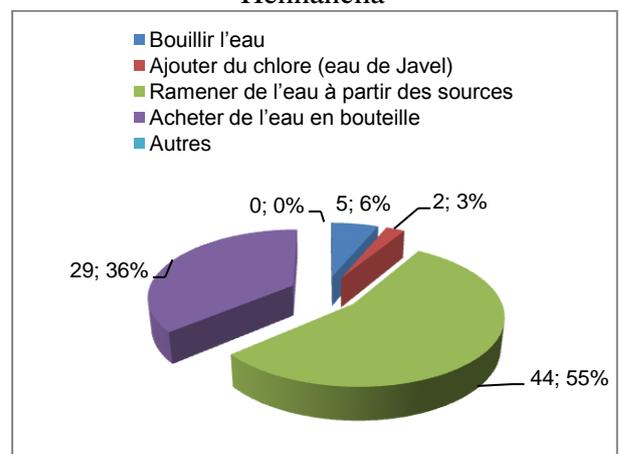
Ouled Driss



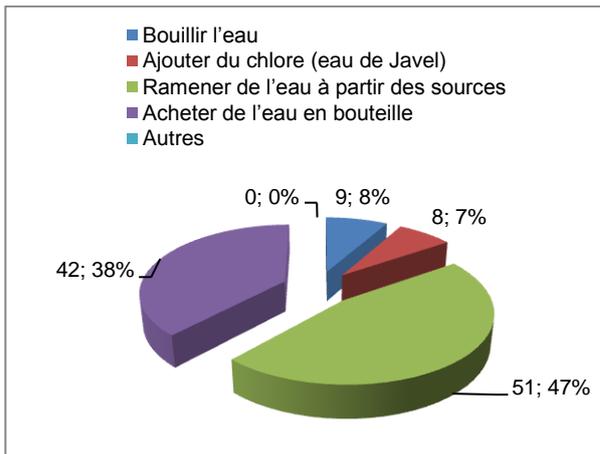
Hennacha



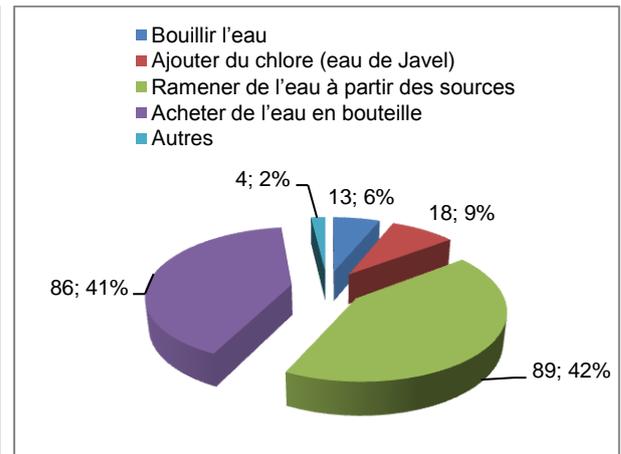
Taoura



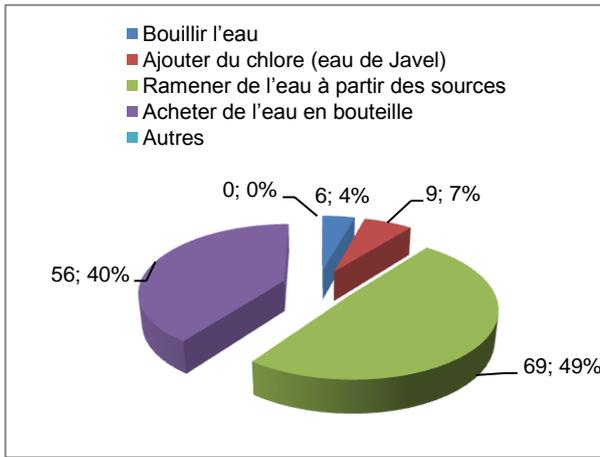
Drea



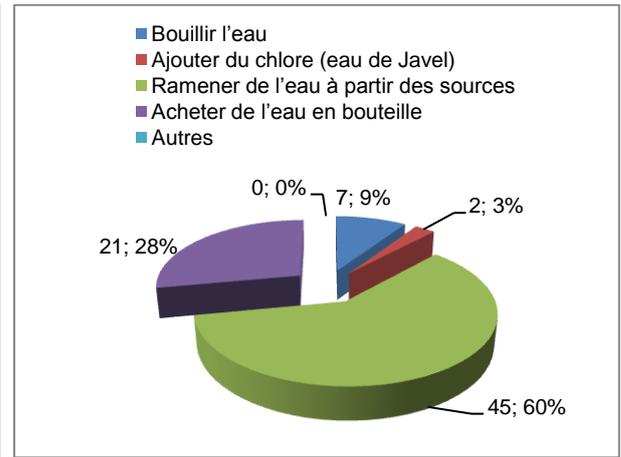
Zaarouria



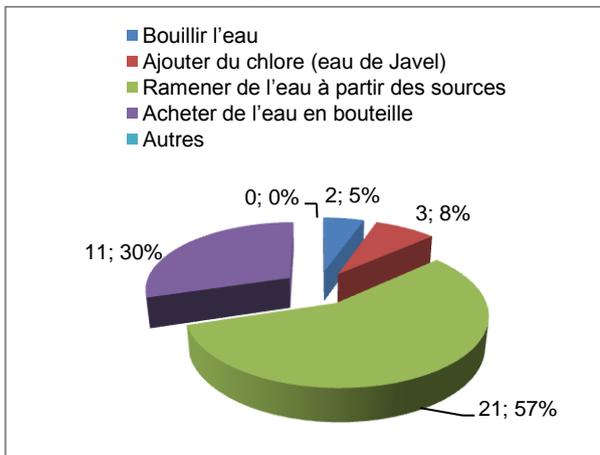
Merahna



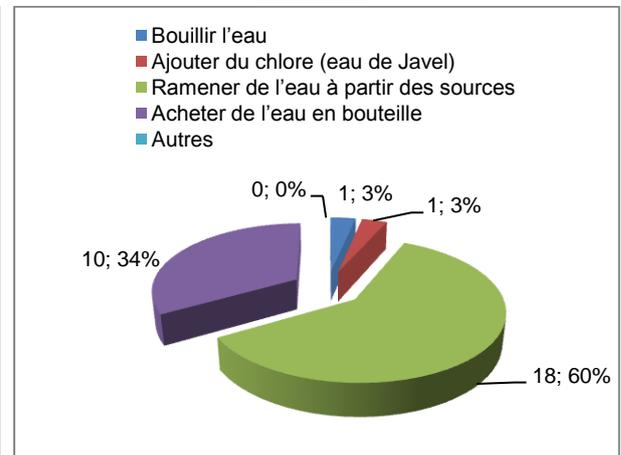
Heddada



Khedara



Ouillene



Sidi Fredj

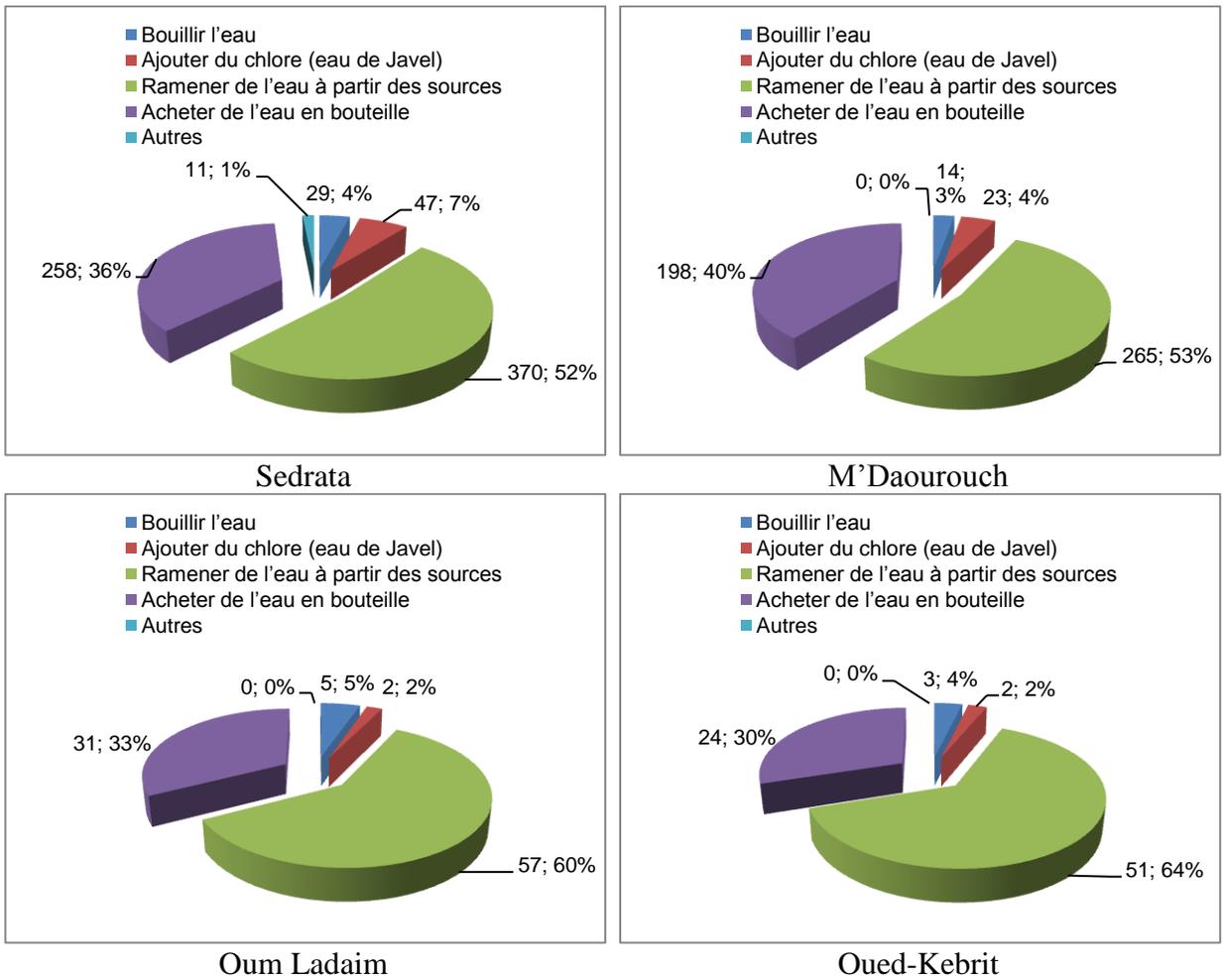
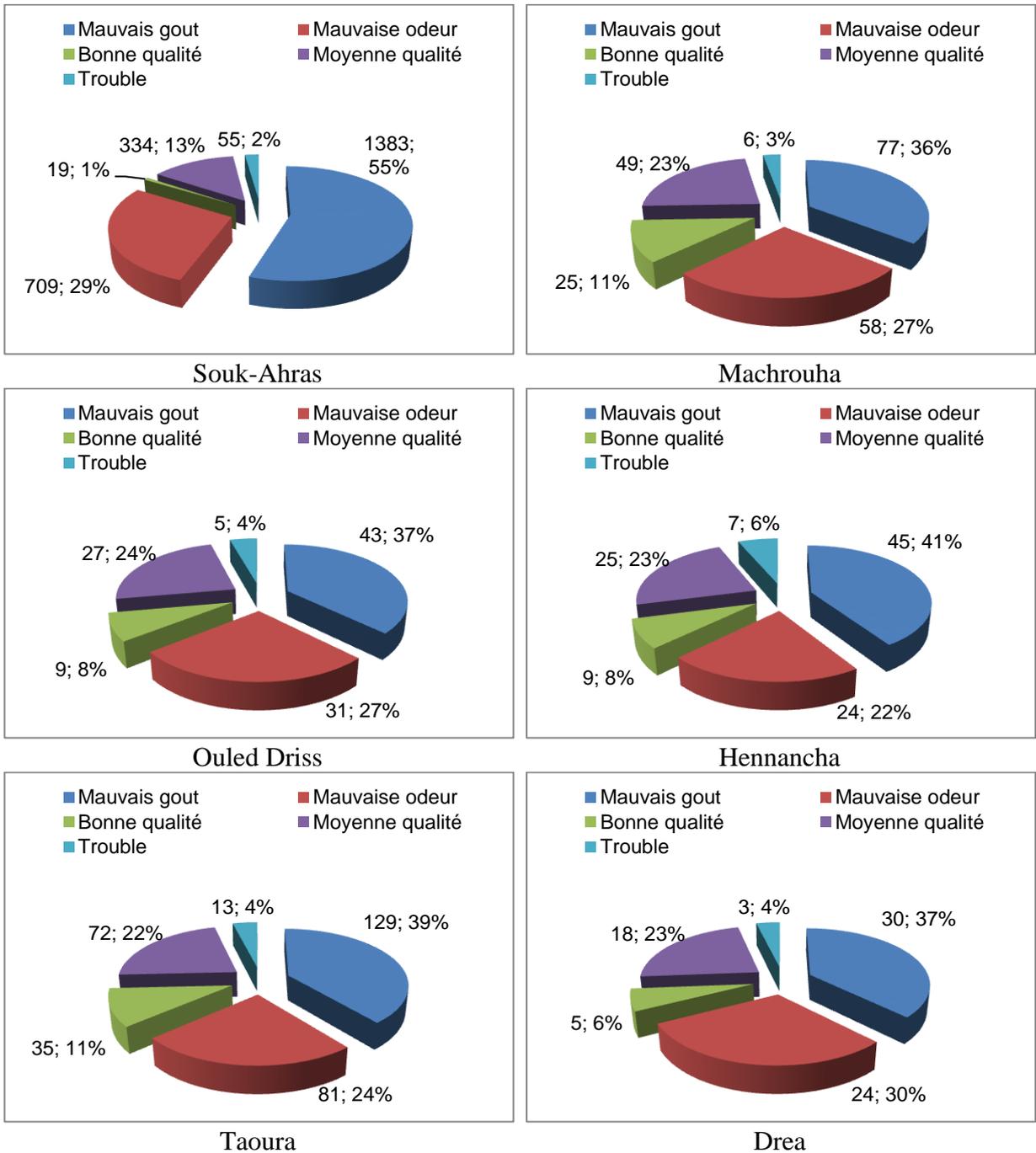
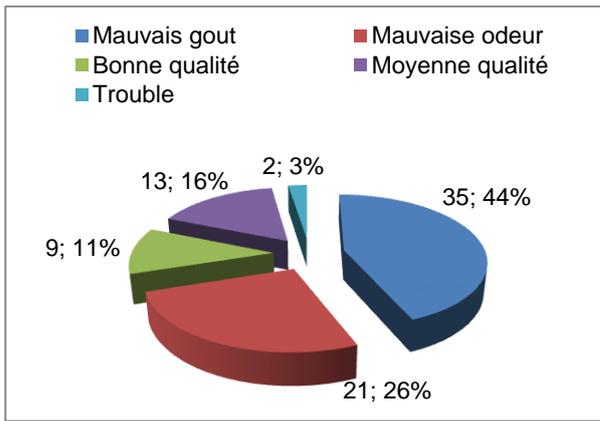


Figure 4.22. Consommation de l'eau distribuée par commune

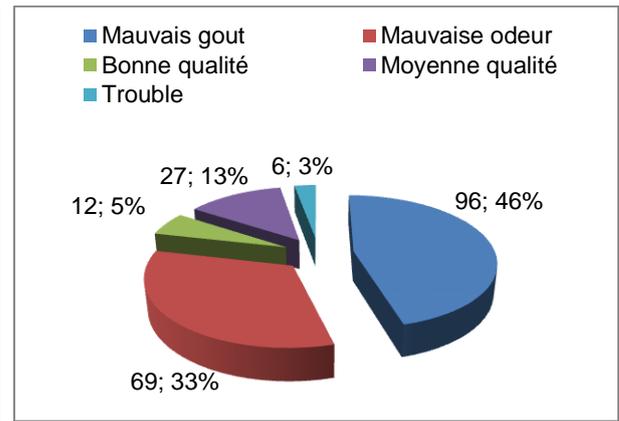
3.5. La qualité de l'eau distribuée est?

La question posée dans cette rubrique est comment les ménages trouvaient la qualité de l'eau distribuée (eau du robinet) ? La majorité écrasante de notre échantillon (41,56%) trouvent que la qualité de l'eau est mauvaise avec un mauvais goût (figure 4.23).

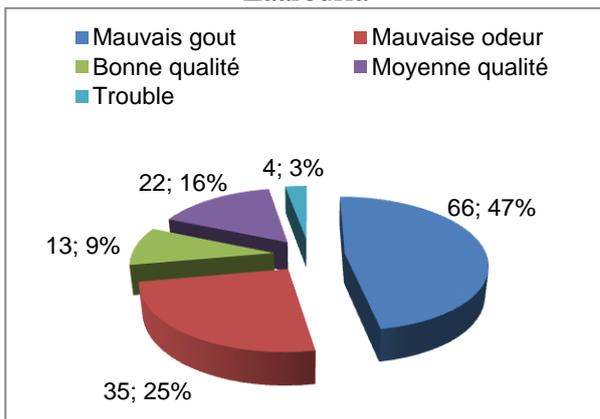




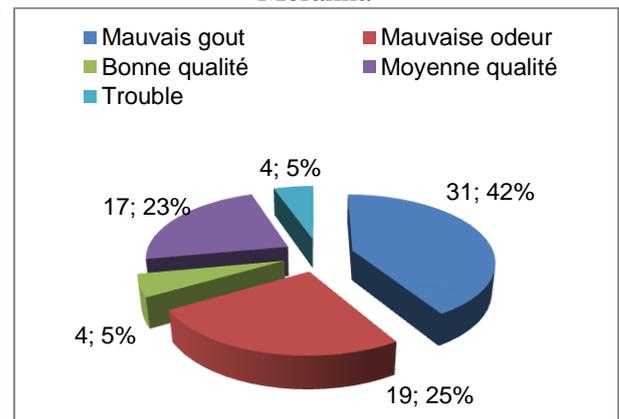
Zaarouria



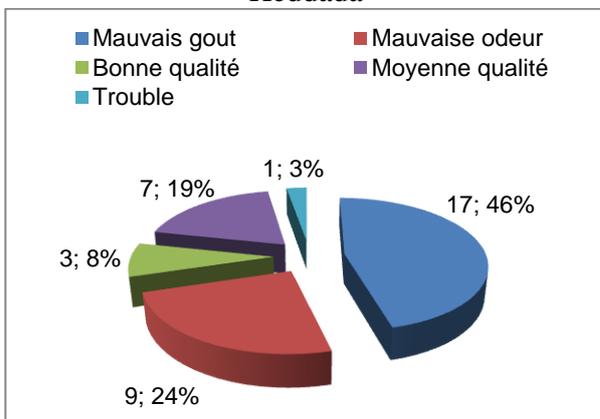
Merahna



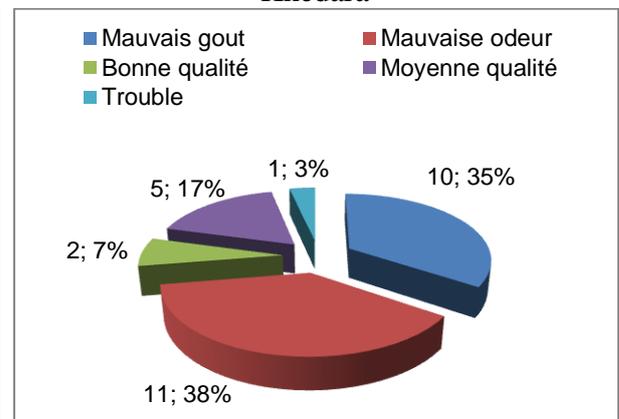
Heddada



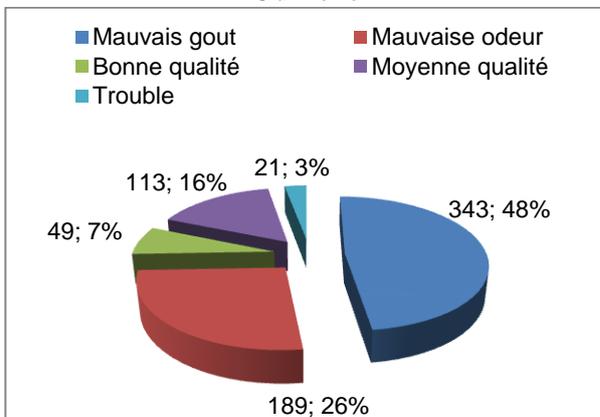
Khedara



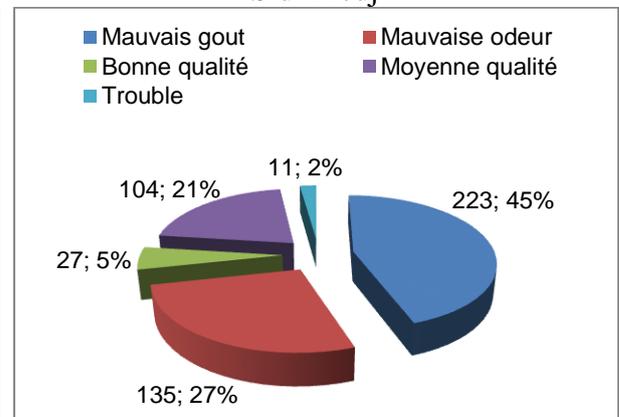
Ouillene



Sidi Fredj



Sedrata



M'Daourouch

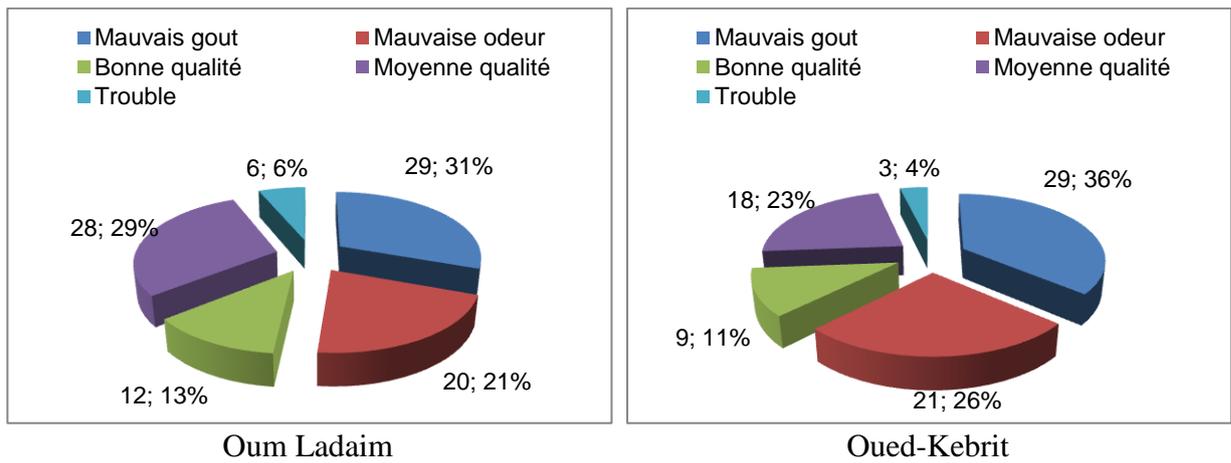
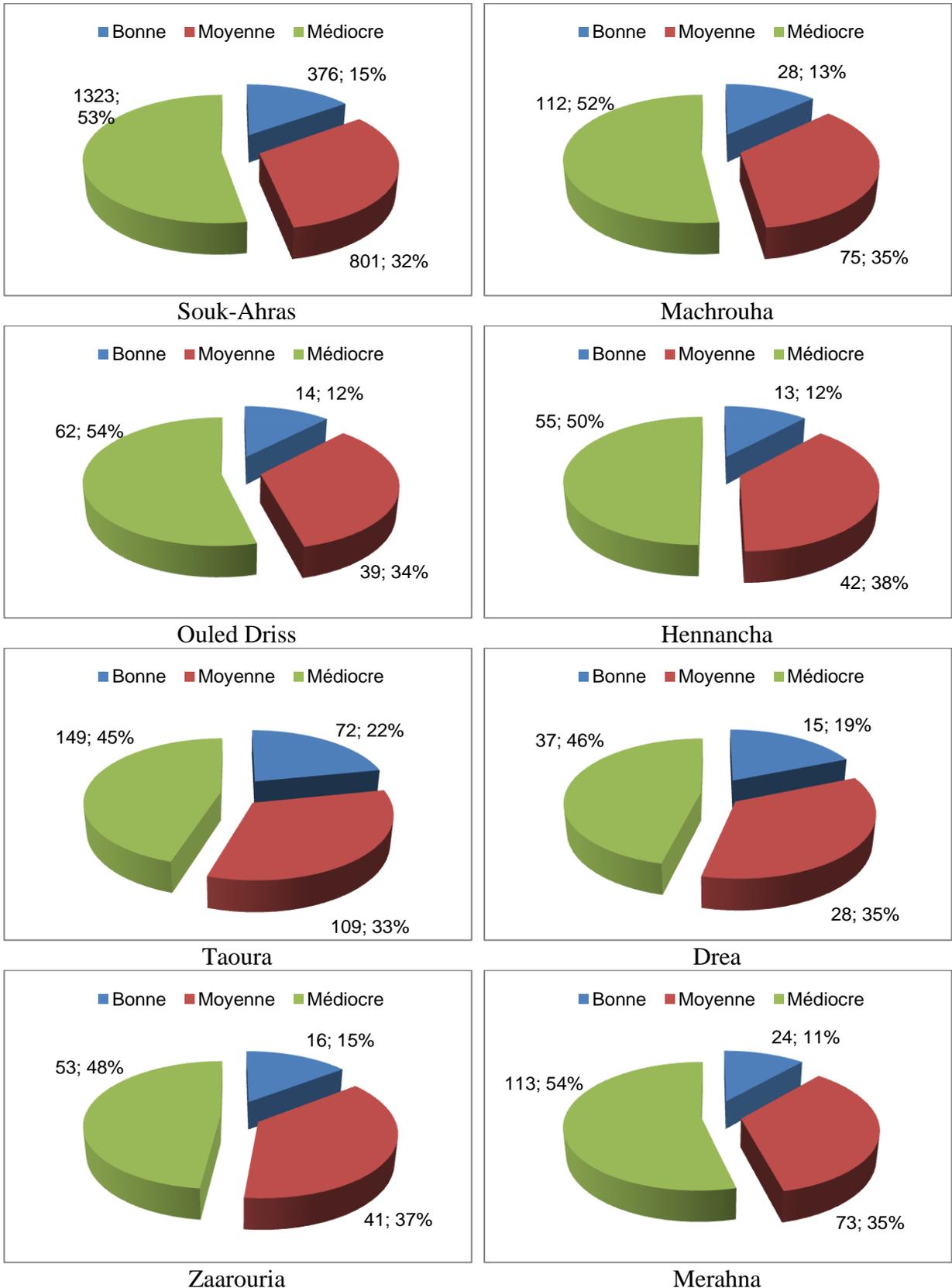


Figure 4.23. Qualité de l'eau distribuée

3.6. La qualité des services d'assainissement

Nous avons constaté que entre 43% et 61% des ménages trouvent que la qualité de l'offre du service de l'assainissement est médiocre (figure 4.24).



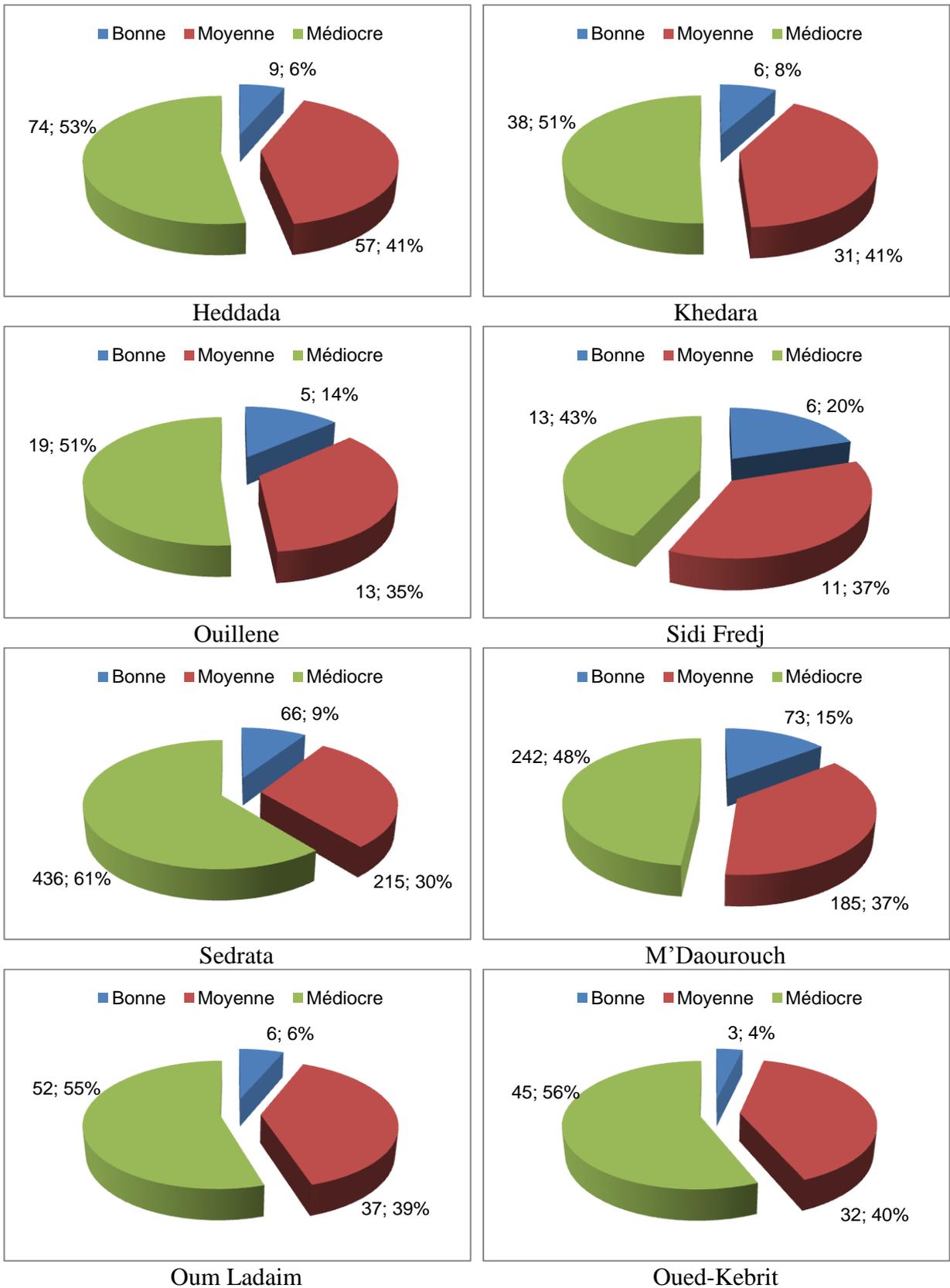


Figure 4.24. Qualité de l'offre de services d'assainissement par commune

4. Prix de l'eau

D'après cette enquête 93,25% des ménages ne connais pas le prix de l'eau (figure 4.25). Et 59% des abonnés ont jugé du le coût de l'eau est moyen et 33% des abonnés domestiques trouvent que l'eau du robinet ne coûte pas chère (figure 4.26).

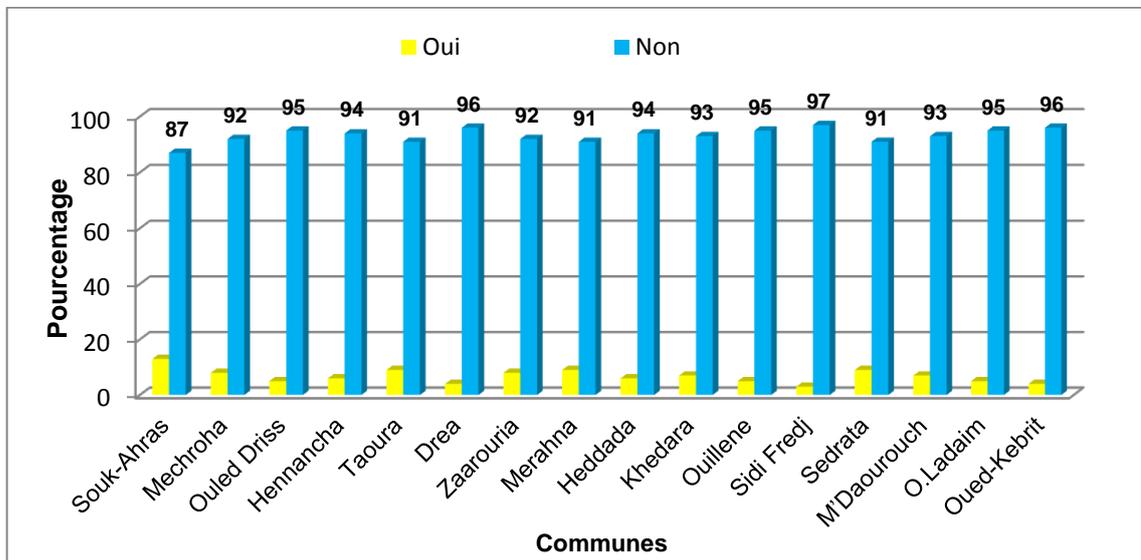


Figure 4.25. Connaissance du prix de l'eau

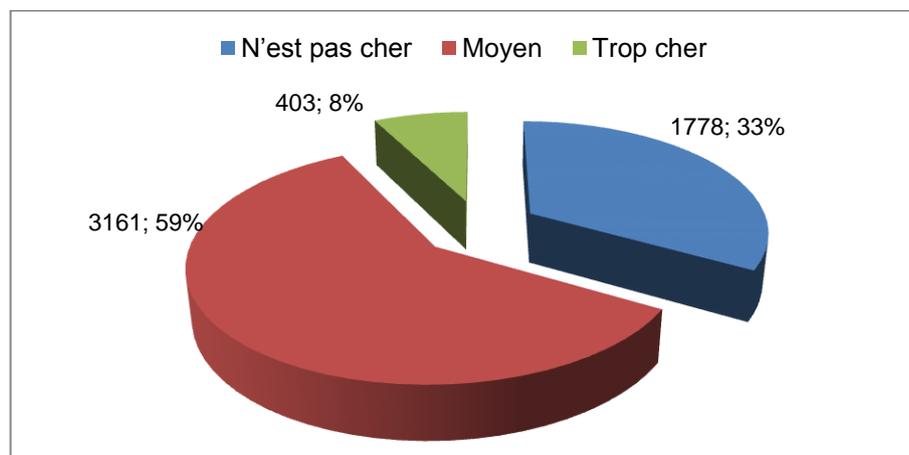


Figure 4.26. Prix de l'eau

Cependant, la plus part des abonnés enquêtés sont menés à supporter des frais supplémentaires pour subvenir à leurs besoins en eau. Par exemple, 45% ont déclaré leurs volontés de payer plus pour l'amélioration de la qualité de l'eau et 23% pour l'amélioration la qualité de l'offre des SEPA (figure 4.27).

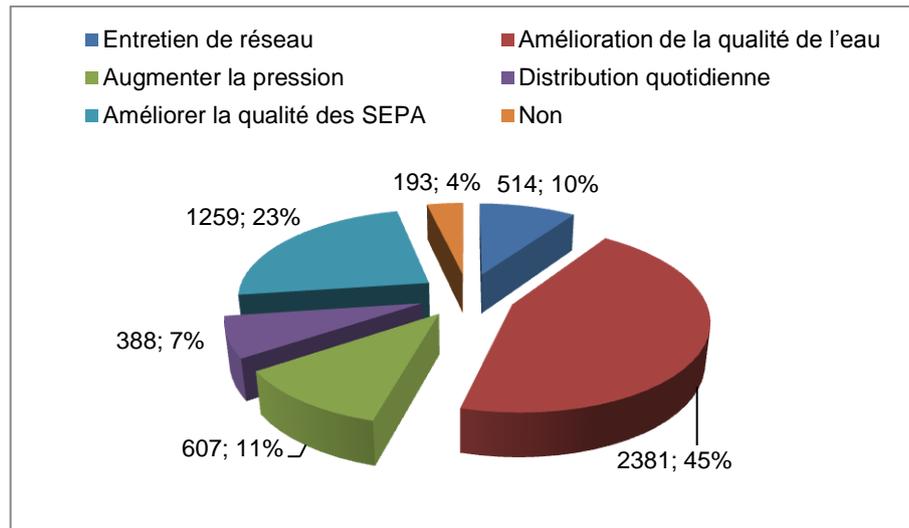


Figure 4.27. Volonté à payer pour l'amélioration

5. Volonté à payer

Une question ouverte a été enchaînée sur combien les abonnés sont prêts à payer pour améliorer la qualité de ce service (améliorer la performance des SEPA avec une meilleure qualité de l'eau potable avec un service continu).

35% des ménages sont prêts à payer plus pour leurs eaux (entre 1000 à 2000 DA) par contre 43 % des abonnés enquêtés ont souhaité de ne pas payer plus de 1000 DA/ trimestre pour l'eau.

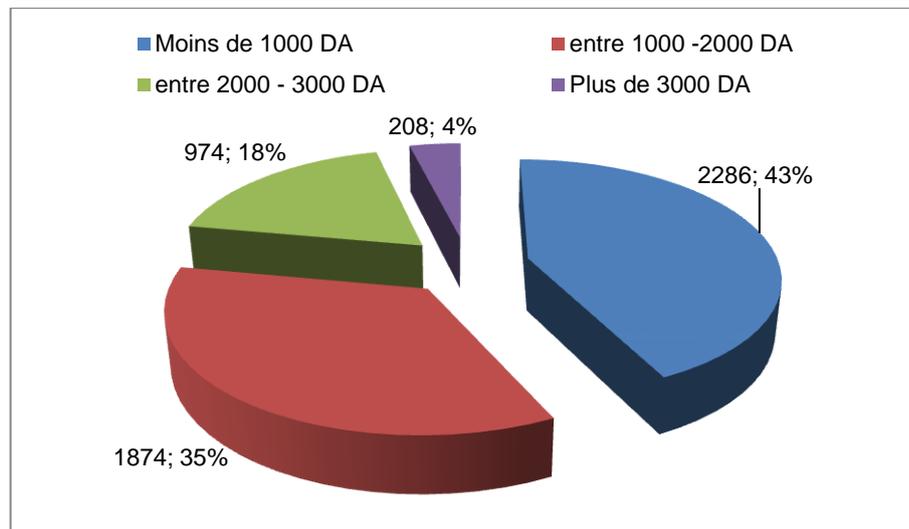


Figure. 4.28. Volonté de payer plus pour l'eau

4.4. Conclusions

Malgré les grands investissements de l'Etat pour améliorer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, les unités de l'ADE et de l'ONA rencontrent des difficultés pour gérer et exploiter ces deux services et aussi pour entretenir leur patrimoine, à cause de l'évolution rapide de la démographie dans les villes, les déficits budgétaires de ces deux entreprises publiques causés par les tarifs trop bas de l'eau potable et de l'assainissement.

Du coup, les compagnies de distribution offrent des services de mauvaise qualité (une distribution discontinue) avec des faibles performances opérationnelles. D'après des données officielles, le pourcentage d'eau non comptabilisée (pertes commerciales et techniques) est estimé à environ 50 %, cette situation problématique s'explique principalement par l'état défectueux des réseaux et par une exploitation technique et commerciale mal maîtrisée.

D'après notre enquête, les ménages en Algérie sont disposés à payer plus en vue d'améliorer la qualité de l'offre de services d'eau potable et d'assainissement. Comme résultat de cette recherche, 86% des ménages enquêtés déclarent ne pas être satisfaits de la qualité de l'eau distribuée. En effet, 80% des abonnés sont prêts à accepter une augmentation des prix de l'eau. Le rationnement semble compromettre la satisfaction des usagers du service. En effet, plus le nombre d'heures de disponibilité d'eau augmente, moins les usagers désirent payer. Ce résultat reflète leur sensibilité envers ce type de politiques de gestion.

Notre étude montre que les gestionnaires de l'Algérienne des eaux et de l'office d'assainissement doivent intensifier leurs efforts pour améliorer la qualité de l'offre de service en eau potable et en assainissement.

Chapitre 5.

Application de l'AHP pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement: le cas de l'Algérie

Chapitre 5.

Application de l'AHP pour l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement: le cas de l'Algérie

Le but de ce chapitre est de développer un outil méthodologique pour une évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Cet outil est composé de six dimensions (économique, environnement, sociale, technique, la gouvernance et institutionnel), et comprend un ensemble de 12 critères de jugement et de 50 indicateurs. L'agrégation des critères et des indicateurs est effectuée avec la méthode d'analyse multicritère (MCA) en utilisant l'Analytic Hierarchy Process (AHP). Les comparaisons par paires sont effectuées suite à des consultations avec 12 experts du secteur de l'eau (décideurs, gestionnaires et chercheurs scientifiques). Finalement, l'outil peut servir pour intervenir dans le cadre de l'amélioration des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie et pour connaître le niveau de la durabilité de ces deux services.

5.1. Introduction

Les services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) répondent à des besoins vitaux, ont des forts impacts sur la santé et l'environnement, participent à l'aménagement du territoire et à la cohésion sociale. Mais, avec le temps ces services sont confrontés à beaucoup de contraintes (l'augmentation du nombre de clients et de leurs attentes, l'augmentation de la demande des ressources en eau, les questions environnementales, les exigences réglementaires en matière la qualité de l'eau et de la sécurité de la santé publique, et les défis financiers), et ils font face à de sérieux défis pour atteindre les objectifs de la durabilité, en raison de contraintes institutionnelles, financières et techniques (Haider et al. 2016), mais aussi à leurs impacts sociaux et environnementaux.

En Algérie, et depuis 2001, le service d'eau potable est géré par l'Algérienne Des Eaux (ADE) et le service d'assainissement est géré par l'Office National d'Assainissement (ONA). Les gestionnaires de ces deux services sont confrontés à plusieurs défis pour tenir compte des orientations de la politique du gouvernement en matière de gestion durable (Drouiche et al.

2012). Ce processus est encore très difficile à atteindre avec le caractère multidimensionnel de l'aspect du développement durable (Hamchaoui et al. 2015).

Dans ce contexte, les objectifs de ce chapitre est de développer un outil méthodologique d'aide à la décision pour analyser et mesurer l'évolution de la durabilité de la gestion de SEPA en Algérie. Plusieurs méthodes, approches et outils destinés à l'évaluation de la durabilité ont été développés au niveau international (voir chapitre 4). Pour le cas de notre recherche, la méthode choisie est l'Analyse Multicritère (MCA) en appliquant l'Analytic Hierarchy Process (AHP) de Saaty et en utilisant un processus participatif impliquant des experts dans la gestion des SEPA (des responsables de la direction d'hydraulique, des directeurs et chefs de département de l'ADE et de l'ONA, et des scientifiques). Mais comment évaluer la durabilité qui permet l'amélioration de la performance des SEPA tout en étant économiquement viable et socialement acceptable et avec un environnement protégé ? En effet, cette recherche vise à élaborer une méthode d'évaluation de la durabilité formée d'un ensemble des critères et des indicateurs associés aux trois dimensions du développement durable et complétés par trois autres dimensions (les volets environnemental, économique, social, technique, gouvernance et institutionnelle). Pour le développement de la méthode d'évaluation de la durabilité des SEPA, il est nécessaire de sélectionner les dimensions, les critères de jugement et les indicateurs d'évaluation qui faciliteront la mise en œuvre de cette méthode par les experts locaux (Hadji, 2013). L'application de cet outil est pour but de faciliter les tâches de l'ADE et de l'ONA en allant vers une gestion durable et permettra également d'améliorer le service rendu au client.

Ce chapitre est organisé comme suit, après une brève introduction, la deuxième section passe en revue les définitions et le cadre conceptuel de la durabilité, l'évaluation de la durabilité des SEPA et elle démontre la pertinence de la méthode MCA en ce qui concerne l'objectif d'évaluer la durabilité des services d'eau. La section 3 est consacrée à la présentation de la méthodologie utilisée et les étapes à suivre pour amener une AMC dans le cadre d'une gestion durable des SEPA en Algérie. La quatrième section présente les résultats, elle décrit de manière détaillée l'application de la MCA et l'AHP dans le cadre de l'évaluation de la durabilité de l'offre de SEPA en Algérie. Enfin, les conclusions et les recommandations pour les recherches futures sont présentées dans la section 5.

5.2. Revue de littérature

Selon la littérature scientifique, il existe de nombreuses méthodes, approches et outils qui ont été développés pour évaluer la viabilité de la gestion des ressources en eau. Les approches les plus appliquées en matière de gestion des ressources en eau sont les suivantes: analyse coût-

bénéfice (CBA), évaluation du cycle de vie (LCA), évaluation intégrée (IA), Triple Bottom Line (TBL) et analyse multicritères (MCA ; MCDM). Chacune de ces approches peut être appliquée dans différents domaines: CBA est une méthode purement économique qui traite des éléments monétaires, c'est un processus d'évaluation d'un système en comparant ses coûts aux avantages (Pearce et al., 2006). LCA est une approche spécifique utilisée pour évaluer l'impact environnemental associé à un service ou à un produit tout au long de son cycle de vie, cela n'inclut pas les facteurs économiques et les problèmes sociaux (Ness et al., 2007). TBL est une approche d'évaluation de la durabilité basée sur une combinaison de trois dimensions: la viabilité économique, la durabilité environnementale et l'équité sociale (Christen et al., 2006). MCA est généralement utilisé comme outil d'aide à la décision, et peut considérer des critères multiples (Hajkowicz & Collins 2007). Elle est capable de résoudre les problèmes de décision pour la gestion de l'eau potable et l'assainissement qui sont généralement de nature complexe avec des objectifs multiples (Hamouda et al., 2009).

De nombreux chercheurs ont constaté que les trois dimensions du TBL ne suffisent pas à évaluer la durabilité de la gestion des ressources en eau. Ainsi, ils ont ajouté d'autres dimensions telles que: technique, la gouvernance, etc. (Ashley et al., 2003, Hellström et al., 2000, van Leeuwen et al., 2012, Marques et al., 2015).

La méthode MCA considère les différentes dimensions quantitatives et qualitatives qui sont éventuellement contradictoires (Garfi et al., 2011), contrairement aux méthodes CBA et LCA qui tiennent compte d'une dimension unique, et les méthodes TBL et IA qui utilisent uniquement trois dimensions.

Analyse multicritères (MCA)

La méthode MCA qui peut considérer divers critères simultanément a été utilisée dans divers domaines scientifiques (Sohani et al., 2017). D'après la littérature scientifique, plusieurs chercheurs ont utilisé la méthode MCA afin d'évaluer la durabilité dans le secteur de l'eau (Borrego-Marín et Riesgo, 2016; Han et al., 2015; Marques et al., 2015; Ruiz-Villaverde et al., 2013). Dans le domaine de la gestion des ressources en eau, la méthode MCA a une forte capacité à trouver des solutions bien structurées, cohérentes et objectives à des problèmes de décision complexes (Lai et al., 2008). Selon Hajkowicz et Collins (2007), les approches les plus utilisées de MCA dans le secteur de l'eau sont les suivantes: i) Processus hiérarchique analytique (AHP), ii) Élimination et choix de la réalité de traduction (ELECTRE), iii) Classement préférentiel et méthode d'organisation pour l'évaluation de l'enrichissement (PROMETHEE), iv) Technique pour la performance des commandes par similarité à la

solution idéale (TOPSIS), v) Mesurer l'attractivité par une technique d'évaluation fondée sur une catégorie (MACBETH) et vi) Analyse de l'ensemble flou. Dans cette étude, l'approche appliquée est l'AHP, développée par Saaty (Saaty, 1980). Cette méthode est largement appliquée dans des problèmes impliquant des critères multiples, souvent contradictoires (Georgiou et al., 2015).

Processus hiérarchique analytique (AHP)

La méthode AHP a été créée pour aider à résoudre des problèmes de décision complexes (Anagnostopoulos et Vavatsikos, 2006). Cela contribue à décomposer un problème complexe de décision avec les différents critères et indicateurs associés dans un système hiérarchique dans lequel les décisions complexes sont réduites à une série de comparaisons par paires entre les éléments de la hiérarchie des décisions (Balyani et al., 2015). Les critères examinés sont basés sur le thème sur lequel on juge l'objet de l'évaluation. C'est une représentation dérivée d'un ou plusieurs indicateurs. Un indicateur est une information qui qualifie ou quantifie la satisfaction des critères. L'AHP est l'une des méthodes d'analyse multicritères. L'approche AHP est appliquée dans plusieurs domaines et a été largement utilisée dans la gestion de l'eau, par exemple, la gestion des ressources en eau, les pertes d'eau, l'irrigation, la pollution (Hamchaoui et al., 2015, Marques et al., 2015), mais peu de recherches ont utilisé cette approche dans le cadre de l'évaluation de la durabilité des SEPA.

5.3. Méthodologie

L'AHP est l'une des méthodes de décision multicritères dans lesquelles les poids des éléments d'évaluation sont déterminés par des comparaisons par paires qui sont faites par des jugements des experts (Zyoud et al. 2016). Cette méthode est très simple et facile à utiliser (Zyoud et al. 2016). Afin d'obtenir un résultat réaliste, les experts de tous les domaines concernés, y compris les scientifiques, les gestionnaires et les décideurs, devraient participer au processus des jugements. Selon la littérature scientifique, la méthodologie qui intègre les techniques de la méthode MCA pour définir et choisir les meilleures options sera initiée en définissant l'objectif global puis en développant la structure hiérarchique en identifiant un ensemble d'éléments (dimensions, critères et indicateurs). Ensuite, on effectuera des comparaisons entre les éléments de décision, en vérifiant et en améliorant la cohérence des préférences, en établissant le poids relatif des éléments pour chaque niveau et en obtenant l'évaluation globale des options en regroupant les éléments de décision pondérés (Zyoud et al. 2016). La méthodologie proposée est illustrée à la figure 5.1.

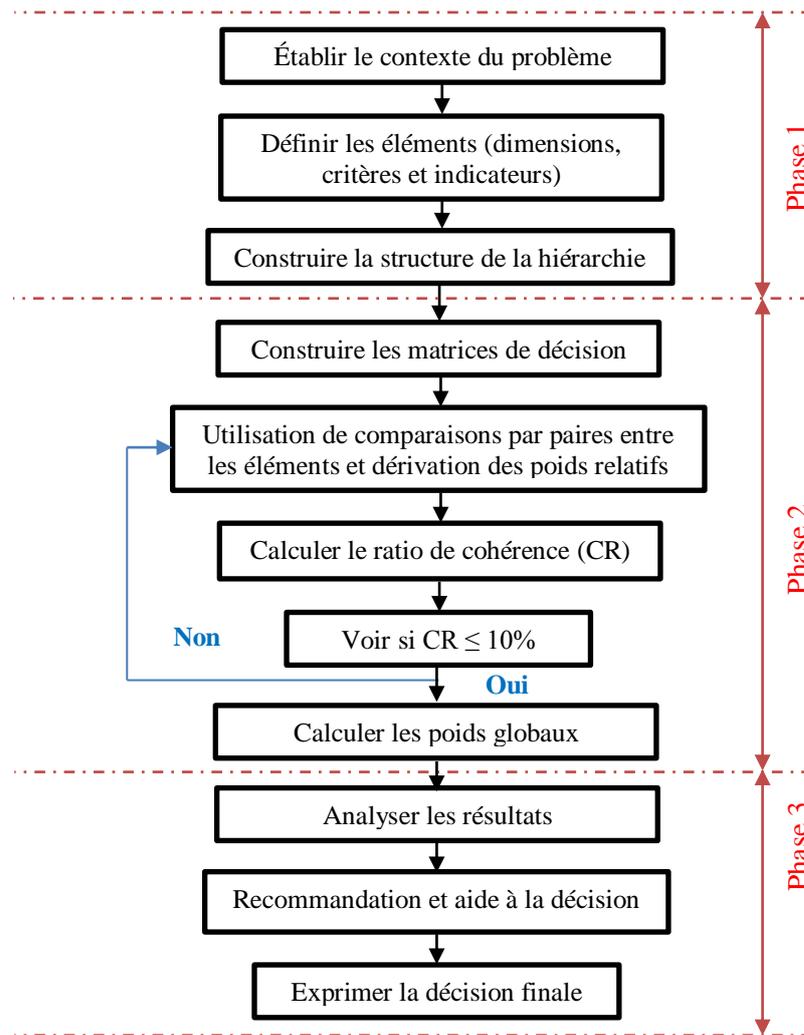


Figure 5.1. L'organigramme du processus de la méthode proposée

À partir de la figure 5.1, la **première phase** consiste à structurer le problème de décision dans une structure hiérarchique en identifiant les éléments (dimensions, critères et indicateurs) appropriés à notre objectif, qui est la durabilité des SEPA. Dons, il s'agit d'un examen de la performance passée ou de la formulation de nouvelles cibles, ce qui conduit à l'établissement d'objectifs pour améliorer les performances du système eau potable / eaux usées.

Dans la **deuxième phase**, pour tous les niveaux, une matrice de comparaison par paires a été établie pour évaluer l'importance de chacun d'eux. Ensuite, les poids globaux sont calculés.

Des comparaisons par paires ont été effectuées pour chaque niveau de la hiérarchie (niveau 1 = dimensions, niveau 2 critère = "Ci" et niveau 3 = indicateurs "Ii"). Pour chaque comparaison, les experts ont déterminé l'importance relative en utilisant des comparaisons par paires, les valeurs étant suggérées par Saaty (Saaty, 1980) dont les significations sont

indiquées dans le tableau 5.1. La comparaison conduit à l'obtention de la matrice de décision (équation (5.1)).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

A: est la matrice de décision, a_{ij} (priorité individuelle) les comparaisons entre les éléments i et j pour tout $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Tableau 5.1. Échelle numérique de Saaty pour les comparaisons par paires dans AHP

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

Source: Saaty (1980)

Dans l'étape précédente, nous avons construit une matrice de décision pour chaque élément. Le poids de chaque dimension, critère et indicateur est calculé en appliquant les étapes suivantes:

- Calculer la somme par colonne.
- Divisez chaque valeur dans la colonne par la somme des valeurs.
- Le poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes.

Ensuite, nous devons vérifier la cohérence du résultat. À ce stade, nous avons le «poids» de chacun des éléments. La méthode AHP propose alors de valider la fiabilité du résultat en calculant le ratio de cohérence (CR) qui nous permettra de détecter les défauts dans notre calcul et notre évaluation. Le CR est calculé par l'équation (5.2).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5.2)$$

- ♦ RI: Index de cohérence aléatoire (RI) peut être déterminé par le tableau 5.2 (Saaty, 1980)

- ◆ CI: indice de cohérence qui est calculé par l'équation (5.3).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5.3)$$

- ◆ n: le nombre des éléments (dimensions ou critères ou indicateurs).
- ◆ λ_{max} : la principale valeur propre.

Tableau 5.2. Index aléatoire (RI)

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

Source: adapté de Saaty (2008)

Si $CR \leq 0.1$, la matrice est considérée comme suffisamment cohérente autrement, les évaluations peuvent nécessiter une révision pour réduire les incohérences (Saaty, 1980). Dans notre cas, au début, certaines valeurs de CR étaient supérieures à 0.1, par conséquent, les experts ont été invités à réviser leurs jugements afin d'obtenir des résultats cohérents. Une fois que les poids des éléments par niveau sont calculés, le poids final est calculé en multipliant simplement les poids du niveau le plus bas (les indicateurs) par les poids des niveaux supérieurs (les critères et les dimensions correspondants).

Enfin, **la phase 3** vise à évaluer et à analyser les résultats. Tout ce qui reste, c'est d'évaluer nos différents résultats en choisissant les meilleurs indicateurs pour l'évaluation de la durabilité des SEPA, où les résultats avec les plus grands poids définitifs sont identifiés.

5.4. Résultats et discussions

5.4.1. La sélection des dimensions, des critères et des indicateurs

Les dimensions, les critères et les indicateurs d'évaluation de la durabilité des SEPA en Algérie sont présentés au tableau 5.3. Un questionnaire a été confié à chaque expert et a déterminé les dimensions, les critères et les indicateurs en fonction de leurs connaissances, et de leurs expériences dans la gestion de SEPA. Les experts qui mènent les études d'évaluation doivent éliminer les éléments non durables de l'espace de décision et limiter les solutions aux solutions durables. Ils devraient également susciter les préférences des parties prenantes de manière à minimiser la complexité de la participation. De cette manière, l'élément sélectionné sera un élément durable.

Tableau 5.3. Dimensions, critères et indicateurs considérés pour l'Algérie

Dimensions	Critères	Indicateurs
Economique (D1)	Recouvrement du Coût total (C 1.1)	Coût d'opération et de maintenance (O&M) (i 1.1.1)
		Coût du capital (i 1.1.2)
		Coût d'opportunité (i 1.1.3)
		Coût de transaction (i 1.1.4)
		Coût environnemental (i 1.1.5)
	Autonomie financière (C 1.2)	Grand équilibre budgétaire (i 1.2.1)
		Petit équilibre budgétaire (i 1.2.2)
		Taux de subvention de l'Etat pour les investissements (i 1.2.3)
		Taux de subvention pour le compte d'exploitation (i 1.2.4)
Environnementale (D2)	Impact environnemental (C 2.1)	Protection contre la pollution (i 2.1.1)
		Contrôle de la pollution (i 2.1.2)
		Minimiser la surexploitation de l'eau souterraine (i 2.1.3)
		Protection des nappes d'eau (i 2.1.4)
	Utilisation de ressources (C 2.2)	L'utilisation efficace de l'eau (i 2.2.1)
		Lutte contre le gaspillage (i 2.2.2)
		La consommation d'énergie (i 2.2.3)
		Utilisation des matériaux (i 2.2.4)
Sociale (D3)	Accessibilité aux services (C 3.1)	Taux d'accès aux services d'eau potable (i 3.1.1)
		Taux d'accès aux services d'assainissement (i 3.1.2)
		Qualité de SEPA (i 3.1.3)
		Qualité de l'eau distribuée (i 3.1.4)
		Taux de réclamations (i 3.1.5)
	Abordabilité (C 3.2)	Prix abordable de l'eau potable (i 3.2.1)
		Prix abordable de l'assainissement (i 3.2.2)
		Tarifcation sociale (i 3.2.3)
		La volonté de payer (i 3.2.4)
Technique (D4)	Performance technique (C 4.1)	Détection et réparation des fuites (i 4.1.1)
		Fiabilité (i 4.1.2)
		Défaillances (i 4.1.3)
		Rendements du réseau (i 4.1.4)
	Modernisation (C 4.2)	Utilisation de nouvelles technologies (i 4.2.1)
		Formation des employés (i 4.2.2)
		Télésurveillance et Télégestion (i 4.2.3)
		Réhabilitation des systèmes d'EPA (i 4.2.4)
Gouvernance (D5)	Transparence (C 5.1)	Information aux usagers (i 5.1.1)
		Participation et consultation du public (i 5.1.2)
		Existence de l'information et de la documentation (i 5.1.3)
		Accès aux informations et aux données (i 5.1.4)
	Politique et Planification des SEPA (C 5.2)	Stabilité des politiques des SEPA (i 5.2.1)
		Stratégie et alignement avec la planification urbaine (i 5.2.2)
		La planification de l'entreprise (i 5.2.3)
		La planification des ressources en eau (i 5.2.4)
Institutionnel (D6)	Règlementation (C 6.1)	Actualisation du code l'eau (i 6.1.1)
		Actualisation du plan national de l'eau (PNE) (i 6.1.2)
		Réforme de la politique tarifaire (i 6.1.3)
		Application des normes internationales pour la qualité de l'eau potable et de l'eau épurée (i 6.1.4)
	Organisation (C 6.2)	Application d'une nouvelle organisation pour les services d'eau potable (ADE) (i 6.2.1)
		Application d'une nouvelle organisation pour les services d'assainissement (ONA) (i 6.2.2)
		L'union des deux établissements ADE et ONA dans une seule entreprise publique (i 6.2.3)
		Le recours à la gestion déléguée dans les grandes villes (i 6.2.4)

5.4.2. Les comparaisons par paires

Pour une comparaison par paire de chaque dimension, critère et indicateur, un panel de 12 experts dans le domaine de la gestion de l'eau en Algérie a été consulté. Ces experts ont été choisis en fonction de leurs expériences et de leurs contributions scientifiques. En outre, les 12 experts ont été sélectionnés pour couvrir différents profils:

- 4 décideurs: (1 responsable du ministère des Ressources en eau + 1 directeur des ressources en eau + 2 chefs de services de la direction des ressources en eau),
- 4 gestionnaires de SEPA: (1 directeur ADE + 1 directeur ONA + 2 chefs de centre),
- 4 scientifiques: (2 professeurs + 2 enseignants chercheurs).

Chaque expert fait son jugement en utilisant l'échelle de Saaty (tableau 5.1) et délivre sa propre matrice de comparaison par paires. Les matrices de décision pour les dimensions, les critères et les indicateurs sont ensuite calculées en calculant la moyenne de chaque priorité individuelle (a_{ij}) pour les trois matrices de décision (tableaux 5.4 – 5.6).

Tableau 5.4. La matrice de comparaison par paires de six dimensions

	Economique	Environnementale	Sociale	Technique	Gouvernance	Institutionnelle
Economique	1	5	4	2	7	5
Environnementale	1/5	1	1/4	1/3	3	2
Sociale	1/4	4	1	1/5	3	4
Technique	1/2	3	5	1	5	3
Gouvernance	1/7	1/3	1/3	1/5	1	1/3
Institutionnelle	1/5	1/2	1/4	1/3	3	1
Somme	2.29	13.83	10.83	4.07	22.00	15.33

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

0,436	0,361	0,369	0,492	0,318	0,326
0,087	0,072	0,023	0,082	0,136	0,130
0,109	0,289	0,092	0,049	0,136	0,261
0,218	0,217	0,462	0,246	0,227	0,196
0,062	0,024	0,031	0,049	0,045	0,022
0,087	0,036	0,023	0,082	0,136	0,065

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

Dimensions	Poids
Economique	0,383
Environnementale	0,089
Sociale	0,156
Technique	0,261
Governance	0,039
Institutionnelle	0,072

Calcul de λ_{\max}

1,00	5,00	4,00	2,00	7,00	5,00	X	0,383	=	2,604
0,20	1,00	0,25	0,33	3,00	2,00		0,089		0,551
0,25	4,00	1,00	0,20	3,00	4,00		0,156		1,062
0,50	3,00	5,00	1,00	5,00	3,00		0,261		1,909
0,14	0,33	0,33	0,20	1,00	0,33		0,039		0,251
0,20	0,50	0,25	0,33	3,00	1,00		0,072		0,435

2,604	/	0,384	=	6,784
0,551		0,089		6,227
1,062		0,156		6,801
1,909		0,261		7,317
0,251		0,039		6,458
0,435		0,072		6,077
				6,611

$\lambda_{\max} = 6.611$

Avec: $n = 6$ et λ_{\max} et CI sont égaux à 6.611 et 0.122108 respectivement. Et $RI = 1.25$

$CR = (0.122108 / 1.25) = 0.0977 < 0.1$

Il est évident que puisque $CR = 0.0977$ est inférieur à 0.1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Suite aux étapes de la méthodologie présentée à la figure 5.1, les experts ont attribué une grande importance aux deux dimensions: économique et technique, dont les poids sont de 38.3% et 26.1%. Les autres résultats sont présentés à la figure 5.2.

Tableau 5.5. La matrice de comparaison par paire des douze critères

	C 1.1	C 1.2	C 2.1	C 2.2	C 3.1	C 3.2	C 4.1	C 4.2	C 5.1	C 5.2	C 6.1	C 6.2
C 1.1	1	1	5	5	4	2	1	5	7	5	3	7
C 1.2	1	1	5	5	4	3	1	4	7	7	5	5
C 2.1	1/5	1/5	1	1	1/3	1/4	1/3	1	3	2	1	3
C 2.2	1/5	1/5	1	1	1/3	1/5	3	3	1/7	3	3	3
C 3.1	1/4	1/4	3	1	1	3	1/3	2	5	3	4	3
C 3.2	1/2	1/3	4	3	1/3	1	1/5	4	5	2	3	5
C 4.1	1	1	3	5	3	5	1	3	9	5	5	7
C 4.2	1/5	1/4	1	1/3	1/2	1/4	1/3	1	3	1	3	1
C 5.1	1/7	1/7	1/3	1/3	1/5	1/5	1/9	1/3	1	1/5	2	1/3
C 5.2	1/5	1/7	1/2	7	1/3	1/2	1/5	1	5	1	1	2
C 6.1	1/3	1/5	1	1/3	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	1
C 6.2	1/7	1/5	1/3	1/2	1/3	1/5	1/7	1	3	1/2	1	1

$\lambda_{max} = 13.61$ et $CR = 0.0952 < 0.1$

Les résultats montrent que les scientifiques, les décideurs et les gestionnaires qui ont répondu à l'interview considèrent que les trois critères: l'autonomie financière, le recouvrement des coûts totaux et la performance technique sont les aspects les plus importants de la durabilité des SEPA en Algérie. Cela peut être interprété en disant que les répondants ont reconnu que les SEPA en Algérie ont des difficultés financières et qu'ils se comportent mal, de sorte que leur maintenance se fait avec de gros taux de perte d'eau dans le réseau.

Tableau 5.6. La comparaison par paire des indicateurs

(a) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 1.1

	i 1.1.1	i 1.1.2	i 1.1.3	i 1.1.4	i 1.1.5
i 1.1.1	1	3	5	5	7
i 1.1.2	1/3	1	3	5	5
i 1.1.3	1/5	1/3	1	1	3
i 1.1.4	1/5	1/5	1	1	3
i 1.1.5	1/7	1/5	1/3	1/3	1

$\lambda_{max} = 5.211$ et $CR = 0.0380 < 0.1$

(b) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 1.2

	i 1.2.1	i 1.2.2	i 1.2.3	i 1.2.4
i 1.2.1	1	1	2	3
i 1.2.2	1	1	1	3
i 1.2.3	1/2	1	1	3
i 1.2.4	1/3	1/3	1/3	1

$\lambda_{max} = 4.061$ et $CR = 0.0136 < 0.1$

(c) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 2.1

	i 2.1.1	i 2.1.2	i 2.1.3	i 2.1.4
i 2.1.1	1	3	2	3
i 2.1.2	1/3	1	1/4	1/3
i 2.1.3	1/2	4	1	3
i 2.1.4	1/3	3	1/3	1

$\lambda_{max} = 4.214$ et $CR = 0.0481 < 0.1$

(d) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 2.2

	i 2.2.1	i 2.2.2	i 2.2.3	i 2.2.4
i 2.2.1	1	3	5	7
i 2.2.2	1/3	1	3	5
i 2.2.3	1/5	1/3	1	3
i 2.2.4	1/7	1/5	1/3	1

$\lambda_{max} = 4.118$ et $CR = 0.0266 < 0.1$

(e) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 3.1

	i 3.1.1	i 3.1.2	i 3.1.3	i 3.1.4	i 3.1.5
i 3.1.1	1	1	3	3	5
i 3.1.2	1	1	4	2	6
i 3.1.3	1/3	1/4	1	3	2
i 3.1.4	1/3	1/2	1/3	1	3
i 3.1.5	1/5	1/6	1/2	1/3	1

$\lambda_{\max} = 5.324$ et $CR = 0.0583 < 0.1$

(f) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 3.2

	i 3.2.1	i 3.2.2	i 3.2.3	i 3.2.4
i 3.2.1	1	3	1	4
i 3.2.2	1/3	1	3	3
i 3.2.3	1	1/3	1	2
i 3.2.4	1/4	1/3	1/2	1

$\lambda_{\max} = 4.436$ et $CR = 0.0980 < 0.1$

(g) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 4.1

	i 4.1.1	i 4.1.2	i 4.1.3	i 4.1.4
i 4.1.1	1	1/3	1	3
i 4.1.2	3	1	3	5
i 4.1.3	1	1/3	1	1
i 4.1.4	1/3	1/5	1	1

$\lambda_{\max} = 4.240$ et $CR = 0.0538 < 0.1$

(h) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 4.2

	i 4.2.1	i 4.2.2	i 4.2.3	i 4.2.4
i 4.2.1	1	3	1	2
i 4.2.2	1/3	1	1	3
i 4.2.3	1	1	1	2
i 4.2.4	1/2	1/3	1/2	1

$\lambda_{\max} = 4.236$ et $CR = 0.0529 < 0.1$

(i) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 5.1

	i 5.1.1	i 5.1.2	i 5.1.3	i 5.1.4
i 5.1.1	1	5	3	3
i 5.1.2	1/5	1	3	2
i 5.1.3	1/3	1/3	1	1
i 5.1.4	1/3	1/2	1	1

$\lambda_{\max} = 4.278$ et $CR = 0.0625 < 0.1$

(j) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 5.2

	i 5.2.1	i 5.2.2	i 5.2.3	i 5.2.4
i 5.2.1	1	1	1	2
i 5.2.2	1	1	1/5	1/3
i 5.2.3	1	5	1	1
i 5.2.4	1/2	3	1	1

$\lambda_{\max} = 4.441$ et $CR = 0.0991 < 0.1$

(k) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 6.1

	i 6.1.1	i 6.1.2	i 6.1.3	i 6.1.4
i 6.1.1	1	2	1	1
i 6.1.2	1/2	1	1	3
i 6.1.3	1	1	1	3
i 6.1.4	1	1/3	1/3	1

$\lambda_{\max} = 4.323$ et $CR = 0.0726 < 0.1$

(l) Comparaison par paires pour les indicateurs du critère C 6.2

	i 6.2.1	i 6.2.2	i 6.2.3	i 6.2.4
i 6.2.1	1	1	1/3	2
i 6.2.2	1	1	1/3	2
i 6.2.3	3	3	1	1
i 6.2.4	1/2	1/2	1	1

$\lambda_{\max} = 4.425$ et $CR = 0.0956 < 0.1$

Selon les résultats, les indicateurs les plus importants d'après les jugements des experts sont les indicateurs «i.1.1.1 et i.1.2.1» (coût opérationnel et maintenance et budget global) et ensuite les indicateurs «i.4.1. 2, i.1.2 .2, i.1.1.3 et i.1.2.3 "(fiabilité, petit équilibre budgétaire, coût d'opportunité et taux de subvention de l'État pour les investissements). Ainsi, selon les opinions de 12 experts, les indicateurs associés aux critères : C 1.1 (Recouvrement des coûts totaux), C 1.2 (Autonomie financière) et C 4.1 (Performance technique) sont les plus importants critères pour amener les services d'EPA en Algérie vers la durabilité. Les indicateurs des quatre critères "C 5.1 (Transparence) , C 5.2 (Politique et Planification des

SEPA), C 6.1 (Règlementation) et C 6.2 (Organisation) ont l'impact le plus faible, ce qui souligne que selon le jugement des experts, les deux dimensions (Gouvernance et institutionnelle) » n'ont pas un grand rôle dans la gestion durable des SEPA en Algérie. Cela peut s'expliquer par le fait que : i) les décideurs et les gestionnaires ne prennent pas en compte la participation et la consultation du public dans la prise de décision et les usagers n'ont pas accès aux informations et aux données des SEPA, ii) il n'y a pas une planification des services et des ressources en eau à long terme, et iii) malgré l'existence des lois relatives au SEPA, mais l'application sur terrain est loin de la réalité.

Les résultats obtenus de la mise en œuvre du modèle proposé pour l'Algérie sont illustrés à la figure 5.2.

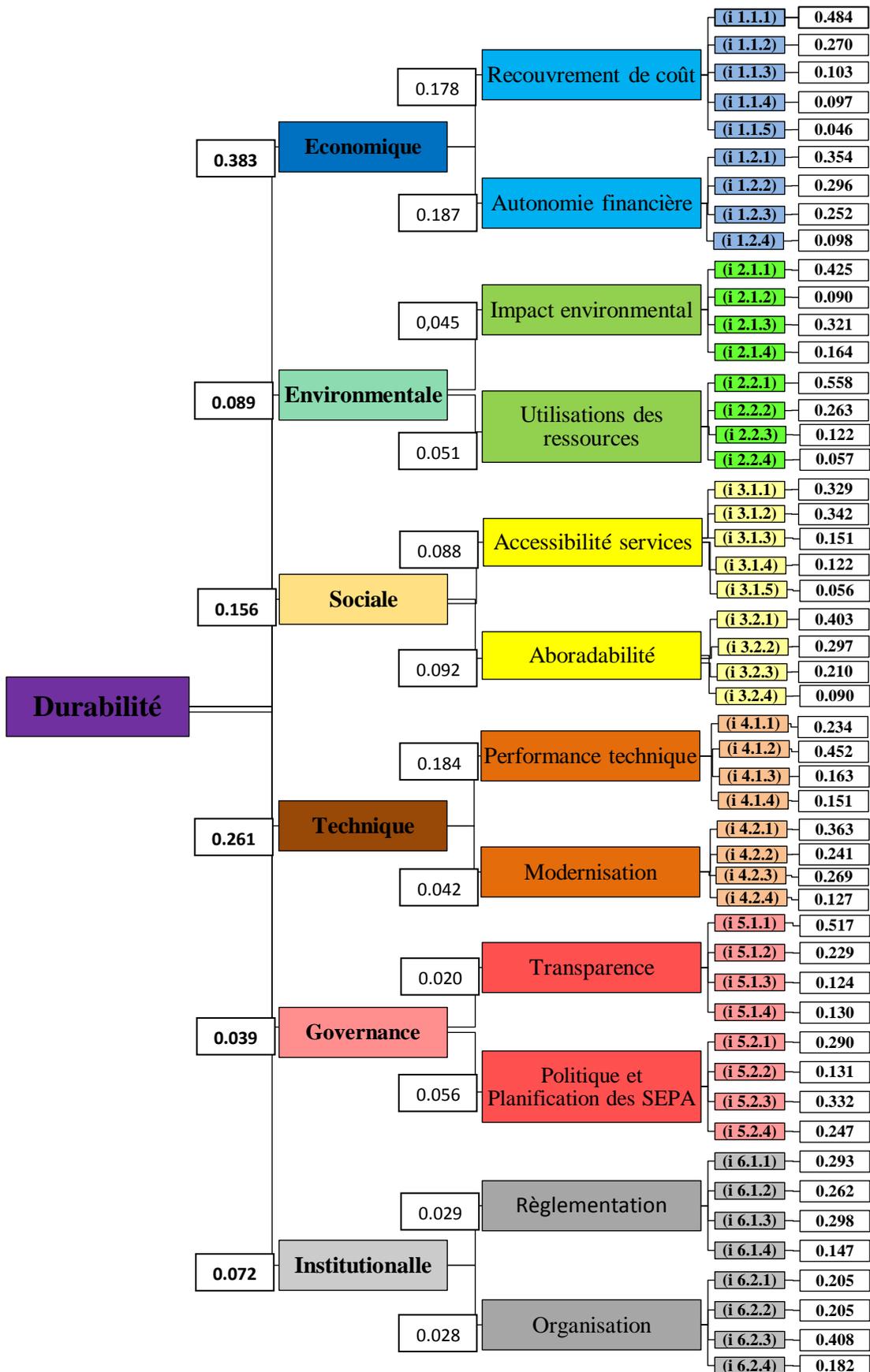


Figure 5.2. Les résultats obtenus de la mise en œuvre du modèle proposé pour l'Algérie

Les poids globaux des 50 indicateurs qui ont été obtenus par l'AHP sont représentés à la figure 5.3.

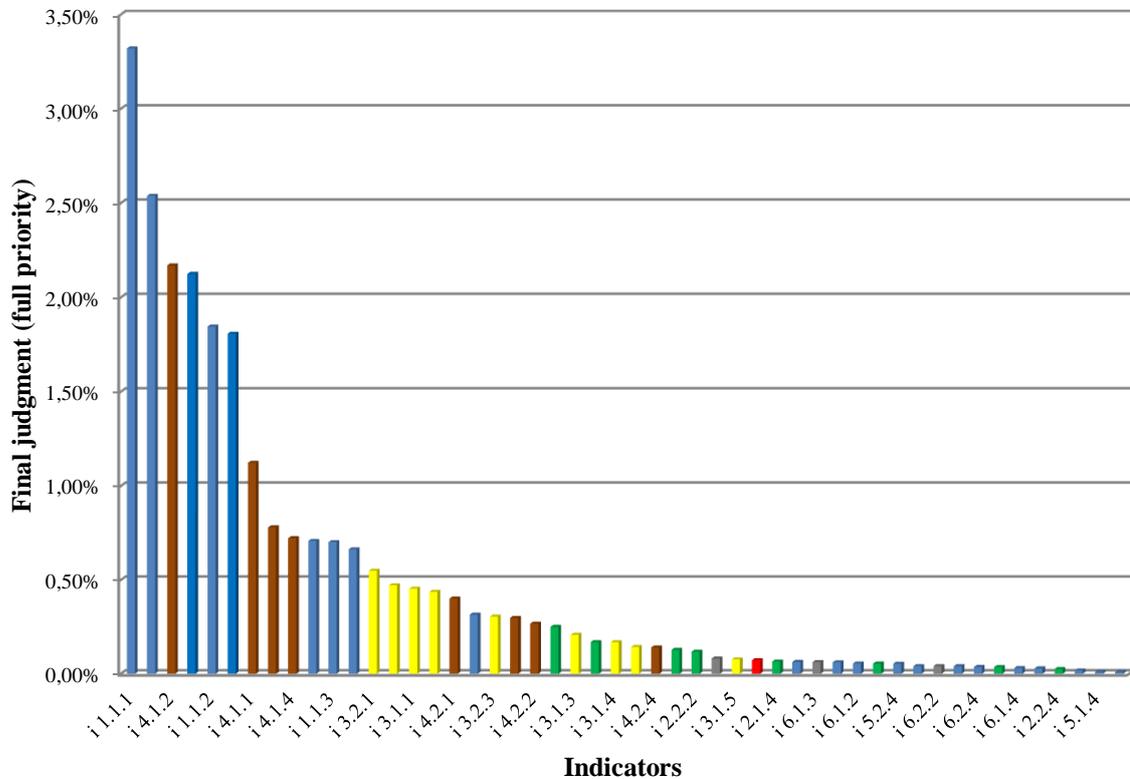


Figure 5.3. Les poids globaux des 50 indicateurs obtenus par l'AHP

Les deux principaux problèmes rencontrés par les gestionnaires de SEPA sont les déficits budgétaires et les performances techniques insuffisantes. C'est la raison pour laquelle la plupart des experts ont jugé que les défis doivent être rencontrés en trouvant des solutions: (i) pour améliorer la situation économique et financière de l'ADE et de l'ONA; et (ii) Augmenter les performances techniques du système d'alimentation en eau potable ou d'assainissement. Et parmi les solutions proposées par les 12 experts (comparaison par paire pour les indicateurs): (i) équilibrer les petit et le grand équilibres budgétaires par des subventions publiques ou par des subventions croisées entre les tranches de la tarification de l'eau, ou en appliquant le principe du recouvrement durable des coûts avec une réforme actuelle des prix, (ii) amélioration de la performance des réseaux existants en réparant les fuites, en réduisant le gaspillage d'eau, et en supprimant tous les branches illicites et la réhabilitation des réseaux ...).

Comme on l'a vu, cette méthode dans laquelle la durabilité des SEPA peut être mesurée et évaluée de manière globale permet de savoir quelles sont les dimensions, les critères et les indicateurs qui sont les plus importants et jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité de services. Une perspective très claire et complète pour les gestionnaires et les décideurs qui vont planifier un DD dans les SEPA dans le pays.

5.5. Conclusion

Un outil méthodologique facile à utiliser pour l'évaluation et la mesure de la durabilité du WSSS en utilisant AHP a été présenté. L'application de la méthode proposée a été montrée pour l'Algérie en tant qu'étude de cas en tenant compte d'une hiérarchie globale à trois niveaux qui comprenait six dimensions, 12 critères et 50 indicateurs, respectivement. Le processus a été réalisé en utilisant des jugements de 12 experts de différents domaines, y compris les décideurs, les gestionnaires des SEPA et les scientifiques. Le nombre des experts dépend de plusieurs facteurs tels que le temps et les outils disponibles, l'importance de la question, etc. Dans certains cas, il n'est pas possible d'intégrer toutes les parties prenantes dans le processus décisionnel, de sorte que chaque groupe de parties prenantes peut introduire quelques représentants ayant l'expertise requise pour participer au processus de prise de décision et prendre des décisions en fonction des préférences et des priorités des parties prenantes.

Les résultats ont montré que les dimensions économiques (38,3%) et techniques (26,1%) avaient plus de priorité que d'autres (environnementales, sociales, de gouvernance et institutionnelles). En outre, l'autonomie financière (18,7%) et la performance technique (18,4%) étaient les critères les plus importants, tandis que la transparence (2%) et l'organisation (2,8%) avaient le moins d'importance. En plus du point de vue des experts, les indicateurs importants étaient le coût de l'exploitation et de la maintenance ainsi que l'équilibre budgétaire. Grâce à cette méthode, le nombre de priorité de chaque facteur efficace peut être déterminé de manière simple et précise, ce qui aide les décideurs et les gestionnaires à planifier davantage les projets de développement des SEPA actuels et futurs.

Plusieurs raisons expliquent le choix de l'application de la méthode AHP pour calculer les poids globaux des indicateurs qui influent sur la durabilité de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement. AHP, à la fois simple et puissante dans la résolution des problèmes complexes, elle permet de déterminer la pondération des éléments (dimensions, critères et indicateurs) et de vérifier la cohérence des relations d'importance ainsi établies entre eux. Elle intègre aussi les aspects quantitatifs et qualitatifs des situations décisionnelles

et évite les difficultés liées à la manipulation de données ayant des unités de mesure différentes. De plus, elle facilite les analyses de sensibilité par le fait que des critères peuvent être ajoutés ou soustraits du processus décisionnel (Ennaouri, 2010). La méthode AHP permet également de prendre en compte des incertitudes à travers ses nombreuses extensions parmi lesquelles l'approche AHP floue ou «Fuzzy-AHP». Cette dernière se base sur des sous-ensembles flous pour la comparaison binaire entre les critères ou les options (Kubler, 2012). L'utilisation de la méthode AHP est facilitée par une implantation dans de nombreux logiciels d'aide à la décision tels que: «Expert Choice» et «Which & Why», etc.

Par contre, la méthode AHP souffre cependant de quelques limites (Ennaouri, 2010) :

- Le remplissage de la matrice de comparaison peut-être long et fatigant. Le nombre de comparaisons par paire requises peut devenir très important, ce qui rend l'AHP une tâche longue et potentiellement lourde.
- La distinction entre les préférences selon l'échelle de Saaty peut s'avérer difficile pour le décideur. L'échelle de Saaty se compose de 1 à 9 ratios, chacun indiquant combien de fois un élément est plus important ou dominant sur un autre élément par rapport au critère auquel il est comparé (Saaty, 2008).
- Puisque les résultats de l'AHP dépendent des participants qui effectuent les comparaisons par paires, ces résultats seront toujours soumis à des erreurs humaines et à un certain niveau de subjectivité qui varie d'une personne à l'autre.

Chapitre 6.

Combinaison des méthodes AHP - TOPSIS

Chapitre 6.

Combinaison des méthodes AHP - TOPSIS

Dans ce chapitre, une approche intégrée de prise de décision a été développée et appliquée pour l'évaluation de la durabilité des SEPA en Algérie, en combinant deux méthodes d'analyse multicritères : AHP (*Analytic Hierarchy Process*) et TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Le modèle est basé sur la méthode AHP pour déterminer les poids pour les ensembles des éléments sélectionnés. La méthode TOPSIS a été utilisée pour obtenir le classement final de l'alternative la plus proche de la solution idéale.

Douze critères et six alternatives ont été utilisés pour l'évaluation de la durabilité de la gestion des SEPA. Les résultats montrent que l'option de réduire les pertes en eau dans les réseaux et la réforme de la tarification actuelle sont les meilleures solutions pour guider les SEPA en Algérie vers la durabilité.

6.1. Introduction

La demande en eau potable augmente continuellement en raison de l'augmentation de la population, de l'industrialisation, de l'urbanisation et de l'amélioration du niveau de vie (Yaday et al. 2014).

Les gestionnaires des services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) font face à une variété de défis croissants. Les plus importants défis : sont le changement climatique à long terme, la croissance démographique, le vieillissement des réseaux d'eau potable et d'assainissement, la croissance non planifiée et rapide des zones urbaines (Yadav et al. 2014) et le développement économique. Par exemple, la croissance démographique a conduit à une urbanisation et une pollution croissantes et ont contribué aux dommages écologiques, aux inondations urbaines (Sharma et al., 2010). La gestion de ces deux services devient un aspect critique et incombe au gouvernement local (Boukhari et al., 2017).

D'après la littérature scientifique, il existe différents outils, méthodes et techniques pour améliorer la performance des SEPA. Cependant, ces techniques ont des performances

économiques différentes, emmènent des impacts négatifs sur l'environnement et entraînent également des impacts sociaux différents. Par conséquent, il est généralement difficile pour les décideurs et gestionnaires de choisir la solution la plus appropriée parmi plusieurs scénarios car il s'agit d'un problème de prise de décision multicritères et les parties prenantes doivent prendre en compte plusieurs critères. En même temps, le concept de la durabilité a été largement intégré dans le choix de la technologie la plus appropriée parmi de nombreuses technologies disponibles pour atteindre les cibles des décideurs (Manzardo et al., 2012). L'évaluation de la durabilité peut fournir des indications et des implications aux utilisateurs pour promouvoir le développement durable en l'aidant à choisir le scénario le plus durable pour atteindre leur objectif parmi plusieurs alternatives.

La durabilité est généralement associée aux trois piliers du développement durable, par exemple, la durabilité peut-être en analysant simultanément les performances économiques, environnementales et sociales. Cependant, les aspects technique, gouvernance et institutionnel sont également intégrés dans l'évaluation de la durabilité (Boukhari et al., 2017). Par conséquent, l'élaboration d'un système de critères appropriés pour l'évaluation de la durabilité de la gestion des SEPA est d'une grande importance pour la sélection de la solution la plus durable. De nombreuses études se concentrent sur les méthodes MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) pour l'évaluation de la durabilité des SEPA (Hamchaoui et al., 2015 ; Marques et al., 2015 ; Boukhari et al., 2017).

En Algérie, malgré les énormes investissements dans le secteur de l'eau, le système actuel de gestion des SEPA souffre toujours de problèmes tels que : des inefficacités dans la distribution de l'eau potable, des pertes en eau élevées dans les réseaux d'adduction et de distribution, une eau non facturée et une durée d'approvisionnement limitée. Ces questions requièrent l'attention des autorités concernées afin qu'elles puissent être résolues.

En conséquence, l'évaluation de la durabilité est un problème complexe à critères multiples (da cruz et Marques, 2013). La première question difficile à laquelle les décideurs doivent faire face est la suivante: comment sélectionner les critères d'évaluation de la durabilité? Maintenant, il n'y a pas de réponse solide. Il existe différents critères pour mesurer la performance de la durabilité des différentes solutions pour améliorer la gestion de l'offre de service d'eau potable et d'assainissement. De plus, il n'est pas absolu que l'augmentation du nombre de critères soit utile pour la prise de décision sur la sélection d'une solution la plus durable parmi plusieurs alternatives.

Dans cette recherche, un système de critères d'évaluation comprenant douze critères qui présentent les six dimensions de la durabilité : économique, environnementale, sociale, technique, gouvernance et institutionnelle a été établi pour l'évaluation de la durabilité de la gestion des SEPA en Algérie. Il convient de souligner que les décideurs peuvent ajouter ou supprimer certains critères pour l'évaluation de la durabilité des SEPA en fonction des conditions réelles et les préférences des parties prenantes. En conséquence, la présente étude a été conçue pour développer un modèle d'analyse multicritères combinant les méthodes AHP (*Analytic Hierarchy Process*) et TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) a été proposé. Ce modèle est basé sur la méthode AHP pour déterminer les poids pour les ensembles des éléments sélectionnés et la méthode TOPSIS a été utilisée pour obtenir le classement final de l'alternative la plus proche de la solution idéale.

Ce chapitre est composé de quatre sections. La section suivante décrit la méthodologie de l'approche proposée et donne des informations sur AHP et TOPSIS. Dans la section trois, une étude de cas est illustrée pour le cas des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie, les résultats de l'étude sont présentés dans cette section. Enfin, la dernière section est destinée pour conclure ce chapitre.

6.2. Méthodologie

6.2.1. MCDM

L'évaluation de la durabilité de la gestion des SEPA dans lesquelles plusieurs critères sont incorporés est un problème de méthode de prise de décision multicritères (Haider et al., 2016 ; Han et al., 2015). Afin de procéder à l'évaluation de la durabilité, la détermination de la matrice décisionnelle est une condition préalable.

La méthode MCDM (Multiple Criteria Decision Making) est généralement utilisée pour classer ou noter un nombre fini d'options en fonction d'un ensemble de critères d'évaluation (Haikowicz et Higgins, 2008). La méthode MCDM supporte la quantification d'objectifs multiples avec des critères contradictoires (Almeida, 2000). Les méthodes MCDM ont été largement utilisées dans différents domaines tels que la gestion des ressources en eau (Hajkowicz et Collins, 2007). D'après la littérature, il existe plusieurs approches et outils MCDM, mais les plus utilisées dans le domaine de la gestion de l'eau sont : AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE et MACBETH (Hajkowicz et Collins, 2007). Pour le cas de la gestion des services d'eau potable et d'assainissement, des études récentes ont appliqué la méthode MACBETH de la famille des MCDM à la mesure de la durabilité des SEPA au Portugal (da Cruz et Marques, 2013 ; Marques et al., 2015) et la méthode AHP pour

l'évaluation de la durabilité de la gestion des SEPA en Algérie (Hamchaoui et al., 2015 ; Boukhari et al., 2017).

La première étape dans la méthodologie des MCDM est la détermination des poids des critères. Par conséquent, le choix d'une méthode appropriée est une condition préalable à la prise de décisions correctes. Il existe de nombreuses méthodes pour déterminer les poids des critères. L'approche la plus utilisée pour déterminer les poids des critères est l'AHP, elle est largement appliquée dans l'évaluation de la gestion des SEPA (Hamchaoui et al., 2015). L'AHP qui est la méthode de pondération la plus célèbre peut aider les décideurs à déterminer les poids des critères en utilisant des échelles 1-9 et leurs réciproques pour établir la matrice de comparaison (Saaty, 1980). Par conséquent, la méthode AHP développée par Saaty (1980) est utilisée pour déterminer à la fois le poids des critères de durabilité et les priorités relatives des alternatives par rapport à chacun des critères d'évaluation de la durabilité. Cette tâche est généralement difficile pour les décideurs, suite aux grands nombres des critères et des alternatives par rapport à chaque critère d'évaluation de la durabilité. Et pour résoudre cette contrainte, plusieurs chercheurs ont opté de faire des combinaisons de la méthode AHP avec d'autres méthodes MCDM. Une caractéristique de AHP est sa souplesse d'intégration avec différentes méthodes de priorisation combinées comme la normalisation additive, le vecteur propre, les moindres carrés pondérés, les moindres carrés logarithmiques, la programmation logarithmique des objectifs et la programmation des préférences floues (Vaidya et Kumar, 2006). Pour le cas de notre recherche, une méthode intégrée qui combine l'AHP avec TOPSIS est développée. En effet, dans la littérature, il existe de nombreuses applications intégrées de AHP et TOPSIS (Yurdakul et Tansel, 2009 ; Ajukumar et Gandhi, 2013).

6.2.2. AHP

La méthode AHP a été développée dans les années 1970 par Thomas Saaty est une méthodologie de prise de décision multicritère (MCDM). Elle a été largement utilisée pour analyser des décisions complexes et parfois contradictoires. L'AHP est un processus de sélection qui consiste à suivre les étapes suivantes (Saaty et Vargas, 2001):

1. Définissez le problème et déterminez les critères (Lee, 2012).
2. Structurer la hiérarchie de décision en tenant compte du but de la décision.
3. Construire un ensemble de tous les jugements dans une matrice de comparaison carrée dans laquelle l'ensemble d'éléments est comparé avec lui-même (taille $n \times n$) en utilisant l'échelle fondamentale de comparaison par paire montrée dans le tableau (chapitre 5,

tableau 5.1) assigner la valeur réciproque dans la position correspondante dans la matrice. Le nombre total de comparaisons est $n(n-1) / 2$ (Lee, 2012).

4. Utiliser les priorités globales obtenues à partir des valeurs pondérées pour le processus de pondération.

La matrice $A = (a_{ij})$ est dite cohérente si $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$. La formulation générale des valeurs propres est:

$$A_w = \begin{bmatrix} 1 & W_1/W_2 & \cdot & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & 1 & \cdot & W_2/W_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdot & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} = n w \quad (6.1)$$

$$a_{ij} = w_i / w_j \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6.2)$$

$$A w = \lambda_{max} w \quad (6.3)$$

Pour l'indice de cohérence de mesure (CI), adopter la valeur:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n-1) \quad (6.4)$$

Les valeurs acceptables de CR doivent être inférieures à 0,1 (Saaty, 1990). Le CR est obtenu en comparant CI avec un indice de cohérence aléatoire moyen (RI). Les valeurs de RI sont présentées dans le tableau (chapitre 5, tableau 5.2).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6.5)$$

Les experts sont invités à comparer les critères par paire afin de déterminer leur importance relative. Pour les poids des critères, un panel de 16 experts en matière de la gestion de l'eau a été consulté. Les membres de ce panel ont été choisis sur la base de leur expérience dans la gestion de l'eau, leur contribution scientifique et technique à l'analyse de la gestion de l'eau et les fonctionnaires chargés de la mise en œuvre de la politique de l'eau (Boukhari et al., 2017).

Un questionnaire réalisé puis envoyé aux 16 experts. Les données ont été collectées auprès des experts dans leurs bureaux. Il leur est demandé de comparer les critères à un niveau donné par paire. Les résultats des études antérieures sur les facteurs influençant le choix des alternatives par les experts ont d'abord été identifiés par une revue de la littérature. Les experts ont exprimé ou défini un classement pour les attributs en termes d'importance/poids. On demande à chaque expert de remplir la case «coché» dans le tableau d'évaluation en 9 points (Annexe A7). L'un des principaux avantages de la méthode AHP est la structure simple.

6.2.3. TOPSIS

Une fois que les poids de chaque critère ont été calculés, en considérant les évaluations des experts, une autre méthode MCDM a été appliquée afin de classer les alternatives en fonction de leur durabilité. Pour ce faire, la méthode TOPSIS a été utilisée pour classer les alternatives. Le principe derrière la méthode est que l'alternative optimale devrait avoir la distance la plus courte de la solution idéale positive et la distance la plus éloignée de la solution idéale négative. En supposant que chaque critère a une échelle croissante ou décroissante, TOPSIS calcule les résultats en comparant les distances euclidiennes entre les alternatives. TOPSIS suppose que la meilleure alternative est celle qui présente simultanément la distance la plus courte par rapport à la solution idéale positive et la plus éloignée de la solution idéale négative. La solution positive idéale est une alternative aléatoire qui a les meilleures valeurs pour tous les critères considérés, tandis que la solution idéale négative est une alternative aléatoire qui a les plus mauvaises valeurs pour tous les critères. L'un des avantages de TOPSIS est d'éviter les comparaisons par paires. TOPSIS est réalisé comme suit (Tsaur, 2011).

- **Étape 1.** Construire une matrice de décision pour le classement. TOPSIS utilise tous les résultats (x_{ij}) dans une matrice de décision pour développer un classement de compromis. Les alternatives viables au processus de décision sont A_1, A_2, \dots, A_n . La structure de la matrice de décision notée $X = (x_{ij})_{n \times m}$ peut être exprimée comme suit:

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} m \text{ Critères} \\ C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{im} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nj} & \dots & X_{nm} \end{matrix} & \left. \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} \right\} n \text{ Alternatives} \end{matrix} \quad (6.6)$$

x_{ij} : est le résultat d'une alternative par rapport aux critères du $i^{\text{ème}}$.

$W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m)$ est le vecteur de poids relatif à propos des critères, et w_j représente le poids de l'attribut $j^{\text{ème}}$ et :

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1.$$

- **Étape 2.** Normaliser la matrice de décision en utilisant l'équation suivante:

Après avoir défini n critères et m alternatives, la matrice de décision normalisée est établie. La valeur normalisée r_{ij} est calculée à partir de l'équation (1), où w_{ij} est la i^{th} valeur de critère pour les autres A_j .

$$r_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n w_{ij}^2}} \quad i= 1, 2, 3, \dots, n \text{ et } j = 1, 2, 3, \dots, m \dots\dots\dots (6.7)$$

r_{ij} : La valeur normalisée

- **Étape 3.** Calculer la matrice de décision normalisée pondérée en multipliant la matrice de décision normalisée par ses poids associés comme suit:

Les valeurs pondérées normalisées v_{ij} dans la matrice de décision sont calculées comme suit:

$$v_{ij} = w_i * r_{ij} \dots\dots\dots (6.8)$$

v_{ij} : Les valeurs pondérées normalisées

- **Étape 4.** Identifier la solution idéale positive et la solution idéale négative, respectivement, comme suit:

La solution idéale positive A^+ et la solution négative idéale A^- sont indiquées ci-dessous :

$$A^+ = \{max_i v_{ij} (i \in J^+) | min_i v_{ij} (i \in J^-)\} = \{(v_1^+, \dots \dots v_j^+) | j = 1, 2, \dots m)\} \dots\dots\dots (6.9)$$

$$A^- = \{min_i v_{ij} (i \in J^+) | max_i v_{ij} (i \in J^-)\} = \{(v_1^-, \dots \dots v_j^-) | j = 1, 2, \dots m)\} \dots\dots\dots (6.10)$$

Où J^+ et J^- sont liés aux critères avec une polarité positive (plus est mieux) et les critères avec polarité négative (moins est mieux), respectivement.

- **Étape 5.** Déterminer la distance Euclidienne (mesures de séparation) de chaque solution

A partir de la distance euclidienne, E est calculée comme la séparation de chaque alternative de la solution idéale (6.11). La séparation de la solution idéale négative suit (6.12).

$$E_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \dots\dots\dots (6.11)$$

$$E_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \dots\dots\dots (6.12)$$

- **Étape 6.** Calculer la proximité relative

La proximité relative à la solution idéale de chaque alternative est calculée à partir de:

$$RC_i^* = \frac{E_i^-}{E_i^+ + E_i^-} \dots\dots\dots (6.13)$$

$$0 \leq RC_i^* \leq 1$$

Où RC_i^* est un indice avec des valeurs comprises entre 0 et 1, où 0 correspond aux pires performances possibles et 1 au meilleur.

- **Étape 7.** En comparant les valeurs RC_i ,

Le classement des alternatives est déterminé. Plus que la proximité est élevée, le rang est meilleur. Classer les alternatives à partir de la valeur la plus proche de 1 et par ordre décroissant.

6.2.4. Combiner AHP et TOPSIS pour déterminer le classement des alternatives

Dans l'analyse des données, les méthodologies AHP et TOPSIS sont utilisées pour le surclassement des alternatives de fournisseur. La figure 6.1 montre les étapes de la méthode proposée.

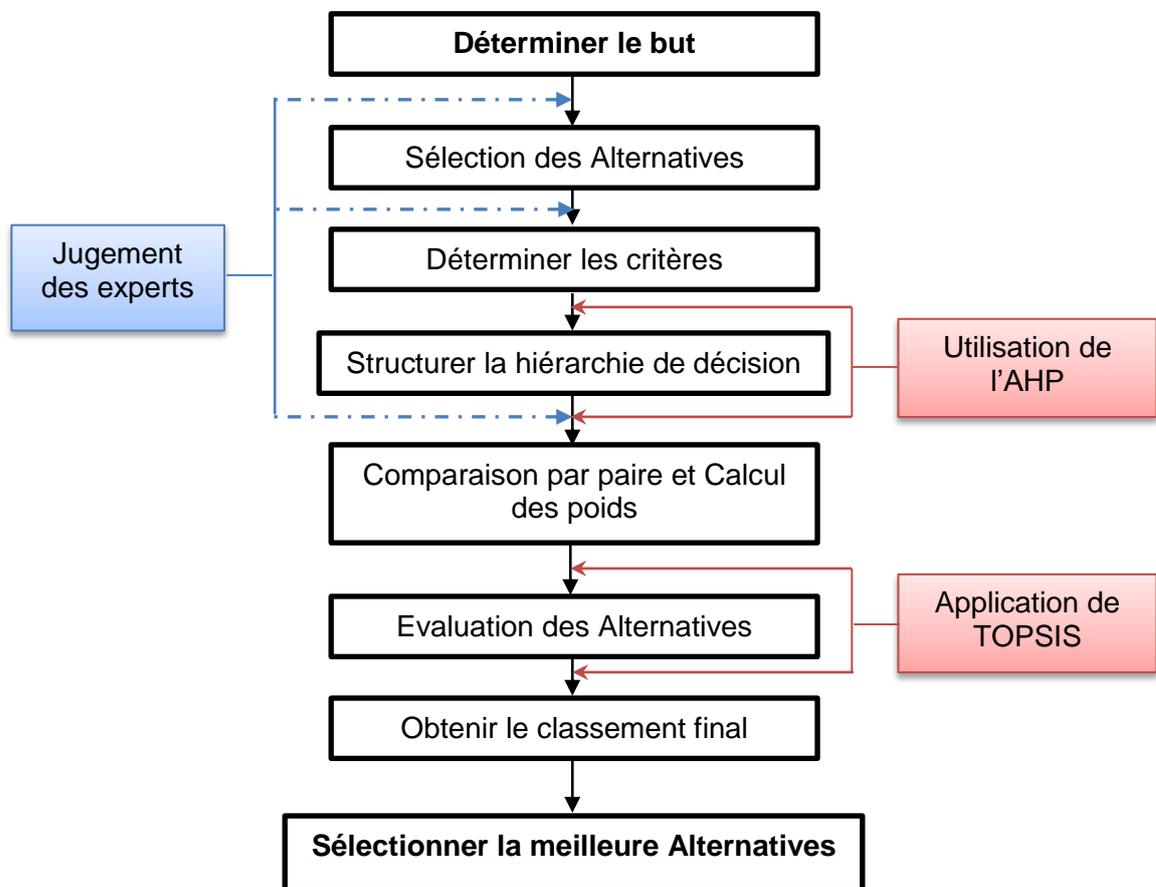


Figure 6.1. Étapes de la méthode proposée

6.3. Résultats et discussions

Dans le cadre de ce chapitre, deux méthodes de prise de décision multicritères ont été utilisées pour évaluer la durabilité des SEPA en Algérie. Plus concrètement, AHP a été utilisé pour obtenir l'importance de chaque dimension et de chaque indicateur dans la durabilité de SEPA, et par la suite, TOPSIS nous a permis de classer les alternatives pour une durabilité de la gestion des SEPA.

6.3.1. Identification des critères et des alternatives

Pour appliquer la méthode proposée, 12 critères et 6 alternatives sont sélectionnées pour l'évaluation de la durabilité des SEPA en Algérie. Les critères à prendre en compte dans la sélection des alternatives sont déterminés par une revue de la littérature et des experts. L'expérience passée et les antécédents des experts sont utilisés dans la détermination des critères importants à utiliser pour la sélection des alternatives sont établis. Ces 12 critères sont les suivants: Recouvrement du Coût total (C1.1), Autonomie financière (C1.2), Impact environnemental (C2.1), Utilisation de ressources (C2.2), Accessibilité aux services (C3.1), Abordabilité (C3.2), Performance technique (C4.1), Modernisation (C4.2), Transparence (C5.1), Politique et Planification des SEPA (C5.2), Règlementation (C6.1), et Organisation (C6.2).

La structure hiérarchique pour sélectionner la meilleure alternative est montrée dans la figure 6.2. Les 6 alternatives sélectionnées sont : Alimentation continue de l'eau potable (A_1); Collecte et épuration de toutes les eaux usées (A_2); Utilisation des ressources non-conventionnelles (A_3); Réduction des pertes en eau (A_4); Réforme de la tarification de l'eau (A_5); Amélioration de la qualité de l'eau distribuée (A_6).

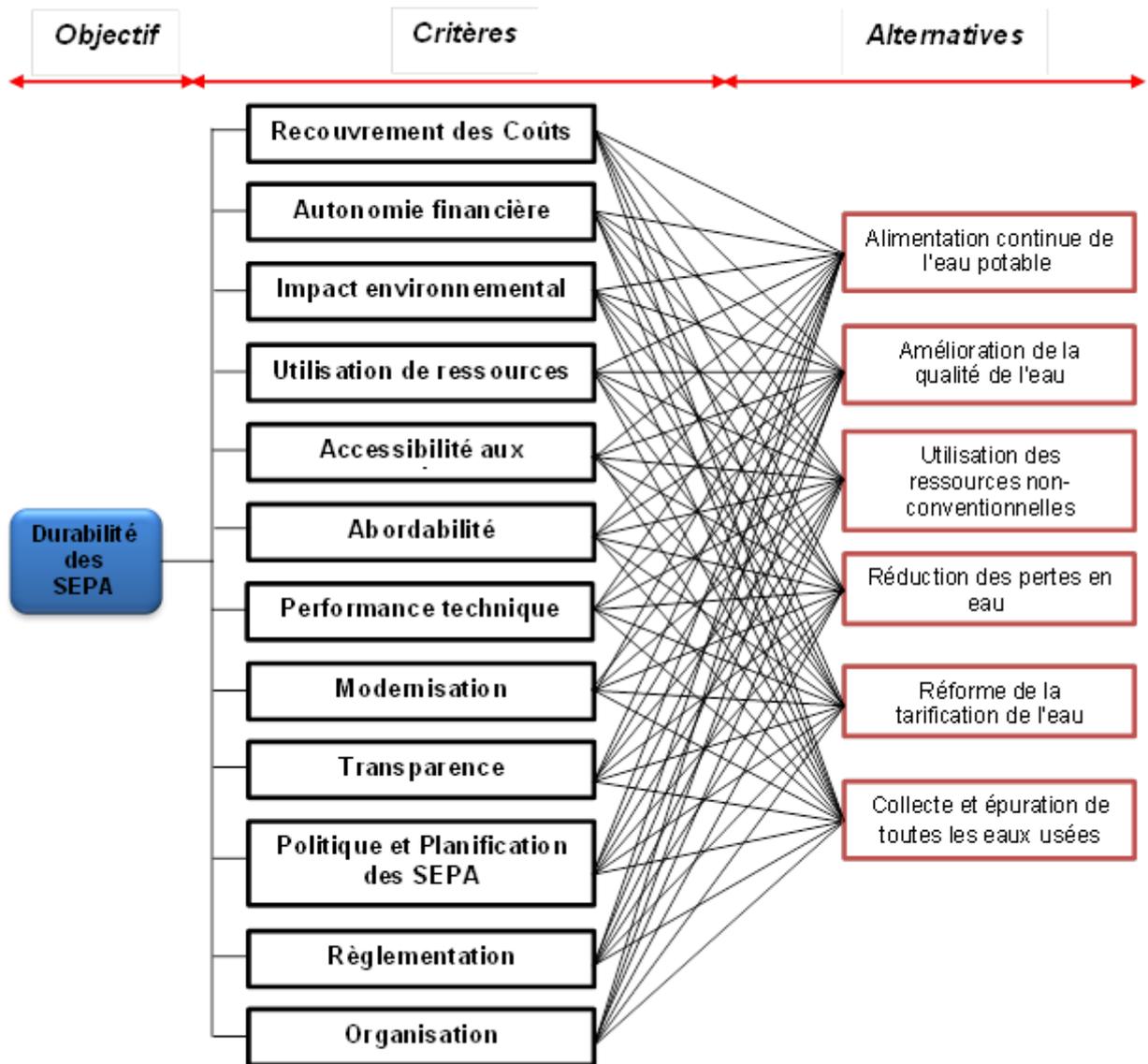


Figure 6.2. Structure hiérarchique pour la sélection des alternatives pour la durabilité des SEPA

Après avoir formé la hiérarchie de décision pour le problème, les poids des critères à utiliser dans le processus d'évaluation sont calculés en utilisant la méthode AHP. Dans cette phase, les experts ont pour tâche de former une matrice de comparaison individuelle par paire en utilisant l'échelle 1-9 de Saaty.

Les moyennes géométriques des valeurs de choix des experts sont calculées pour former la matrice de comparaison par paire (tableau 6.1). Les résultats obtenus à partir des calculs basés sur la matrice de comparaison par paires sont présentés dans le tableau 6.2.

Tableau 6.1: La matrice de comparaison par paire pour les critères

	C 1.1	C 1.2	C 2.1	C 2.2	C 3.1	C 3.2	C 4.1	C 4.2	C 5.1	C 5.2	C 6.1	C 6.2
C 1.1	1	1	5	5	4	2	1	5	7	5	3	7
C 1.2	1	1	5	5	4	3	1	4	7	7	5	5
C 2.1	1/5	1/5	1	1	1/3	1/4	1/3	1	3	2	1	3
C 2.2	1/5	1/5	1	1	1	1/3	1/5	3	3	1/7	3	3
C 3.1	1/4	1/4	3	1	1	3	1/3	2	5	3	4	3
C 3.2	1/2	1/3	4	3	1/3	1	1/5	4	5	2	3	5
C 4.1	1	1	3	5	3	5	1	3	9	5	5	7
C 4.2	1/5	1/4	1	1/3	1/2	1/4	1/3	1	3	1	3	1
C 5.1	1/7	1/7	1/3	1/3	1/5	1/5	1/9	1/3	1	1/5	2	1/3
C 5.2	1/5	1/7	1/2	7	1/3	1/2	1/5	1	5	1	1	2
C 6.1	1/3	1/5	1	1/3	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	1
C 6.2	1/7	1/5	1/3	1/2	1/3	1/5	1/7	1	3	1/2	1	1

Tableau 6.2. Résultats obtenus par AHP

Critères	Indices	Poids (<i>w</i>)
Recouvrement du Coût total	C1.1	0,178
Autonomie financière	C1.2	0,187
Impact environnemental	C2.1	0,045
Utilisation de ressources	C2.2	0,051
Accessibilité aux services	C3.1	0,088
Abordabilité	C3.2	0,092
Performance technique	C4.1	0,184
Modernisation	C4.2	0,042
Transparence	C5.1	0,020
Politique et Planification des SEPA	C5.2	0,056
Règlementation	C6.1	0,029
Organisation	C6.2	0,028

$\lambda_{\max} = 13.61$

CI = 0,14653

RI = 1,54

CR = 0.0952 < 0.1

Les rapports de cohérence des matrices de comparaison par paires des experts sont tous inférieurs à 0,1. Les poids sont donc cohérents et utilisés dans le processus du classement de la meilleure alternative en utilisant la méthode TOPSIS.

Dans cette étape, la méthode TOPSIS est appliquée pour classer les alternatifs. TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) est une méthode dont le but

est de pouvoir classer par ordre de choix un certain nombre d'alternatives sur la base d'un ensemble de critères favorables ou défavorables. Cette méthode s'inscrit dans les techniques utilisées dans le domaine d'aide à la décision multicritères (MCDM : *Multiple Criteria Decision Making*). Elle a été développée par Hwang et Yoon en 1981. Son principe consiste à déterminer pour chaque alternative un coefficient compris entre 0 et 1 sur la base des distances (euclidiennes) entre chaque alternative d'une part et les solutions idéales favorable et défavorable (Tsaur, 2011).

6.3.2. Les étapes de calcul

Les étapes à suivre pas à pas sont détaillées ci- dessous : on peut utiliser un fichier EXCEL pour matérialiser ces étapes.

Etape 1 : Construire la matrice d'Entrée

1. Définir les **niveaux** à attribuer à chaque critère

Les poids pour les critères (figure 6.3) peuvent être utilisés comme entrées de TOPSIS

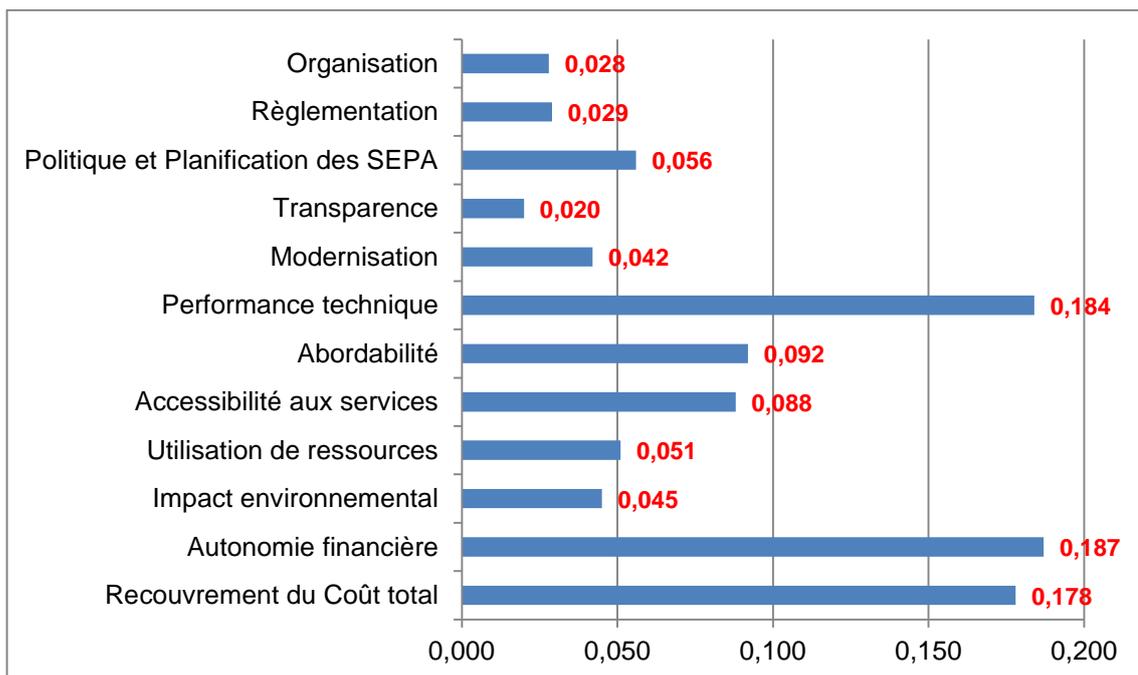


Figure 6.3. Poids résultants des critères obtenus avec AHP.

2. Construire la matrice des scores attribués à chaque critère relativement à chaque alternative : **Alternatives X Critères**

Matrice : Alternatives X Critères (Analyser le choix la base des critères positifs et négatifs)

La matrice des scores attribués à chaque critère est définie dans le tableau 6.3

Tableau 6.3. La matrice des scores attribués à chaque critère

Alternatives	Critères + et -											
	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2	C6.1	C6.2
Alimentation continue de l'eau potable (A ₁)	4	3	5	6	5	1	2	3	2	1	1	2
Collecte et épuration de toutes les eaux usées (A ₂)	1	2	4	5	3	3	1	5	2	4	4	2
Utilisation des ressources non-conventionnelles (A ₃)	1	1	6	3	2	1	2	3	1	3	2	1
Réduction des pertes en eau (A ₄)	7	6	5	6	6	4	7	5	4	6	3	4
Réforme de la tarification de l'eau (A ₅)	7	7	5	4	4	6	5	4	3	6	5	3
Amélioration de la qualité de l'eau distribuée (A ₆)	2	3	5	3	4	2	4	3	2	5	4	4

Légende :

Critère favorable en ayant une valeur supérieure

Critère défavorable en ayant une valeur supérieure

Etape 2 : Normalisation de la matrice (Application de la méthode TOPSIS)

1. Normaliser la matrice en utilisant la distance Euclidienne (entrées entre 0 et 1)

La matrice de décision normalisée est définie dans le tableau 6.4

Tableau 6.4. La matrice de décision normalisée

Weights (W): 0,178 0,187 0,045 0,051 0,088 0,092 0,184 0,042 0,020 0,056 0,029 0,028

Alternatives	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2	C6.1	C6.2
A ₁	0,365	0,289	0,406	0,524	0,486	0,122	0,201	0,311	0,324	0,090	0,119	0,283
A ₂	0,091	0,192	0,324	0,437	0,291	0,367	0,101	0,518	0,324	0,361	0,475	0,283
A ₃	0,091	0,096	0,487	0,262	0,194	0,122	0,201	0,311	0,162	0,271	0,237	0,141
A ₄	0,639	0,577	0,406	0,524	0,583	0,489	0,704	0,518	0,649	0,541	0,356	0,566
A ₅	0,639	0,674	0,406	0,349	0,389	0,733	0,503	0,415	0,487	0,541	0,593	0,424
A ₆	0,183	0,289	0,406	0,262	0,389	0,244	0,402	0,311	0,324	0,451	0,475	0,566

$$r_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n w_{ij}^2}}$$

2. Multiplier les entrées de la matrice par les poids associés aux critères (**Matrice normalisée et pondérée**)

Tableau 6.5. La matrice de décision normalisée pondérée

Weights (W):	0,178	0,187	0,045	0,051	0,088	0,092	0,184	0,042	0,020	0,056	0,029	0,028
Alternative	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2	C6.1	C6.2
A ₁	0,065	0,054	0,018	0,027	0,043	0,011	0,037	0,013	0,006	0,005	0,003	0,008
A ₂	0,016	0,036	0,015	0,022	0,026	0,034	0,018	0,022	0,006	0,020	0,014	0,008
A ₃	0,016	0,018	0,022	0,013	0,017	0,011	0,037	0,013	0,003	0,015	0,007	0,004
A ₄	0,114	0,108	0,018	0,027	0,051	0,045	0,129	0,022	0,013	0,030	0,010	0,016
A ₅	0,114	0,126	0,018	0,018	0,034	0,067	0,092	0,017	0,010	0,030	0,017	0,012
A ₆	0,032	0,054	0,018	0,013	0,034	0,022	0,074	0,013	0,006	0,025	0,014	0,016

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}$$

Etape 3 : Calcul de la pire et la meilleure solution A⁺ et A⁻

Cette étape a pour but d'identifier la solution idéale positive « A⁺ » et la solution idéale négative « A⁻ »

1. Calcul de la solution favorable idéale « A⁺ »

Tableau 6.6 : La solution idéale positive « A⁺ »

	J ⁺		J ⁻		J ⁺							
Alternative	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2	C6.1	C6.2
A ₁	0,065	0,054	0,018	0,027	0,043	0,011	0,037	0,013	0,006	0,005	0,003	0,008
A ₂	0,016	0,036	0,015	0,022	0,026	0,034	0,018	0,022	0,006	0,020	0,014	0,008
A ₃	0,016	0,018	0,022	0,013	0,017	0,011	0,037	0,013	0,003	0,015	0,007	0,004
A ₄	0,114	0,108	0,018	0,027	0,051	0,045	0,129	0,022	0,013	0,030	0,010	0,016
A ₅	0,114	0,126	0,018	0,018	0,034	0,067	0,092	0,017	0,010	0,030	0,017	0,012
A ₆	0,032	0,054	0,018	0,013	0,034	0,022	0,074	0,013	0,006	0,025	0,014	0,016
A⁺	0,114	0,126	0,015	0,013	0,051	0,067	0,129	0,022	0,013	0,030	0,017	0,016

$$A^+ = \{ \max_i v_{ij} (i \in J^+) | \min_i v_{ij} (i \in J^-) \}$$

$$A^+ = \{ v_j^+ | j = 1, \dots, m \}$$

2. Calcul de de la solution défavorable idéale « A⁻ »

Tableau 6.7 : La solution idéale négative « A⁻ »

Alternative	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2	C6.1	C6.2
A ₁	0,065	0,054	0,018	0,027	0,043	0,011	0,037	0,013	0,006	0,005	0,003	0,008
A ₂	0,016	0,036	0,015	0,022	0,026	0,034	0,018	0,022	0,006	0,020	0,014	0,008
A ₃	0,016	0,018	0,022	0,013	0,017	0,011	0,037	0,013	0,003	0,015	0,007	0,004
A ₄	0,114	0,108	0,018	0,027	0,051	0,045	0,129	0,022	0,013	0,030	0,010	0,016
A ₅	0,114	0,126	0,018	0,018	0,034	0,067	0,092	0,017	0,010	0,030	0,017	0,012
A ₆	0,032	0,054	0,018	0,013	0,034	0,022	0,074	0,013	0,006	0,025	0,014	0,016

A ⁻	0,016	0,018	0,022	0,027	0,017	0,011	0,018	0,013	0,003	0,005	0,003	0,004
----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$A^+ = \{ \min_i v_{ij} \ (i \in J^+) \mid \max_i v_{ij} \ (i \in J^-) \}$$

$$A^- = \{ v_j^- \ j = 1, \dots, m \}$$

La solution idéale positive « A⁺ » et la solution idéale négative « A⁻ » sont présentées dans la figure 6.4.

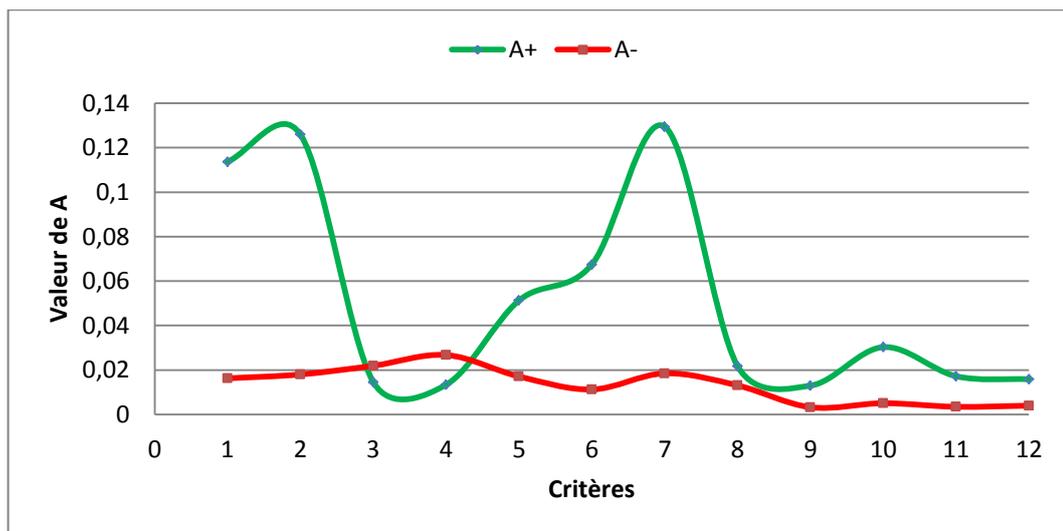


Figure 6.4. La solution idéale positive « A⁺ » et la solution idéale négative « A⁻ »

Etape 4 : Calcul de la distance de chaque alternative de la pire et la meilleure solution

L'étape 4, déterminer la distance Euclidienne (mesures de séparation) de chaque solution de la solution idéale positive et de la solution idéale négative

1. Calcul du vecteur E^+ exprimant la distance de chaque alternative de la meilleure solution A^+

Alternative	E+
A ₁	0,030524494
A ₂	0,014786956
A ₃	0,023914972
A ₄	0,006883334
A ₅	0,005119210
A ₆	0,008913264

$$E^+_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^+ - v_{ij})^2}$$

2. Calcul du vecteur E^- exprimant la distance de chaque alternative de la pire solution A^-

Alternative	E-
A ₁	0,005119
A ₂	0,019034
A ₃	0,010669
A ₄	0,030342
A ₅	0,030524
A ₆	0,025811

$$E^-_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^- - v_{ij})^2}$$

Etape 5 : Calcul de la proximité de chaque alternative

1. Le coefficient de proximité de chaque alternative est obtenu par le facteur (entre 0 et 1) : $E^-/(E^-+E^+)$

Alternative	E ⁺	E ⁻	E ⁻ /(E ⁻ + E ⁺)
A ₁	0,030524494	0,005119210	0,143621727
A ₂	0,014786956	0,019033533	0,562781121
A ₃	0,023914972	0,010669059	0,308496677
A ₄	0,006883334	0,030341976	0,815089956
A ₅	0,005119210	0,030524494	0,856378273
A ₆	0,008913264	0,025810597	0,743310118

La meilleure alternative est celle qui est la **plus lointaine** de la solution A^- (dite **pire solution** ou **solution idéale négative**) et la **plus proche de la solution A^+** (dite **meilleure solution** ou **solution idéale positive**).

La meilleure alternative est celle qui est la **plus lointaine** de la solution A^- (dite **pire solution** ou **solution idéale négative**) et la **plus proche de la solution A^+** (dite **meilleure solution** ou **solution idéale positive**). Ou peut aussi trouver géométriquement à partir du schéma d'illustration ci-dessous, la meilleure alternative (6.5).

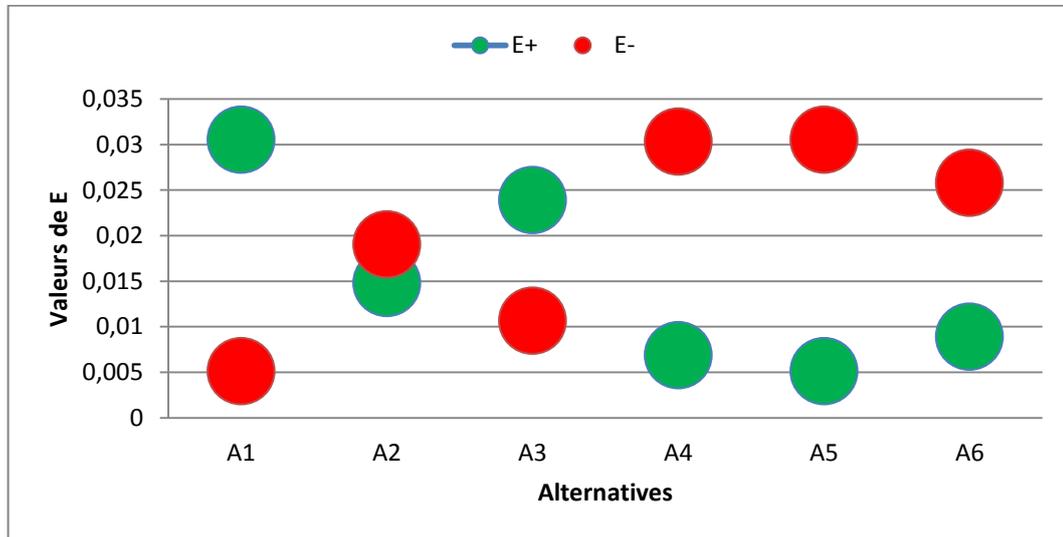


Figure 6.5. La proximité de chaque alternative

2. Calcul du coefficient de proximité de la solution idéale et rangement en ordre de choix

Le tableau 6.8 montre les résultats de l'évaluation et le classement final des alternatifs.

Tableau 6.8. Classements pondérés des alternatives

Alternative	S^*	Ordre de choix	Répartition des coefficients
A ₁	0,1436	6	4%
A ₂	0,5628	4	16%
A ₃	0,3085	5	9%
A ₄	0,8151	2	24%
A ₅	0,8564	1	25%
A ₆	0,7433	3	22%

$$S^*_i = \frac{E^-_i}{E^-_i + E^+_i}$$

Comme résultats de notre étude, les alternatives : Réforme de la tarification de l'eau (A₅), Réduction des pertes en eau (A₄) et Amélioration de la qualité de l'eau distribuée (A₆) sont les meilleures solutions pour améliorer la gestion des SEPA en Algérie.

6.4. Conclusions

L'évaluation de la durabilité de la gestion des services de l'eau potable et d'assainissement (SEPA) est d'une importance vitale pour aider les décideurs et les gestionnaires à choisir les meilleures solutions les plus durables parmi plusieurs alternatives pour améliorer la performance de l'offre de service.

L'utilisation de techniques de décision multicritères (MCDM) telles que les méthodes AHP et TOPSIS constitue une approche utile pour la sélection du meilleur alternative. L'objectif principal de ce chapitre est de combiner les méthodes AHP et TOPSIS pour sélectionner les alternatives appropriées pour l'évaluation de la durabilité des SEPA en Algérie. AHP a été utilisé pour obtenir l'importance de chaque dimension et de chaque indicateur dans la durabilité de SEPA, et par la suite, TOPSIS nous a permis de classer les alternatives pour une durabilité de la gestion des SEPA. Les poids des critères (entrée de TOPSIS) sont importants. Il est montré que le classement final de TOPSIS peut être déterminé par les poids des critères. La méthodologie proposée peut également être appliquée à tout autre problème de sélection impliquant des critères multiples et contradictoires.

Comme résultats de notre étude, les alternatives : Réforme de la tarification de l'eau (A_5), Réduction des pertes en eau (A_4) et Amélioration de la qualité de l'eau distribuée (A_6) sont les meilleures solutions pour améliorer la gestion des SEPA en Algérie.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce travail de recherche a un double objectif : d'une part, améliorer la compréhension scientifique du concept du développement durable, la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement (SEPA) et les méthodes et outils d'évaluation de la durabilité ; d'autre part, développer un outil méthodologique d'aide à la décision pour guider les décideurs et les gestionnaires des SEPA d'aller vers une gestion durable.

La première question de cette recherche est de savoir est-ce-que les SEPA en Algérie sont durable ? Ensuite, d'autres questions de recherche sont analysées : Comment évaluer la durabilité de ces deux services de façon fiable ? Comment améliorer cette durabilité (recherche de meilleurs indicateurs et classement final des alternatives)?

La durabilité de l'offre de services de l'eau potable et de l'assainissement fait l'objet de plusieurs débats. En effet, ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre de moyens et d'outils nécessaires et devrait contribuer à mettre au point un outil méthodologique pour l'évaluation de la gestion durable des SEPA en Algérie.

La première partie de cette thèse a pour but de réaliser une synthèse bibliographique de notre thème de recherche. Elle commence par un examen de l'état de l'art sur le concept du développement durable, la notion de la durabilité, et une revue de littérature sur la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement (Chapitre 1). Le deuxième chapitre examine les différentes méthodes d'évaluation (CBA, LCA, TBL, IA et MCA). Ultérieurement, nous avons réalisé une revue de littérature approfondie des principales approches utilisables pour évaluer la durabilité. La discussion de ces approches, complétée par un dialogue entre réflexions théoriques et observations empiriques, nous a permis d'analyser en quoi les méthodes actuelles sont généralement peu capables de démontrer la fiabilité et l'objectivité des évaluations qu'elles produisent. Afin de dépasser les limites des approches a priori, nous avons élaboré une méthodologie pour définir/évaluer la durabilité du développement des SEPA en Algérie de façon objective et fiable.

Ensuite, un examen systématique de la littérature scientifique a été effectué sur 102 articles récents (entre 2000-2017) qui ont utilisé les différentes techniques de la méthode d'analyse multicritères pour évaluer la gestion du secteur de l'eau (gestion des ressources en eau, gestion des pertes en eau, irrigation, qualité de l'eau, gestion des services d'eau potable et d'assainissement, etc...). En effet, ces dernières années un nombre important de travaux ont abordé la question de l'évaluation de la gestion durable des SEPA. Beaucoup de chercheurs ont proposé des outils susceptibles de suivre la mesure de l'évolution de la durabilité de la gestion des SEPA. Ensuite, le chapitre 3 a pour but de diagnostiquer l'état actuel des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Ce chapitre recense les principaux problèmes auxquels les décideurs et les gestionnaires des SEPA en Algérie sont confrontés. Dans le cadre de ce troisième chapitre les données technico-économiques des deux services (ADE et ONA) sont présentées et analysées. Ce diagnostic permet notamment d'étudier les "forces" et les « faiblesses » qui gouvernent le développement et la durabilité du service d'eau en Algérie et de voir les différents changements et ses transformations dans le temps. Dans ce contexte, les spécialistes ont jugé que la gestion de l'eau en Algérie est complexe et non-durable. Pour relever le défi, l'Algérie doit intégrer la gestion des SEPA dans le concept du développement durable. Pour réussir l'adoption de la durabilité de la gestion des SEPA, nous avons proposé une nouvelle méthodologie qui est développée dans la deuxième partie.

Cette deuxième partie expose la méthodologie développée et proposée pour évaluer les SEPA en l'Algérie. Cette partie est consacrée aux résultats et discussions (contributions scientifiques). Parmi les résultats de notre recherche :

Les résultats de l'enquête chez les abonnés qui sont exposés dans le chapitre 4. L'approche directe permettra de recueillir des éléments d'information en complément de ceux obtenus directement auprès des services commerciaux et d'exploitations des unités locales de l'ADE et l'ONA. Cette enquête produit des jugements et des informations sur la gestion actuelle des SEPA en Algérie et les conditions dans lesquelles les consommateurs (abonnés) sont prêts à payer. En effet, Cette enquête vise six grands axes principaux : i) le premier est consacré aux caractéristiques socio-économiques des ménages (le revenu du chef de famille, la taille du ménage, le nombre de personnes dans l'habitation...etc.), ii) le deuxième est orienté aux caractéristiques de l'habitation (le type de l'habitation...etc.), iii) le troisième axe a pour but d'analyser la qualité de l'offre de services d'eau potable et d'assainissement, iv) le quatrième est consacré à la qualité de l'eau distribuée. Le cinquième est consacré au prix de l'eau. Enfin, dans le sixième axe, les ménages sont interrogés pour savoir s'ils sont d'accords pour payer plus ou non pour différentes raisons.

Une première enquête a été effectuée au niveau national (48 Wilayas) en utilisant un questionnaire réalisé sur Google Driver et partagé sur les réseaux sociaux (différentes pages sur Facebook). Malheureusement, le taux de participation est faible (1031 repenses / niveau national). Nous avons remarqué que les réponses sont presque identiques pour toutes les Wilayas. Et pour combler cette contrainte (faible taux de réponses), une deuxième enquête est lancée au niveau des 16 communes gérées par l'ADE et l'ONA pour le cas de la Wilaya de Souk-Ahras (une enquête sur 5342 abonnés avec un taux de 10,86% du nombre total des abonnés domestiques).

Dans le Chapitre 5, la méthode AHP a été appliquée pour le cas de l'Algérie. Afin de vérifier la robustesse de cet outil méthodologique d'aide à la décision et de démontrer son objectivité, nous l'avons appliqué à un cas d'étude concret : les services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Les éléments pour le jugement et l'évaluation de la durabilité des SEPA (6 dimensions, 12 critères et 50 indicateurs) ont été définis dans 3 différents niveaux hiérarchiques. Ensuite, les séries de comparaisons par paires ont été obtenues par des jugements de 12 experts dans différents domaines impliqués dans la gestion des SEPA, y compris les décideurs, les gestionnaires et les scientifiques.

Les résultats ont montré que les dimensions économiques (38,3%) et techniques (26,1%) avaient plus de priorité que d'autres (environnementales, sociales, de gouvernance et institutionnelles). En outre, l'autonomie financière (18,7%) et la performance technique (18,4%) étaient les critères les plus importants, tandis que la transparence (2%) et l'organisation (2,8%) avaient le moins d'importance. En plus du point de vue des experts, les indicateurs importants étaient le coût de l'exploitation et de la maintenance ainsi que l'équilibre budgétaire. Grâce à cette méthode, le nombre de priorité de chaque facteur efficace peut être déterminé de manière simple et précise, ce qui aide les décideurs et les gestionnaires à planifier davantage les projets de développement des SEPA actuels et futurs.

Le chapitre 6 présente une combinaison entre les deux méthodes de MCDM (AHP et TOPSIS). L'approche intégrée des MCDM, impliquant les deux méthodes AHP et TOPSIS, est appliquée pour classer un ensemble d'alternatives pour l'amélioration de la gestion actuelle des SEPA en Algérie. Le résultat du classement final, aide à choisir une solution d'amélioration plus appropriée pour un ensemble spécifique de critères sélectionnés. Il montre également comment les critères sélectionnés peuvent être pris en compte.

L'importance relative des critères est évaluée dans le processus hiérarchique analytique (AHP). Par contre, les poids globaux sont classés dans un classement en termes de durabilité selon la technique de préférence d'ordre par la similarité avec la solution idéale (TOPSIS). Les alternatives : Réforme de la tarification de l'eau, Réduction des pertes en eau et Amélioration de la qualité de l'eau distribuée sont les meilleures solutions pour améliorer la gestion des SEPA en Algérie.

L'approche proposée est capable d'aider les décideurs à envisager des alternatives pertinentes pour l'amélioration de la qualité de l'offre de service d'eau et les accompagner vers la durabilité de la gestion de leurs services.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abdelbaki, C., Touaibia, B., Allal, M.A., & Kara Slimane, F. 2012.** Applied Systemic Approach to Water Supply Network the Case of an Urban Cluster of Tlemcen – Algeria. *Procedia Engineering*, vol.33, pp. 30 - 37.
2. **ADE, 2009.** Rapport annuel d'exploitation, Zone de Souk-Ahras
3. **ADE, 2015.** Rapport annuel d'exploitation, Unité de Souk-Ahras
4. **Ahmed Zaid-Chertouk, M. 2012.** La gestion du service public de l'eau et de l'assainissement en Algérie. Cadre légal, financement et régulation. In : 29^{ème} International Congress of CIRIEC, Vienne, 12-14 septembre 2012, 24 p.
5. **Ajukumar V.N. & Gandhi, O.P. 2013.** Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. *Journal of Cleaner Production*, 51, 34-56
6. **Alegre, H., Hirner, W., Melo Baptista, J., & Parena, R. 2000.** Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Publishing, London.
7. **Almeida, N., et Jalenques-Vigouroux, B. 2007.** Dire le développement durable. *Responsabilité & Environnement* N° 48 Octobre 2007. 44 - 51
8. **Anagnostopoulos, K. P., & Vavatsikos, A. P., 2006.** An AHP model for construction contractor prequalification, *Operational Research. An International Journal* 6(3): 333–346
9. **Arrow, K.J., Maureen L.C., George C.E., Robert W.H., Lester B.L., Roger G.N., & Paul R.P. 1997.** Is there a role for benefit-cost analysis in environmental, health, and safety regulation? *Environment and Development Economics*, 2, 195–221.
10. **ASCE/UNESCO. 1998.** Sustainability criteria for water resource systems/prepared by the Task Committee on Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division, American Society of Civil Engineers and the working group of UNESCO/IHP IV Project M-4.3. Reston, Va.: American Society of Civil Engineers, 254 p.
11. **Ashbolt, N.J., Petterson, S.R, Roser, D.J. 2006.** Microbial risk assessment tool to aid in the selection of sustainable urban water systems. In *Proceedings of 2nd IWA Leading-Edge on Sustainability in Water-Limited Environments Conference* (Beck MB and Speers A (eds)). IWA Publishing, London, UK
12. **Ashley, D., Butler, P., Pearson, P., Jowit, P., & Moir, J., 2003.** Sustainability decision making for the UK water industry. *Proc. Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.* 156 (12), 41–49.
13. **Ashley, D., Souter, D., Butler, P., Davies, J., Dunkerley, J., & Hendry, S., 1999.** Assessment of the sustainability of alternatives for the disposal of domestic sanitary waste. *Water Sci. Technol.* 39 (5), 251–258.

14. **Ashley, R., Blackwood, D., Butler, D., & Jowitt, P., 2004.** Sustainable Water Services: A Procedural Guide. IWA Publishing, London.
15. **Ayabi, D. 2010.** Optimisation multicritère de la fiabilité : application du modelé de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz. Thèse de doctorat en cotutelle spécialité: science de l'ingénieur école doctorale d'Angers
16. **Balkema, A., Preisig, H., Otterpohl, R., & Lambert, F., 2002.** Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water* 4 (2), 153–161.
17. **Balyani, H.H., Sohani, A., Sayyaadi, H., & Karami, R., 2015.** Acquiring the best cooling strategy based on thermal comfort and 3E analyses for small scale residential buildings at diverse climatic conditions. *international journal of refrigeration* 57, 112-137.
18. **Bana e Costa, C., De Corte, J., & Vansnick, J., 2003.** MACBETH. Working Paper LSEOR, no. 56. London School of Economics and Political Science, London.
19. **Barraqué, B., de Gouvello, B., Cambon, S., & Johannes, B. 1997.** WATER 21: towards sustainable european water management : sustainability of the water services industry: Phase 2 report on France. (rapport du LATTIS remis dans le cadre du programme de recherche de la Commission Européenne Eurowater).
20. **Barraqué, B. 1998.** Les services publics d'eau et d'assainissement face au développement durable. *Annales des Ponts et Chaussées*, n°87, p. 24-32.
21. **Barraqué, B. 2009.** Abonnements individuels à l'eau en appartements à Paris : éclairages international et national ». *Flux*. 30 octobre 2009. Vol. n° 76-77, n°2, p. 82-93.
22. **Barraqué, B. 2013.** Is individual metering socially sustainable? The case of multifamily housing in France ». *Water Alternatives*. Vol. 4, n°2, p. 223-244.
23. **BCEOM, 2008.** Rapport Mission B : Diagnostic du réseau de distribution existant. Étude de diagnostic et de réhabilitation du système d'alimentation en eau potable de la ville de Souk-Ahras.
24. **Benachenhou, A. 2005.** Le prix de l'avenir. Le développement durable en Algérie. Ed. Thotm, paris, 67.
25. **Benblidia, M. & Thivet, G. 2010.** Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre. Plan bleu, Les Notes d'analyse du CIHEAM N°58 – Mai 2010.
26. **Benblidia, M. 2011.** L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale Algérie », Plan Bleu, 2011.
27. **Bessedik, M. 2007.** Vers une gestion durable de l'eau dans les villes algériennes. In : Communication au 3^{ème} Atelier régional sur l'eau et le développement durable en Méditerranée, Saragosse.
28. **Blinda, M., et Thivetal, G. 2009.** Ressources et demandes en eau en méditerranée : Situation et perspectives. *Sécheresse*, vol.20, n°1, pp. 9-16.
29. **Borrego-Marín, M.M., & Riesgo, L., 2016.** Measuring the Sustainability of Water Plans in Inter-Regional Spanish River Basins. *Water* 8, 342.
30. **Boudjadja, A., Messahel, M., & Pauc, H. 2003.** les ressources hydriques en Algérie du Nord. *Revue des Sciences de l'Eau*.

31. **Boukhari, S., Djebbar, Y., & Abida, H. 2008.** Prix des services de l'eau en Algérie, un outil de gestion durable. In : 4^{ème} conférence internationale sur les ressources en eau dans le bassin Méditerranéen, Alger, 22-23 Mars 2008.
32. **Boukhari, S., & Djebbar, Y. 2013.** The cost and price of water service in Algeria. The 7th International Conference on the Efficient Use and Management of Urban Water, held in Paris, from 22th to 24th October, 2013.
33. **Boukhari, S., Djebbar, Y., Amarchi, H., et Sohani, A. 2017.** Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services: the case of Algeria. *Water Science & Technology: Water Supply. in press*
34. **Brans, J.P., 1982.** L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE. In: Nadeau, R., Landry, M. (Eds.), *L'aide à la décision: Nature, instruments et perspectives d'avenir*, Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, pp. 183-214.
35. **Brans, J.P. & Mareschal, B., 1992.** PROMETHEE V MCDM Problems with Additional Segmentation Constraints. *INFOR*, Vol. 30, No. 2, 1992, pp. 85-96
36. **Brans, J.P. & Mareschal, B., 1995.** The PROMCALC and GAIA decision support system for MCDA. *Decision Support Systems* 12, 297-310.
37. **Brans, J.P. & Vincke, Ph., 1989.** A preference ranking organization method: the PROMETHEE method. *Management Science* 31, 647-656.
38. **Brans, J.P., Vincke, Ph., & Mareschal, B., 1986.** How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238.
39. **Brattebø, H., Alegre, H., Cabrera, E., Marques, R., Hein, A., & Cruz, C., 2013.** A Master Framework for UWCS Sustainability. TRUST Project.
40. **Breuil L. 2004.** Renouveler le partenariat public-privé pour les services d'eau dans les pays en développement - Comment conjuguer les dimensions contractuelles, institutionnelles et participatives de la gouvernance?: ENGREF (AgroParisTech), 321 p.
41. **Brodhag, C., Gondran, N., & Delchet, K. 2004.** Du concept à la mise en œuvre du développement durable : théorie et pratique autour de guide SD 21000. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 5(2)
42. **Brouwer, R., Georgiou, S., & Turner, R.K., 2003.** Integrated assessment and sustainable water and wetland management. a review of concepts and methods. *Integrated Assessment*, 4 (3), 172-184.
43. **Brown, R., 2008.** Local institutional development and organizational change for advancing sustainable urban water futures. *Environ. Manag.* 41 (2), 221-233.
44. **Brundtland, G.H., 1987.** Our common future:[Brundtland-Report]/World Commission on Environment and Development. Chairman: Gro Harlem Brundtland (Norway). 1. publ. Oxford Univ. Pr.
45. **Butler, D., Jowitt, P., Ashley, R., Blackwood, D., Davies, J., Oltean-Dumbrava, C., McIlkenny, G., Foxon, T., Gilmour, D., Smith, H., Cavill, S., Leach M., Pearson, P., Gouda, H., Samson, W., Souter S., Hendry, S., Moir, J., & Bouchart, F. 2003.** SWARD: decision support processes for the UK water industry. *Manag Environ Qual Int J* 14: 444-459.

46. **Cambon, S. 1996.** Services d'eau potable: de la logique d'offre à la maîtrise de la demande. Comparaison France Etats-Unis. La place des usagers dans la gestion durable des services d'alimentation en eau placés sous contraintes environnementales: Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris, France (Université de soutenance).
47. **Camdessus Report 2003.** Financing water for all, report of the world Panel on financing water infrastructure. Marseille: World Water Council.
48. **Canneva, G., & Lejars, C. 2008.** Durabilité des services d'eau et d'assainissement: méthode d'évaluation, étude de cas et perspective.
49. **Cay, T., & Uyan, M. 2013.** Evaluation of reallocation criteria in land consolidation studies using the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Land Use Policy* 30, 541–548
50. **Charnes, A., & Cooper, W.W. 1961.** Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, Wiley, New York, 1961.
51. **Cherrared M., Chocat B., & Benzerra A., 2007.** Problématique et faisabilité du développement durable en matière d'assainissement urbain en Algérie. *Novatech 2007*, pp.295 – 302
52. **Cheng, S., Chan, CW., & Huang, GH. 2002.** Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of solid waste management. *J Environ Sci Health A* 37(6):975–990
53. **Cheng, J., & Tao, J. 2010.** Fuzzy comprehensive evaluation of drought vulnerability based on the Analytic Hierarchy Process: an empirical study from Xiaogan city in Hubei Province. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 1, 126–135.
54. **Chiu, Y. H., Silman, A. J., & Macfarlane, G.J. 2012.** Poor sleep and depression are independently associated with a reduced pain threshold. Results of a population based study. *Pain*, 2012, 115: 316–321.
55. **Christen, E., Meyer, W., Shepheard, M., & Fairweather, H. 2006.** Triple bottom line reporting to promote sustainability of irrigation in Australia. *Irrigation Drainage System*, 20, 329–343.
56. **CNES, 2003.** Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport sur «La prise en charge des actions de l'environnement au niveau des collectivités locales». 103 p.
57. **Colomb, B., Carof, M., Aveline, A., & Bergez, JE. 2013.** Stockless organic farming: strengths and weaknesses evidenced by a multicriteria sustainability assessment model. *Agron. Sustain. Dev.* 33:593–608.
58. **Craheix, D. 2015.** Guidelines to design models assessing agricultural sustainability, based upon feedbacks from the DEXi decision support system. *Agronomy for sustainable development.* 35(4). 1431-1447.
59. **Craswell, E., et al., 2007.** Integrated assessment of water resources and global change: a north-south analysis. Dordrecht: Springer.
60. **Croke, B.F.W., et al., 2007.** Integrated assessment of water resources: Australian experiences. In: E. Craswell et al., eds. *Integrated assessment of water resources and global change: a north-outh analysis.* Dordrecht: Springer, 351–373.
61. **da Cruz, N.F., & Marques, R., 2013.** A multi-criteria model to determine the sustainability level of water services. *Water Asset Manag. Int.* 9 (3), 16–20.

62. **Destandeu, F. 2004.** Etat des lieux des travaux en sciences de l'homme et de la société sur les Services Publics Locaux : eau, assainissement, déchets, depuis 1990: UMR GSP
63. **Doyon F. 1994.** L'analyse décisionnelle multicritère en gestion intégrée des ressources forestières: méthodes, cas et comparaisons, thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal.
64. **Drouiche, N., Ghaffour, N., Naceur, M. W., Lounici, H. & Drouiche, M. 2012.** Towards sustainable water management in Algeria. *Desal. Water Treat.* 50 (1–3), 272–284.
65. **Dunning, D.J., Ross, Q.E., & Merkhofer, M.W. 2000.** Multiattribute utility analysis; best technology available; adverse environmental impact; Clean Water Act; Section 316(b). *Environ Sci Policy* 3:7–14
66. **e Costa, C.A.B., & Vansnick, J.C. 1994.** *MACBETH— An interactive path towards the construction of cardinal value functions.* *International transactions in operational Research*, 1(4), 489-500.
67. **e Costa, C.A.B., & Vansnick, J.C. 1999.** The MACBETH approach: Basic ideas, software and an application, in *Advances in Decision Analysis*, Kluwer Academic Publishers,
68. **e Costa C.A.B., & Vansnick, J.C. 2003.** MACBETH, London School of Economics, Dpt of Operational Research, Working paper 03-56,
69. **e Costa, C.A.B., and Soares, J.O. 2004.** A Multicriteria Model for Portfolio Management. *European Journal of Finance* 10(3), 198–211.
70. **Edjossan-Sossou, A.M. 2015.** Méthodologie d'aide à la décision pour une gestion durable des risques d'origine naturelle en contexte incertain. Thèse de doctorat à l'université de lorraine, France.
71. **Edwards, W. 1971.** Social utilities». *Engineering Economist*, Summer Symposium Series 6, 119-129.
72. **Elkington, J., 1998.** *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business.* Gabriola Island: New Society Publishers.
73. **Ennaouri, I. 2010.** Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Canada,
74. **Festa, P., & Grandinetti, L. 2010.** An Approximate e-Constraint Method for the Multi-objective Undirected Capacitated Arc Routing Problem: Experimental Algorithms, Springer Berlin / Heidelberg: p214-225.
75. **Foxon, T., Mcilkenny, D., Gilmour, C., Oltean-Dumbrava, N., Souter, R., Ashley, D., Butler, P., Pearson, P., Jowit, P., & Moir, J., 2002.** Sustainability criteria for decision support in the UK water industry. *J. Environ. Plan. Manag.* 45 (2), 285–301.
76. **Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Bonoli, A., & Tondelli, S. 2011.** Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes A case study in semi-arid region of Brazil. *Journal of Environmental Management.* 92: 665-675.
77. **Georgiou, D., Mohammed, E.S., & Rozakis, S. 2015.** Multi-criteria decision making on the energy supply configuration of autonomous desalination units. *Renew. Energy* 2015, 75, 459–467.

78. **GRI, 2006.** Sustainable Reporting Guidelines. Global Reporting Initiative, Amsterdam.
79. **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.
80. **Guitouni, A., & Martel, J. 1998.** Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *Eur J Oper Res.* 109, 501-21.
81. **Haddadi, L., 2013.** Les contraintes liées la gestion urbaine de l'eau potable et de l'assainissement en Algérie. 3^{ème} Conférence Internationale sur l'Eau. Alger le 18-19 Novembre 2013, Algérie.
82. **Hadji L., 2013.** L'évaluation de la qualité des espaces publics: un outil d'aide à la décision. *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 57, n° 160, p. 25-40.
83. **Haider, H., Sadiq, R. & Tesfamariam, S. 2016.** Intra-utility performance management model (In-UPM) for the sustainability of small to medium sized water utilities: Conceptualization to development. *J. Clean. Prod.* 133, 777-794.
84. **Hajkowicz, S., & Collins, K., 2007.** A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resour. Manag.* 21 (9), 1553–1566.
85. **Hajkowicz, S., & Higgins, A., 2008.** A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resources management. *Oper. Res.* 184, 255-265.
86. **Hamchaoui, S. 2017.** Intégration de l'aléa pluviométrique dans le cadre d'une gestion durable du service de l'eau potable. Thèse de doctorat à l'université de Batna 2, Chahid Mostefa Ben Boulaid, Algérie.
87. **Hamchaoui, S., Boudoukha, A., & Benzerra, A. 2015.** Drinking water supply service management and sustainable development challenges: case study of Bejaia, Algeria. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* | 64.8. 937-946.
88. **Hamouda, M.A., Anderson, W.B., & Huck, P.M. 2012.** Employing multi-criteria decision analysis to select sustainable point-of-use and point-of-entry water treatment systems. *Water Science & Technology: Water Supply*, 12(5), 637 – 647.
89. **Han S., Hwang H., Kim S., Baek G-S., & Park J. 2015.** Sustainable Water Infrastructure Asset Management: A Gap Analysis of Customer and Service Provider Perspectives. *Sustainability* (7), 13334-13350.
90. **Hayashi, K. 2000.** Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives. *European Journal of Operational Research*, 122(2), 486 – 500.
91. **Hellström, D., Jeppsson, U., & Kärrman, E., 2000.** A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environ. Impact Assess.* 20 (3), 311–321.
92. **Huang, I.B., Keisler, J., & Linkov, I., 2011.** Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Sci. Total Environ.* 409 (19), 3578–3594.
93. **Hwang, C.L. & Yoon, K. 1981.** Multiple criteria decision making. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*,
94. **IUCN, 1991.** Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living. Earthscan, London.

95. **Jaber, J.O., & Mohsen, M.S. 2001.** Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan. *Desalination*, 136(1 – 3), 83 – 92.
96. **Jepsson, U., and Hellström, D. 2002.** Systems analysis for environmental assessment of urban water and wastewater systems. *Water Science and Technology* 46(6–7): 121–129.
97. **JORA, 2005.** Journal Officiel de la République Algérienne n° 60, 4 septembre 2005, 3-18
98. **Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Samaras, P., Zouboulis, A.I., & Demetriou, G. 2011.** Developing appropriate performance indicators for urban water distribution systems evaluation at Mediterranean countries. *Water Utility Journal*, vol.1, pp. 31-40.
99. **Keeney, R. L., Raiffa, H. 1976.** Decisions with Multiple Objectives: Performances and Value Trade-Offs. Wiley, New York.
100. **Kertous, M. 2012.** La demande en eau potable est-elle élastique au prix ? Le cas de la wilaya de Bejaia. *Revue d'économie du développement*, vol.20, 97-126.
101. **Kertous, M. 2013.** Analyse des déterminants de la demande d'eau potable en Algérie : une approche par panels dynamiques. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 26, n° 3, pp. 193-207.
102. **Kettab, A. 2001.** Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. *Desalination*, vol.136, pp. 25–33.
103. **Kolhoff, A., Post, R., & Velthuyse, B., 1998.** Towards integration of assessments, with reference to integrated water management projects in third world countries. *Impact assessment and project appraisal*, 16 (1), 49–53.
104. **Kondyli, J. 2010.** Measurement and evaluation of sustainable development. A composite indicator for the islands of North Aegean region, Greece». *Environmental Impact Assessment Review*, vol.30, n°6, 347-356
105. **Kubler, S. 2012.** Premiers travaux relatifs au concept de matière communicante: Processus de dissémination des informations relatives au produit. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France
106. **Lai, E., Lundie, S. & Ashbolt, N. 2008.** Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems. *Urban Water J.* 5 (4), 315–327.
107. **Leberling, H. 1981.** On finding compromise solutions in multicriteria problems using the fuzzy min-operator. *Fuzzy sets and systems*, 6(2), 105-118.
108. **Lee, S., Kim, W., Kim, Y.M., Oh, K.J., 2012.** Using AHP to determine intangible priority factors for technology transfer adoption. *Expert Systems with Applications*, 39, 6388-6395.
109. Lourenço et al 2004
110. **Lundie, S., Peters, G.M., & Beavis, P.C. 2004.** Life Cycle Assessment for sustainable metropolitan water systems planning. *Environmental Science and Technology*, 38: 3465-3473
111. **Lundie, S., Ashbolt, N.J., & Livingston, D. 2008.** Sustainability Framework. Water Services Association of Australia (WSAA), Occasional Paper 17.

112. **Lundin, M., Molander, S., & Morrison, G.M. 1997.** Indicators for Development of Sustainable Water and Wastewater Systems. *Proc., of Sust. Dev. Res. Conf.*, Manchester, UK
113. **Lundin, M., 2003.** Indicators for Measuring the Sustainability of Urban Water Systems: A Life Cycle Approach. (Ph.D. thesis) Chalmers University of Technology.
114. **Lundin, M., & Morrison, G.M., 2002.** A Life Cycle Assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. *Urban Water*, 4: 145-152.
115. **Macharis C., Verbeke, A., & De Brucker, K., 2004.** The strategic evaluation of new technologies through multicriteria analysis: the Advisors case. *Research in Transportation Economics*, 8, 443-462.
116. **Makropoulos, C.K., et al., 2008.** A suitability evaluation tool for siting wastewater treatment facilities in new urban developments. *Urban Water Journal*, 4 (2), 61-78.
117. **Maliki, S B-E. 2010.** Gestion de l'Eau et Pauvreté en Algérie : Cas de la wilaya de Tlemcen. Thèse de doctorat, Université de Versailles Saint-Quentin-En-Yvelines
118. **Malmqvist, P.A., et al., 2006.** Strategic planning of sustainable urban water management. London: IWA Publishing.
119. **Manzardo, A.M., Henkhaus, R.S., & Butler, M.G. 2012.** Global DNA promoter methylation in frontal cortex of alcoholics and controls. *Gene*. 498: 5-12.
120. **Mareschal B., & Brans J.P. 1988,** Geometrical Representations for MCDA (GAIA), *E.J.O.R.*, 34: 69-77.
121. **Marques, R., da Cruz, N.F., & Pires, J. 2015.** Measuring the sustainability of urban water services. *Environ. Sci. Policy* 54, 142-151.
122. **MATE « Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement », 2011.** Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD).
123. **Ménard et Saussier, 2003.** La délégation de service public, un mode organisationnel efficace? Le cas de la distribution d'eau en France. *Economie Publique* 1: pp. 99-129.
124. **Mitchell, V., 2006.** Applying integrated urban water management concepts: a review of Australian experience. *Environ. Manag.* 37 (5), 589-605.
125. **Monsma, D., Nelson, R., & Bolger, R., 2009.** Sustainable Water Systems: Step One – Redefining the Nation's Infrastructure Challenge. A Report of the Aspen Institute's Dialogue on Sustainable Water Infrastructure in the US, Washington, DC.
126. **Motevallian, S.S., Tabesh, M., & Roozbahani, A. 2014.** Sustainability assessment of urban water systems: a case study. *Engineering Sustainability*. Volume 167 Issue ES4, 157- 169
127. **Mouhouche, B. 2012.** Les problèmes du manque d'eau en Algérie : Une réalité qui fait peur. *Djadid El-iktissad Review*, Vol 07, 40-57.
128. **Mousseau V. Slowinski R. Zielniewicz P. 2000.** A user oriented implementation of the ELECTRE TRI method integrating preference elicitation support », *Computers & Operations Research* 27, 757-777

129. **Mozas, M., & Alexis, Ghosn, A. 2013.** État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. IPAMED
130. **MRE, 2006.** Schéma national de l'eau 2005-2040. Séminaire FARM-AEM des 13 et 14 mai 2006
131. **Mukherjee, N. & van Wijk, C., 2003.** Sustainability Planning and Monitoring in Community Water Supply and Sanitation. IRC, Water and Sanitation Program, World Bank.
132. **Murray, A., Ray, I., & Nelson, K., 2009.** An innovative sustainability assessment for urban wastewater infrastructure and its application in Chengdu, China. *J. Environ. Manag.* 90 (11), 3553–3560.
133. **Nichane, M., & Khelil, M.A. 2014.** Changements climatiques et ressources en eau en Algérie : vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. *Revue des Bio Ressources*, Vol 4 (2).
134. **Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L., 2007.** Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498-508.
135. **ONA, 2017.** Tableau de bord exploitation du mois de septembre 2017. Direction de l'exploitation et de la maintenance
136. **Ouma, Y.O., & Tateishi, R. 2014.** Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water* 6, 1515–1545
137. **Paelinck, J.H.P. 1978.** Qualiflex: A flexible multiple-criteria method. *Economics Letters*, 1, 193–197
138. **Paquot, T. 2008.** Discours de clôture de la session française de la 9^{ème} édition du concours Europe Programme Architecture Nouvelle (EUROPAN 9) sur le thème «Urbanité Européenne, ville durable et nouveaux espaces publics »,
139. **Parker, P., Letcher, R., Jakeman, A., Beck, M.B., Harris, G., Argent, R.M., Hare, M., Pahl-Wostl, C., Voinov, A., & Janssen, M. 2002.** Progress in integrated assessment and modelling. *Environmental Modelling Software*, 17 (3), 209–217.
140. **Pearce, D., Atkinson, G., & Mourato, S., 2006.** Cost-benefit analysis and the environment: recent developments. Paris: Organisation for Economic Co-operation and development.
141. **Pezon, C. 2006.** La durabilité des services d'eau potable et d'assainissement: concepts, mesure et expériences ». In : Intercommunalité et durabilité des services d'eau et d'assainissement en Europe. 31-39.
142. **PNAE-DD, 2002.** Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (Algérie).
143. **PNE, 2011.** Plan national de l'eau. Rapport du ministère des ressources en eau.
144. **PNUD, 2009.** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. Rapport du programme des nations unies pour le développement.
145. **Rebitzer, G., Hunkeler, D. & Jolliet, O. 2003.** LCC-the Economic Pillar of Sustainability: Methodology and Application to Wastewater Treatment. *Environmental Progress*, 22(4), 241-249.

146. **Remini, B. 2010.** La problématique de l'eau en Algérie du nord. Larhyss Journal, ISSN 1112- 3680, n° 08, 27-46.
147. **Remini, B. 2017.** Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. Larhyss Journal, ISSN 1112- 3680, n° 31, 51-81.
148. **Romero, C., & Rehman, T. 1987.** Natural resource management and the use of multiple criteria decision making techniques: A review. European Review of Agricultural Economics, 14 (1), 61 – 89.
149. **Rotmans, J., 1998.** Methods for IA: The challenges and opportunities ahead. Environmental Modeling and Assessment, 3 (3), 155–179.
150. **Roy, B. 1978.** ELECTRE III: un algorithme de classements fonde sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. Cahiers du CERO, 20(1), 3 – 24.
151. **Roy, B. 1985.** Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica. 423 p.
152. **Roy, B., & Bertier, P. 1971.** La méthode ELECTRE II. Paris, France: Note de travail 142, SEMA-METRA, Métra International.
153. **Roy, B., & Skalka, J. 1984.** ELECTRE IS: Aspects méthodologiques et guide d'utilisation, Document du LAM-SADE 30, Université Paris-Dauphine.
154. **Ruiz-Villaverde, A., González-Gómez, F., & Picazo-Tadeo, A.J., 2013.** Public choice of urban water service management: a multi-criteria approach. International Journal of Water Resources Development 29, 385-399.
155. **Saaty T.L., 1980.** Analytic hierarchy process, McGraw-Hill, New York.
156. **Saaty, T.L., 2008.** Decision making with the analytic hierarchy process, Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1.
157. **Saaty, T. L., & Vargas, L. 2001.** Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process. International Series in Operations Research and Management Science, Kluwer Academic Publishers.
158. **Sahely, H., Kennedy, C., & Adams, B., 2005.** Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems. Can. J. Civil Eng. 32 (1), 72–85.
159. **Salem, A. 2007.** La tarification de l'eau au centre de la régulation publique en Algérie. In : Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007
160. **Sharma, A., Burn, S., Gardner, T., & Gregory, A. 2010.** Role of decentralised systems in the transition of urban water systems. Water Science and Technology, 10(4), 577-583
161. **Smets, H. 2008.** La prise en charge des dettes d'eau des usagers démunis en France. Académie de l'eau.
162. **SOGREAH, 2002.** Etude nationale sur la tarification de l'eau à usage domestique et industriel Etude réalisée pour le MRE –Direction de l'Alimentation en Eau Potable
163. **Sohani, A., Zabihigivi, M., Moradi, M.H., Sayyaadi, H., & Hasani Balyani, H., 2017.** A comprehensive performance investigation of cellulose evaporative cooling pad systems using predictive approaches. Applied Thermal Engineering 110, 1589-1608.

164. **Souriau, J. 2014.** Stratégies durables pour un service public d'eau à Paris Analyser et gérer les politiques d'hier, d'aujourd'hui et de demain. Thèse de doctorat à l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris, France.
165. **Spangenberg, J.H. 2001.** Sustainable Development: From Catchwords to Benchmarks and Operational Concepts. Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future. M. Charter and U. Tischner. Sheffield, Greenleaf Publishing Limited: 24 -47.
166. **Srinivasa-Raju, K., Duckstein, L., & Arondel, C. 2000.** Multicriterion analysis of sustainable water resources planning: a case study in Spain. *Water Resour. Manag.* 14 (6), 435–456.
167. **Talbi, B., & Souak, F.Z. 2016.** Le management intégré des ressources en eau en Algérie : enjeux et contraintes. *International Journal of Economics & Strategic Management of Business Process (ESMB).* 67-72
168. **Timmerman, E. 1986.** An approach to vendor performance evaluation," *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 1, 27–32,
169. **Thampapillai, D.J. 1991.** Environmental economics. Oxford University Press
170. **Tsaur, R.C., 2011.** Decision risk analysis for an interval TOPSIS method. *Applied Mathematics and Computation* 218, 4295–4304
171. **UICN, PNUE & WWF, 1980.** Stratégie mondiale pour la conservation: La conservation des ressources vivantes au service du développement durable. Gland, Suisse,
172. **UN, 2009.** Rapport sur les Objectifs du Millénaire pour le développement
173. **UNCSD, 2001.** Indicator of Sustainable Development. Guidelines and Methodologies. United Nations Commission for Sustainable Development, New York.
174. **Vaidya, O.S., Kumar, S., 2006.** Analytic hierarchy process: an overview of applications. *J. Oper. Res.* 169, 1-29.
175. **van Leeuwen, K., Frijns, J., van Wezel, A., & van de Ven, F.H.M. 2012.** Cities blueprints: 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. *Water Resour. Manag.* 26, 2177–2197.
176. **van Leeuwen K., & Marques, R.C. 2014.** Current State of Sustainability of Urban Water Cycle Services: Towards a Baseline Assessment of the Sustainability of Urban Water Cycle Services, Baseline Assessment of the Sustainability of Urban Water Cycle Services; Trust: Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow.
177. **Vàzquez, J.F. & Rosato, P., 2006.** Multi-criteria decision making in water resources management. In: C. Giupponi et al., eds. *Sustainable Management of Water Resources: An Integrated Approach*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing: Cheltenham, 98–130.
178. **Vincke P. & Roy B.P. 1989.** L'aide Multicritère à la Décision. Editions Ellipses: Paris.
179. **WCED, 1987.** Our Common Future (Brundtland Report). World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, New York.
180. **Yadav, S.M., Singh, N.P., Shah, K.A., & Gamit. J.H. 2014.** Performance Evaluation of Water Supply Services in Developing Country: A Case Study of Ahmedabad City. *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(7): 1984-1990.

181. **Yu, W. 1992.** Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri: Concepts, Méthodes et Applications. Thèse de doctorat. Paris : Université de Paris-Dauphine.
182. **Yurdakul, M., Tansel, I.Y., 2009.** Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems. J. Mater. Process. Technol. 209 (1), 310-317
183. **Zeggai, H. 2013.** La gestion clientèle au niveau de l'ADE. Salon Pollutec, Oran le 28 Mai 2013.
184. **Zeleny, M. 1982.** Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill. New York
185. **Zeroual, A., Meddi, M, & Touabia B., 2013.** Water distribution network leakage in Bordj-Bou-Arreridj city, Algeria. 5th International Conference on Water Resources and Sustainable Development, February 24 and 25, Algiers.
186. **Zopounidis, C., & Pardalos, PM. 2010.** Handbook of multicriteria analysis. Springer, Berlin, Heidelberg
187. **Zyoud, S.H., Shaheen, H., Samhan, S., Rabi, A., Al-Wadi, F., & Fuchs-Hanusch, D. 2016.** Utilizing analytic hierarchy process (AHP) for decision making in water loss management of intermittent water supply systems. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 6(4), 534 - 546.

Annexes

Annexe A1. Articles MCDM / Water resource

ScienceDirect Journals Books Register Sign in > ?

Application of the multicrite Author name Journal/book title Volume Issue Pages Advanced search

1,636 results Download selected articles sorted by *relevance* | *date*

Refine by:

Years

- 2018 (24)
- 2017 (194)
- 2016 (138)

Use of **multicriteria analysis** (MCA) for sustainable hydropower planning and **management**
Review article
Journal of Environmental **Management**, Volume 196, 1 July 2017, Pages 48-55
Erica Vassoney, Andrea Mammoliti Mochet, Claudio Comoglio
[Get Access](#) [Abstract](#) [Export Citation](#)

1er filtre

Article type

- Review articles (97)
- Original research (1,100)

ScienceDirect Journals Books Register Sign in > ?

Application of the multicrite Author name Journal/book title Volume Issue Pages Advanced search

1,197 results Download selected articles sorted by *relevance* | *date*

Refine by:

Years

- 2018 (14)
- 2017 (140)
- 2016 (108)
- 2015 (115)
- 2014 (94)

Use of **multicriteria analysis** (MCA) for sustainable hydropower planning and **management**
Review article
Journal of Environmental **Management**, Volume 196, 1 July 2017, Pages 48-55
Erica Vassoney, Andrea Mammoliti Mochet, Claudio Comoglio
[Get Access](#) [Abstract](#) [Export Citation](#)

Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into **multicriteria analysis** to make companies sustainable
Original research article

2eme filter

Publication title

ScienceDirect Journals Books Register Sign in > ?

Application of the multicrite Author name Journal/book title Volume Issue Pages Advanced search

285 results Download selected articles sorted by *relevance* | *date*

Refine by:

Years

- 2018 (10)
- 2017 (52)

Use of **multicriteria analysis** (MCA) for sustainable hydropower planning and **management**
Review article
Journal of Environmental **Management**, Volume 196, 1 July 2017, Pages 48-55
Erica Vassoney, Andrea Mammoliti Mochet, Claudio Comoglio
[Get Access](#) [Abstract](#) [Export Citation](#)

Search results: 182 results found for pub-date > 2000 and (Application of the multicriteria analysis method for the assessment of water management) AND LIMIT-TO (topics, "water").

The screenshot shows a Springer Link search results page. At the top, the Springer Link logo is on the left, and navigation links for 'Sign up / Log in', 'English', and 'Academic edition' are on the right. A search bar contains the query 'Application of the multicriteria analysis methc' with a 'New Search' button and a search icon. Below the search bar are links for 'Home' and 'Contact Us'. A yellow box on the left contains the option 'Include Preview Only content' with a checked checkbox. The main search results area shows '64 Result(s) for 'Application of the multicriteria analysis method for the assessment of water management'' with a filter for 'within 2000 - 2017'. A notification box indicates that the search is now limited to the journal 'Water Resources Management' and prompts the user to 'STOP searching within this Journal'. Below this, there are sorting options: 'Sort By' (Relevance), 'Date Published', and a pagination control showing 'Page 1 of 4'. A filter for 'Show documents published between 2000 and 2017' is also visible. On the left side, under 'Refine Your Search', there are three categories: 'Content Type' (Article: 64), 'Discipline' (Earth Sciences: 48, Geosciences: 16), and 'Subdiscipline' (Civil Engineering: 64, Environment_general: 64, Hydrogeology: 64). A yellow bar at the bottom of the results area shows a single 'Article' result.

Annexe A2. PNE

Tableau des flux d'investissement

AEP		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tableau des flux d'investissement (millions DZD)		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Déssalement	SDEM	8 603	30 321			115 366	8 645					
Barrage	BG						31 450	7 107	8 500	8 500		27 779
Gd champ captant	CC	61 823	562	5 428			178					43 101
Champ captant communaux	CCC						3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764
adduction	AD	69 130	570 276	160 049	20 257	51 000	1 015 775	9 209	5 356	77 156	2 603	970 680
Transfert	Tr	19 557					118 679					7 310
Distribution	D	20 500	20 500	20 500	20 500	20 500	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616
Renouv. patrimoine existant	R	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287
TOTAL		240 899	682 945	247 264	102 044	248 154	1 249 393	90 982	88 522	160 322	77 270	1 123 536
		0,04	0,10	0,04	0,02	0,04	0,19	0,01	0,01	0,02	0,01	0,17
Taux d'actualisation	7%											
TOTAL actualisé		240 899	638 267	215 970	83 298	189 315	890 800	60 625	55 127	93 309	42 029	571 149

Tableau des flux d'investissement

AEP		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Tableau des flux d'investissement (2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Durées de v
Déssalement	SDEM											20
Barrage	BG					4 576					38 776	60
Gd champ captant	CC										60 675	40
Champ captant communaux	CCC	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	3 764	40
adduction	AD	8 377	3 093	76	1 224	89 109	190	247			1 373 824	40
Transfert	Tr										7 770	50
Distribution	D	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	9 616	60
Renouv. patrimoine existant	R	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	61 287	46,64
TOTAL		83 044	77 759	74 742	75 890	168 352	74 857	74 913	74 666	74 666	1 555 711	6 645 932
		0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,23	1,00
Taux d'actualisation	7%											
TOTAL actualisé		39 453	34 526	31 015	29 431	61 019	25 357	23 716	22 091	20 646	402 025	

Annexe A3. Google Drive

The screenshot shows a Google Forms interface. At the top, the browser address bar displays the URL: <https://docs.google.com/forms/d/1cFR-Ekkek3J5Qej6In-qznBFQOg-lzYGSUG5KlbXIUI/edit>. The form title is "La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie". Below the title, there is a sub-header "QUESTIONS" and a response count of "345". The main text of the form reads: "Dans le cadre de ma recherche de doctorat sur la gestion durable des services d'eau et d'assainissement en Algérie, j'ai besoin de ces informations (enquête) pour améliorer mon travail. Est ce que vous pouvez transmettre ce questionnaire à vos amis, voisins et proches? Merci et bonne journée". Below the text, there is a field for "Nom de l'Abonné" and a dropdown menu set to "Réponse courte".

Type d'habitat (votre maison) *

- Villa
- Appartement
- Petite maison
- Maison collective
- Autres

Type d'occupation de cette maison *

- Propriétaire
- Locataire

L'eau fournie par les services d'eau potable couvre vos besoins? **

- Oui
- Non

Annexe A4. Liste des Wilayas (Algérie)

Code	Wilaya	Nombre de daïras	Nombre de communes	Superficie km2	Population 1966	Population 1977	Population 2008	Densité (hab./km ²) 2008
1	Adrar	11	28	439 700	106 527	137 491	399 714	0,94
2	Chlef	13	35	4 795	339 161	492 807	1 002 088	209
3	Laghouat	10	24	25 057	102 172	148 418	455 602	18
4	Oum El Bouaghi	12	29	6 783	229 872	305 717	621 612	81
5	Batna	22	61	12 192	373 086	513 500	1 119 791	92
6	Bejaïa	19	52	3 268	428 912	511 600	912 577	279
7	Biskra	12	33	20 986	212 894	329 912	721 356	34
8	Béchar	12	21	162 200	84 550	126 500	270 061	1,7
9	Blida	10	25	1 575	297 289	500 994	1 002 937	591
10	Bouira	12	45	4 439	259 369	374 267	695 583	157
11	Tamanrasset	7	10	556 185	30 024	42 096	176 637	0,32
12	Tébessa	12	28	14 227	231 067	306 814	648 703	46
13	Tlemcen	20	53	9 061	413 947	535 807	949 135	105
14	Tiaret	14	42	20 673	315 829	407 330	846 823	41
15	Tizi Ouzou	21	67	2 956	523 632	701 976	1 127 608	316
16	Alger	13	57	1 190	994 751	1 587 888	2 988 145	2 511
17	Djelfa	12	36	66 415	241 849	332 535	1 092 184	46
18	Jijel	11	28	2 577	238 119	342 535	636 948	247
19	Sétif	20	60	6 504	474 729	686 540	1 489 979	229
20	Saïda	6	16	6 764	115 548	143 786	330 641	49
21	Skikda	13	38	4 026	325 071	466 932	898 680	223
22	Sidi Bel Abbès	15	52	9 096	251 255	321 890	604 744	66
23	Annaba	6	12	1 439	218 638	350 032	609 499	424
24	Guelma	10	34	4 101	220 161	276 998	482 430	118
25	Constantine	6	12	2 187	348 136	478 339	938 475	427
26	Médéa	19	64	8 866	363 794	475 847	819 932	92
27	Mostaganem	10	32	2 175	272 208	360 918	737 118	325
28	M'Sila	15	47	18 718	298 943	416 723	990 591	53
29	Mascara	16	47	5 941	312 601	407 663	784 073	132
30	Ouargla	10	21	211 980	121 391	197 332	558 558	2,6
31	Oran	9	26	2 121	451 258	691 660	1 454 078	688
32	Bayadh	8	22	78 870	71 413	114 794	228 624	3,2
33	Illizi	3	6	285 000	10 757	12 078	52 333	0,18
34	Bordj Bou Arreridj	10	34	4 115	231 063	309 303	628 475	160
35	Boumerdès	9	32	1 356	280 998	439 647	802 083	504
36	El Tarf	7	24	3 339	123 624	193 497	408 414	122
37	Tindouf	1	2	159 000	4 500	7 417	49 149	0,31
38	Tissemsilt	8	22	3 152	132 910	264 240	294 476	93
39	El Oued	12	30	54 573	169 026	259 947	647 548	12
40	Khenchela	8	21	9 811	128 619	189 026	386 683	40
41	Souk-Ahras	10	26	4 541	172 988	225 669	438 127	95
42	Tipaza	10	28	1 605	284 365	450 598	591 010	273
43	Mila	13	32	3 407	303 174	378 655	766 886	220
44	Aïn Defla	14	36	4 891	282 138	391 437	766 013	156
45	Naâma	7	12	29 950	60 717	82 555}	192 891	6,5
46	Aïn Témouchent	8	28	2 379	172 521	219 263	371 239	156
47	Ghardaïa	9	13	86 105	103 730	162 486	363 598	4,2
48	Relizane	13	38	4 870	292 674	368 512	726 180	152
	Algérie	548	1541	2 381 741	12 022 000	16 948 000	34 080 030	14

Annexe A5. Questionnaire Abonné

1. Caractéristiques de l'habitation							
1.1. Type d'habitat							
Villa	Appartement		Maison collective		Autres		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
1.2. Type d'occupation de cette maison							
Propriétaire				Locataire			
<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
1.3. Nombre de famille dans la maison							
1.3.1. Nombre de famille dans la maison							
1	2		3		Plus que 3		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
1.3.2. Nombre de personne dans la maison							
1	2	3	4	5	6	7	Plus 7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Caractéristiques socio-économiques des ménages							
2.1. Salaire mensuel							
Moins de 18000 DA		Entre 18000 et 36000		Entre 36000 et 54000		Plus de 54000 DA	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
2.2. Consommation de l'eau par trimestre							
Moins ou égale 25 m ³		Entre 26 et 55m ³		Entre 56 et 82 m ³		Plus de 82 m ³	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
3. La qualité des services							
3.1. La qualité des services d'eau potable							
Bonne			Moyenne			Médiocre	
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
3.2. L'eau fournit par les services d'eau couvre vos besoin ?							
Oui				Non			
<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
3.3. Buvez-vous directement l'eau du robinet?							
Oui				Non			
<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			

3.4. Si la réponse est négative (non), qu'est-ce que vous faisiez?

Bouillir l'eau	Ajouter du chlore (eau de Javel)	Ramener de l'eau à partir des sources	Acheter de l'eau en bouteille	Autres
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.5. La qualité de l'eau distribuée est?

Mauvais gout	Mauvaise odeur	Bonne qualité	Moyenne qualité	Trouble
<input type="checkbox"/>				

3.6. La qualité des services d'assainissement est?

Bonne	Moyenne	Médiocre
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Prix de l'eau

4.1. Connaissez-vous le prix de l'eau?

Oui	Non
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Le prix de l'eau est?

N'est pas cher	Moyen	Trop cher
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Payez-vous plus, pour quelle raison?

Entretien de réseau	Amélioration de la qualité de l'eau	Augmenter la pression	Distribution quotidienne	Améliorer la qualité des SEPA	Non
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Volonté à payer

5.1. Combien vous pouvez payer votre facture d'eau?DA

5.2. Limitez-vous votre consommation d'eau à quelle raison?

Son prix	Protection de l'environnement
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Merçi

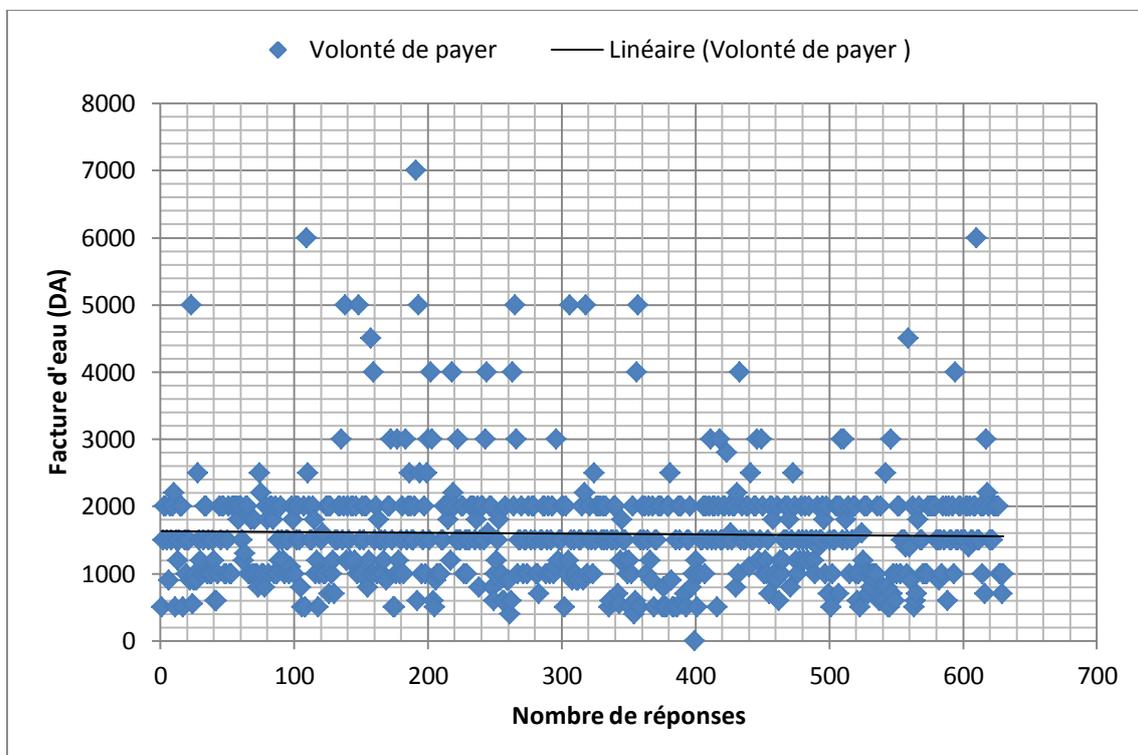
Annexe A6. Résultats Wilayas

Wilayas	Qualité de service d'eau potable (%)			Qualité de service d'assainissement (%)			Buvez-vous l'eau de robinet ? (%)	
	Bonne	Moyenne	Médiocre	Bonne	Moyenne	Médiocre	Oui	Non
1	00	33	67	00	17	83	28	72
2	00	29	71	00	24	76	48	52
3	13	25	62	6	19	75	44	56
4	4	32	64	00	25	75	32	68
5	5	40	55	10	45	45	10	90
6	14	27	59	9	27	64	27	73
7	11	37	52	11	44	45	26	74
8	7	29	64	7	21	72	29	71
9	5	37	58	16	31	53	26	74
10	00	40	60	20	20	60	40	60
11	13	50	38	13	50	38	13	88
12	20	20	60	7	40	53	40	60
13	15	38	46	15	46	38	15	85
14	00	50	50	00	50	50	33	67
15	33	11	56	33	11	56	44	56
16	28	35	35	25	30	43	33	68
17	00	17	83	00	8	92	33	67
18	13	13	75	00	25	75	13	88
19	7	50	43	00	64	36	50	50
20	80	00	20	80	00	20	60	40
21	31	31	38	00	46	54	31	69
22	00	43	57	14	29	57	14	86
23	10	55	35	5	50	45	20	80
24	25	25	50	25	33	42	33	67
25	46	38	15	38	38	23	69	31
26	00	50	50	25	25	50	25	75
27	00	29	71	00	43	57	29	71
28	00	50	50	20	40	40	30	70
29	25	00	75	25	25	50	25	75
30	00	33	67	00	33	67	33	67
31	00	33	67	33	11	56	33	67
32	33	00	67	33	00	67	33	67
33	00	25	75	00	25	75	25	75
34	00	30	70	30	10	60	10	90
35	00	33	67	17	00	83	33	67
36	7	49	44	5	49	47	26	74
37	00	33	67	00	33	67	33	67
38	7	40	53	13	40	47	40	60

39	00	25	75	25	25	50	25	75
40	10	37	53	5	42	53	16	84
41	12	48	40	25	38	37	27	73
42	7	21	72	14	14	72	29	71
43	10	40	50	20	30	50	40	60
44	20	20	60	00	20	80	40	60
45	00	40	60	20	20	60	40	60
46	16	17	67	17	33	50	17	83
47	00	25	75	00	50	50	25	75
48	6	29	65	12	23	65	18	82
Moyenne	11,15	31,50	57,35	14,06	29,63	56,31	30,48	69,52

Volonté de payer plus

A



Figure

Annexes A7. Questionnaire Experts

Dimensions :

Economique																Environnementale	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Economique																Sociale	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Economique																Technique	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Economique																Gouvernance	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Economique

Institutionnelle

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Environnementale

Sociale

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Environnementale

Technique

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Environnementale

Gouvernance

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Environnementale																	Institutionnelle
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Sociale																	Technique
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Sociale																	Gouvernance
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Sociale																	Institutionnelle
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Technique

Gouvernance

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Technique

Institutionnelle

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Gouvernance

Institutionnelle

9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Production Scientifique dans le cadre de la thèse

Publications Internationales

Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services: the case of Algeria

Sofiane Boukhari, Yassine Djebbar, Hocine Amarchi and Ali Sohani

ABSTRACT

The aim of this paper is to develop a methodological tool for comprehensive evaluation of sustainability of water supply and sanitation services (WSSs) considering all quantitative and qualitative effective factors using analytic hierarchy process. The proposed method has a significant advantage that determines which aspects have more priority and which ones are less important; hence, gives a very good guideline for planning and implementation of a country's projects for sustainable development in WSSs. Additionally the application of the proposed method is shown for Algeria as a case study. 6 dimensions, 12 criteria and 50 indicators were defined as 3 different levels of hierarchy for this purpose. Moreover the matrices of pairwise comparisons were obtained by judgments of 12 experts in different involved fields including policy makers, managers and scientists. According to the results the most important dimensions were economic (38.3%) and technical (26.1%) aspects. Furthermore, the financial autonomy (18.7%) and technical performance (18.4%) had the highest and transparency (2%) and organization (2.8%) had the lowest weights among all criteria. In addition, indicators with a high overall weight are: operation and maintenance cost, grand balanced budget, reliability, small budget balance, opportunity cost and state subsidy rates for investments.

Key words | Algeria, decision support using analytic hierarchy process, multi criteria analysis, sustainability, water supply and sanitation services

Sofiane Boukhari (corresponding author)
Hocine Amarchi
 Department of Hydraulics, Faculty of Engineering
 Science,
 University of Annaba,
 Algeria
 E-mail: sb_1002dz@yahoo.fr

Sofiane Boukhari
Yassine Djebbar
 Laboratory 'InfraRes',
 University of Souk-Ahras,
 Algeria

Ali Sohani
 Faculty of Mechanical Engineering-Energy Division,
 K.N. Toosi University of Technology,
 Tehran,
 Iran

Q1

INTRODUCTION

Water supply and sanitation services (WSSs) provide safe drinking water and also proper access to the sewage system for humans. WSSs not only have strong impacts on the people's life and health as well as, the environment but also have an important role in regional planning and participate in promoting social cohesion within a nation. Over the time, these services have been increasingly faced with many challenges such as the increasing number of customers and their expectations, increasing demand for water resources, regulatory requirements for the quality of water and security of public health, environmental and financial issues and so on. Additionally, there have been serious challenges to achieve the objectives of sustainability, because of institutional, financial

and technical aspects at one hand (Haider *et al.* 2016) and their social and environmental impacts on the other hand.

The concept of sustainability is always associated with the concept of sustainable development (SD). According to the literature, there are several definitions for the SD concept, but the most usual ones are:

- The Brundtland Report of the United Nations World Commission on Environment and Development (WCED) defined SD as '*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs and aspirations*' (Brundtland 1987).

- The International Union for Conservation of Nature (IUCN) defines SD as ‘*development that improves the quality of human life by respecting the carrying capacity of supporting ecosystems*’ (The World Conservation and Unep 2013).

The objective of this article is to develop a methodological tool for evaluation and measurement of sustainability considering all affecting quantitative and qualitative indicators for WSSs using the analytic hierarchy process (AHP). In comparison to the previous, presented methods for evaluation of SD in WSSs, proposed approach is very easy to understand and use and also includes more criteria and indicators. Moreover, this study was conducted by the collaboration of different decision makers involving of scientists, policy makers, managers of resources and local units and so forth, and such gives a comprehensive point of view. Additionally, the application of method in Algeria as a case study was investigated.

Since 2001, the water supply service in Algeria was managed by the Algerian Water Company (ADE) and the sanitation service was managed by the National Office for Sanitation (ONA). The managers of these two services faced with several challenges to put the government’s policy for sustainable management into practice because of the mentioned multidimensional nature of SD (Hamchaoui *et al.* 2015). The proposed method has the significant advantage that determines which aspects have more priority and which ones are less important; hence, gives a very good guideline to plan and implementation of a country’s projects for SD in WSSs.

The article is organized as follows. Following this brief introduction, Section 2 presents multi-criteria analysis (MCA) and AHP approaches. Section 3 describes the proposed method while sections 4 and 5 are devoted to the presentation of ‘results and discussion’ and ‘conclusions’ respectively.

LITERATURE REVIEW

According to the scientific literature, there are many methods, approaches and tools that have been developed to assess the sustainability of water resources management.

The most widely applied approaches to water resources management are: cost-benefit analysis (CBA), life cycle assessment (LCA), integrated assessment (AI), triple bottom line (TBL), and MCA. Each of these approaches can be applied in different areas: CBA is a purely economic method that deals with monetary elements; it is a process of evaluating a system by comparing its costs to benefits (Pearce *et al.* 2006). LCA is a specific approach used to assess the environmental impact associated with a service or product throughout its life-cycle; it does not include economic factors and social problems (Ness *et al.* 2007). TBL is a sustainability assessment approach based on a combination of three dimensions: economic viability, environmental sustainability and social equity (Christen *et al.* 2006). AI is an approach applied to integrated river basin management and water resource allocation problems (Croke *et al.* 2007). The MCA is generally used as a decision-support tool, and may consider multiple criteria (Hajkowicz & Collins 2007). It is able to solve decision-making problems in water and sanitation that are generally complex in nature with multiple objectives (Hamouda *et al.* 2009). The MCA considers the various quantitative and qualitative dimensions that are possibly contradictory (Garfi *et al.* 2011), unlike the CBA and LCA methods that take into account a single dimension, and the TBL and IA methods which use only three dimensions.

Many researchers found that the three dimensions of TBL are not enough to assess the sustainability of water resource management. So, they added other dimensions such as: technical, governance, etc., (Hellström *et al.* 2000; Ashley *et al.* 2003; van Leeuwen *et al.* 2012; Marques *et al.* 2015). The dimensions considered are listed in Table 1.

Multi-criteria analysis

MCA which is able to consider various criteria simultaneously has been used in diverse scientific fields for different purposes such as optimization and decision making (Sohani *et al.* 2017). There were some studies such who used MCA in order to evaluate SD in the water sector (Ruiz-Villaverde *et al.* 2013; Han *et al.* 2015; Marques *et al.* 2015; Borrego-Marín & Riesgo 2016). In the field of water resources management, the MCA method has a strong capacity to find well-structured, coherent and

Table 1 | Various dimensions of sustainability considered in the literature

Dimensions	References
Economic, Environmental and Social	da Cruz & Marques (2013)
Economic, Environmental, Social and Technical	Ashley <i>et al.</i> (2003)
Economic, Environmental, Social, Technical, and Cultural	Balkema <i>et al.</i> (2002)
Economic, Environmental, Social, Health and hygiene, Cultural, Functional and Technical	Hellström <i>et al.</i> (2000)
Economic, Environmental, Social and Institutional	DiSano (2002)
Economic, Environmental, Social, Technical and Governance	Marques <i>et al.</i> (2015)

objective solutions to complex decision problems (Lai *et al.* 2008). According to Hajkiewicz & Collins (2007), most widely used methods of MCA in this area are: i) AHP, ii) Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE), iii) Preference Ranking and Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE), iv) Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), v) Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH) and vi) Fuzzy Set Analysis.

In this study, the applied approach is AHP, developed by Saaty (Saaty 1980), and is widely applied in problems involving multiple criteria, often contradictory (Georgiou *et al.* 2015).

Analytic hierarchy process

The AHP method was created to help to solve complex decision problems (Anagnostopoulos & Vavatsikos 2006). It helps to decompose a complex decision making problem with associated different criteria and indicators in a hierarchical system in which complex decisions are reduced to a series of pairwise comparisons between elements of the decision hierarchy (Balyani *et al.* 2015). The criteria considered are theme-based on which one judges on the object of the evaluation. It is a representation derived from one or more indicators. An Indicator is an information that qualifies or quantifies the satisfaction of the criteria.

AHP is one of the methods of MCA. AHP approach is applied in several areas and has been widely used in water management, for example, water resource management, water loss, irrigation, pollution, but research is limited to

addressing the sustainability of WSSs by applying AHP (Hamchaoui *et al.* 2015; Marques *et al.* 2015).

METHODOLOGY

AHP is one of the multi-criteria decision making methods in which the weights of the evaluation elements are determined by pairwise comparisons which are done by expert's judgments. This method is very simple and easy to use. In order to obtain a realistic result, experts from all involved related fields including scientist, managers and policy makers should participate in the process of judgments.

According to the scientific literature, the methodology that integrates the techniques of the MCA method to define and choose the best options will be initiated by defining the overall objective and then by developing the hierarchical structure by identifying a set of elements (dimensions, criteria and indicators). Then, pairwise comparisons will be made between the decision elements, checking and improving the consistency of preferences, drawing the relative weights of the elements for each level and obtaining the overall assessment of the options by aggregating the weighted decision elements (Zyoud *et al.* 2016). The proposed methodology is illustrated in Figure 1. More details will be explained in the following sections.

From Figure 1, the *first phase* involves structuring the decision problem in a hierarchical structure by identifying the elements (dimensions, criteria and indicators) appropriate to our goal, which is the sustainability of WSSs.

In the *second phase*, for all the levels, we will put in place a matrix of comparison in pairs to evaluate the

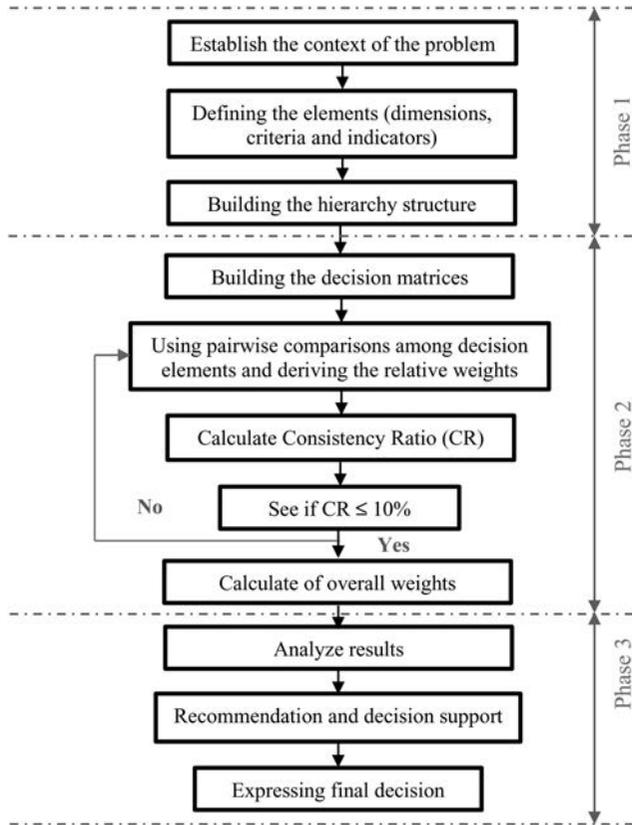


Figure 1 | The process flowchart of the proposed method.

importance of each of them. Then, the global weights are calculated.

Pairwise comparisons were performed for each level of the hierarchy (level 1 = dimensions, level 2 criteria = ‘Ci’ and level 3 = indicators ‘Ii’). For each comparison, the experts determined the relative importance using pairwise comparisons by the values were suggested by Saaty (Saaty 1980) whose meanings are indicated in Table 2. The comparison leads to obtain of the decision matrix (Equation (1)).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

A: is the decision matrix, a_{ij} (individual priority) are comparisons between elements i and j for all $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Table 2 | Saaty numerical scale for pairwise comparisons in AHP

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance of two elements
3	Weak preference (element i over element j)
5	Strong preference (i over j)
7	Very strong preference (i over j)
9	Absolute preference (i over j)
2, 4, 6, 8	Intermediate values between two judgments (i over j)
1/3	Weak preference (j over i)
1/5	Strong preference (j over i)
1/7	Very strong preference (j over i)
1/9	Absolute preference (j over i)
1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Intermediate values between two judgments (j over i)

Source: Saaty (1980).

In the previous step, we constructed a decision matrix for each element. The weight of each of the dimensions, criteria and indicators is calculated by applying the following steps:

- Calculate the sum per column.
- Divide each of the values in the column by the sum of the values.
- The weight is given by calculating the average of each of the rows.

Then, we must check the consistency of the result. At this stage, we have the ‘weight’ of each of the elements. The AHP method then proposes to validate the reliability of the result by calculating the consistency ratio (CR) which will enable us to detect defects in our calculation and evaluation. The CR is calculated by the Equation (2).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

- RI: Random Consistency Index, (RI) can be determined by Table 3 (Saaty 1980)
- CI: Consistency Index which is calculated by the Equation (3).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Table 3 | Random index (RI)

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

Source: adapted from Saaty (2008).

- n: the number of rows or columns of the square matrix of judgment and RI.
- λ_{max} : the principal eigenvalue.

If $CR \leq 0.1$, the matrix is considered sufficiently coherent otherwise, the assessments may require some revision to reduce inconsistencies (Saaty 1980). In the case of comparison matrices for Algeria, at first, some CR values were greater than 0.1; therefore, experts were asked to revise their judgments in order to achieve consistent results. The CR of each pairwise comparison matrix is indicated at the footnote of it. As it can be seen, the values of CR to all elements of them are less than 0.1. Once the weights of the elements per level are calculated, the final weight is computed by simply multiplying the weights of the lowest level (the indicators) by the weights of the higher levels (the corresponding criteria and dimensions).

Finally, *phase 3* aims to evaluate and analyze the results. All that remains is to evaluate our different results by choosing the best indicators for the evaluation of the sustainability of the WSSs, where the results with the greatest final weights are identified.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The selection of dimensions, criteria and indicators

The dimensions, criteria and indicators for assessing the sustainability of WSSs in Algeria are presented in Table 4. A questionnaire was given to each expert and they determined the dimensions, criteria and indicators on the basis of their knowledge, experience and background in the management of WSSs.

The pairwise comparisons

For a pairwise comparison of each dimension, criterion and indicator, a panel of 12 experts in the field of water management in Algeria was consulted. These experts were chosen

on the basis of their experience and scientific contribution. In addition, the 12 experts were selected to cover different profiles:

- 4 Decision-makers: (1 senior official of the Ministry of Water Resources +1 Director of Water Resources +2 Heads of the Water Resources Department),
- 4 Managers of WSSs: (1 Director ADE +1 Director ONA +2 Heads of services),
- 4 Scientists: (2 professors +2 teacher researchers).

Each expert makes his judgment using the Saaty scale (Table 2) and delivers his own matrix of comparison in pairs. The decision matrices for dimensions, criteria and indicators are then calculated by calculating the average of each individual priority (a_{ij}) for the three decision matrices (Tables 5–7).

- After calculating the sum of the columns.
- Then, each of the values in the column is divided by the sum of the values.

Q2

0.436	0.361	0.369	0.492	0.318	0.326
0.087	0.072	0.023	0.082	0.136	0.130
0.109	0.289	0.092	0.049	0.136	0.261
0.218	0.217	0.462	0.246	0.227	0.196
0.062	0.024	0.031	0.049	0.045	0.022
0.087	0.036	0.023	0.082	0.136	0.065

- The weight is given by calculating the average of each of the rows.

Dimensions	Weight
Economic	0.383
Environmental	0.089
Social	0.156
Technical	0.261
Governance	0.039
Institutional	0.072

Table 4 | Dimensions, criteria and indicators which were considered for Algeria

Dimensions	Criteria	Indicators
Economic (D1)	Total cost recovery (C 1.1)	Cost of operation and maintenance (O&M) (i 1.1.1) Cost of capital (i 1.1.2) Opportunity cost (i 1.1.3) Transaction costs (i 1.1.4) Environmental cost (i 1.1.5)
	Financial autonomy (C 1.2)	Grand balanced budget (i 1.2.1) Small budget balance (i 1.2.2) State subsidy rates for investments (i 1.2.3) Subsidy rate for the operating account (i 1.2.4)
Environmental (D2)	Environmental impact (C 2.1)	Protection against pollution (i 2.1.1) Pollution control (i 2.1.2) Minimize overexploitation of groundwater (i 2.1.3) Protection of water bodies (i 2.1.4)
	Use of resources (C 2.2)	Efficient use of water (i 2.2.1) Fight against waste (i 2.2.2) Energy consumption (i 2.2.3) Use of materials (i 2.2.4)
Social (D3)	Accessibility to services (C 3.1)	Rate of access to drinking water services (i 3.1.1) Rate of access to sanitation services (i 3.1.2) Service quality of WSS (i 3.1.3) Distributed water quality (i 3.1.4) Claim rates (i 3.1.5)
	Affordability (C 3.2)	Affordable tariff of drinking water (i 3.2.1) Affordable tariff of sanitation (i 3.2.2) Social pricing (i 3.2.3) Willingness to pay (i 3.2.4)
Technical (D4)	Technical performance (C 4.1)	Detection and repair of leaks (i 4.1.1) Reliability (i 4.1.2) Failures (i 4.1.3) Network yields (i 4.1.4)
	Modernization (C 4.2)	Use of new technologies (i 4.2.1) Employee Training (i 4.2.2) Remote monitoring and remote management (i 4.2.3) Rehabilitation of WSS Systems (i 4.2.4)
Governance (D5)	Transparency (C 5.1)	Information to users (i 5.1.1) Public participation and consultation (i 5.1.2) Existence of information and documentation (i 5.1.3) Access to information and data (i 5.1.4)
	Policy and Planning WSS services (C 5.2)	Stability of the WSS services policy (i 5.2.1) Strategy and alignment with urban planning (i 5.2.2) The business planning (i 5.2.3) Water resources planning (i 5.2.4)
Institutional (D6)	Regulations (C 6.1)	Update of the water code (i 6.1.1) Updating the National Water Plan (PNE) (i 6.1.2) Reform of tariff policy (i 6.1.3) Application of international standards for the quality of drinking water and purified water (i 6.1.4)
	Organization (C 6.2)	Application of a new organization for water services (ADE) (i 6.2.1) Application of a new organization for sanitation services (ONA) (i 6.2.2) The union of the two institutions ADE and ONA in one public company (i 6.2.3) The use of delegated management in major cities (i 6.2.4)

Table 5 | The matrix of pairwise comparison of six dimensions

Q6

	Economic	Environmental	Social	Technical	Governance	Institutional
Economic	1	5	4	2	7	5
Environmental	1/5	1	1/4	1/3	3	2
Social	1/4	4	1	1/5	3	4
Technical	1/2	3	5	1	5	3
Governance	1/7	1/3	1/3	1/5	1	1/3
Institutional	1/5	1/2	1/4	1/3	3	1
Sum	2.29	13.83	10.83	4.07	22.00	15.33

Q3 Calculate λ_{max}

1.00	5.00	4.00	2.00	7.00	5.00	0.383	2,604
0.20	1.00	0.25	0.33	3.00	2.00	0.089	0.551
0.25	4.00	1.00	0.20	3.00	4.00	0.156	1,062
0.50	3.00	5.00	1.00	5.00	3.00	X 0.261 =	1,909
0.14	0.33	0.33	0.20	1.00	0.33	0.039	0.251
0.20	0.50	0.25	0.33	3.00	1.00	0.072	0.435
							6,611
2,604		0.384					6,784
0.551		0.089					6,227
1,062	/	0.156	=				6,801
1,909		0.261					7,317
0.251		0.039					6,458
0.435		0.072					6,077

$\lambda_{max} = 6.611$

With: $n = 6$ and λ_{max} and CI are equal to 6.611 and 0.122108 respectively. And $RI = 1.25$

$CR = (0.122108/1.25) = 0.0977 < 0.1$

It is evident that since $CR = 0.0977$ is less than 0.1 the degree of consistency of comparison is acceptable.

Following the steps in the methodology presented in Figure 1, the experts have attributed a great importance to the two dimensions: economic and technical, whose weights are 38.3% and 26.1%. The other results are shown in Figure 2.

The financial autonomy and technical performance with the weights of 18.7% and 18.4% are the most important criteria of economic and technical dimensions respectively. In the social dimension, the highest weight was given to the criteria of affordability (9.2%). The criterion of the use of resources had the highest weight to the environmental

Table 6 | The matrix of pairwise comparison of twelve criteria

	C 1.1	C 1.2	C 2.1	C 2.2	C 3.1	C 3.2	C 4.1	C 4.2	C 5.1	C 5.2	C 6.1	C 6.2
C 1.1	1	1	5	5	4	2	1	5	7	5	3	7
C 1.2	1	1	5	5	4	3	1	4	7	7	5	5
C 2.1	1/5	1/5	1	1	1/3	1/4	1/3	1	3	2	1	3
C 2.2	1/5	1/5	1	1	1	1/3	1/5	3	3	1/7	3	3
C 3.1	1/4	1/4	3	1	1	3	1/3	2	5	3	4	3
C 3.2	1/2	1/3	4	3	1/3	1	1/5	4	5	2	3	5
C 4.1	1	1	3	5	3	5	1	3	9	5	5	7
C 4.2	1/5	1/4	1	1/3	1/2	1/4	1/3	1	3	1	3	1
C 5.1	1/7	1/7	1/3	1/3	1/5	1/5	1/9	1/3	1	1/5	2	1/3
C 5.2	1/5	1/7	1/2	7	1/3	1/2	1/5	1	5	1	1	2
C 6.1	1/3	1/5	1	1/3	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	1
C 6.2	1/7	1/5	1/3	1/2	1/3	1/5	1/7	1	3	1/2	1	1

$\lambda_{max} = 13.61$ and $CR = 0.0952 < 0.1$.

Table 7 | The pairwise comparison of indicators

(a) Pairwise comparison for indicators of criterion C 1.1						(b) Pairwise comparison for indicators of criterion C 1.2				
	i 1.1.1	i 1.1.2	i 1.1.3	i 1.1.4	i 1.1.5		i 1.2.1	i 1.2.2	i 1.2.3	i 1.2.4
i 1.1.1	1	3	5	5	7	i 1.2.1	1	1	2	3
i 1.1.2	1/3	1	3	5	5	i 1.2.2	1	1	1	3
i 1.1.3	1/5	1/3	1	1	3	i 1.2.3	1/2	1	1	3
i 1.1.4	1/5	1/5	1	1	3	i 1.2.4	1/3	1/3	1/3	1
i 1.1.5	1/7	1/5	1/3	1/3	1	$\lambda_{\max} = 4.061$ and $CR = 0.0136 < 0.1$				
$\lambda_{\max} = 5.211$ and $CR = 0.0380 < 0.1$										
(c) Pairwise comparison for indicators of criterion C 2.1						(d) Pairwise comparison for indicators of criterion C 2.2				
	i 2.1.1	i 2.1.2	i 2.1.3	i 2.1.4			i 2.2.1	i 2.2.2	i 2.2.3	i 2.2.4
i 2.1.1	1	3	2	3	i 2.2.1	1	3	5	7	
i 2.1.2	1/3	1	1/4	1/3	i 2.2.2	1/3	1	3	5	
i 2.1.3	1/2	4	1	3	i 2.2.3	1/5	1/3	1	3	
i 2.1.4	1/3	3	1/3	1	i 2.2.4	1/7	1/5	1/3	1	
$\lambda_{\max} = 4.214$ and $CR = 0.0481 < 0.1$					$\lambda_{\max} = 4.118$ and $CR = 0.0266 < 0.1$					
(e) Pairwise comparison for indicators of criterion C 3.1						(f) Pairwise comparison for indicators of criterion C 3.2				
	i 3.1.1	i 3.1.2	i 3.1.3	i 3.1.4	i 3.1.5		i 3.2.1	i 3.2.2	i 3.2.3	i 3.2.4
i 3.1.1	1	1	3	3	5	i 3.2.1	1	3	1	4
i 3.1.2	1	1	4	2	6	i 3.2.2	1/3	1	3	3
i 3.1.3	1/3	1/4	1	3	2	i 3.2.3	1	1/3	1	2
i 3.1.4	1/3	1/2	1/3	1	3	i 3.2.4	1/4	1/3	1/2	1
i 3.1.5	1/5	1/6	1/2	1/3	1	$\lambda_{\max} = 4.436$ and $CR = 0.0980 < 0.1$				
$\lambda_{\max} = 5.324$ and $CR = 0.0583 < 0.1$										
(g) Pairwise comparison for indicators of criterion C 4.1						(h) Pairwise comparison for indicators of criterion C 4.2				
	i 4.1.1	i 4.1.2	i 4.1.3	i 4.1.4			i 4.2.1	i 4.2.2	i 4.2.3	i 4.2.4
i 4.1.1	1	1/3	1	3	i 4.2.1	1	3	1	2	
i 4.1.2	3	1	3	5	i 4.2.2	1/3	1	1	3	
i 4.1.3	1	1/3	1	1	i 4.2.3	1	1	1	2	
i 4.1.4	1/3	1/5	1	1	i 4.2.4	1/2	1/3	1/2	1	
$\lambda_{\max} = 4.240$ and $CR = 0.0538 < 0.1$					$\lambda_{\max} = 4.236$ and $CR = 0.0529 < 0.1$					
(i) Pairwise comparison for indicators of criterion C 5.1						(j) Pairwise comparison for indicators of criterion C 5.2				
	i 5.1.1	i 5.1.2	i 5.1.3	i 5.1.4			i 5.2.1	i 5.2.2	i 5.2.3	i 5.2.4
i 5.1.1	1	5	3	3	i 5.2.1	1	1	1	2	
i 5.1.2	1/5	1	3	2	i 5.2.2	1	1	1/5	1/3	
i 5.1.3	1/3	1/3	1	1	i 5.2.3	1	5	1	1	
i 5.1.4	1/3	1/2	1	1	i 5.2.4	1/2	3	1	1	
$\lambda_{\max} = 4.278$ and $CR = 0.0625 < 0.1$					$\lambda_{\max} = 4.441$ and $CR = 0.0991 < 0.1$					
(k) Pairwise comparison for indicators of criterion C 6.1						(l) Pairwise comparison for indicators of criterion C 6.2				
	i 6.1.1	i 6.1.2	i 6.1.3	i 6.1.4			i 6.2.1	i 6.2.2	i 6.2.3	i 6.2.4
i 6.1.1	1	2	1	1	i 6.2.1	1	1	1/3	2	
i 6.1.2	1/2	1	1	3	i 6.2.2	1	1	1/3	2	
i 6.1.3	1	1	1	3	i 6.2.3	3	3	1	1	
i 6.1.4	1	1/3	1/3	1	i 6.2.4	1/2	1/2	1	1	
$\lambda_{\max} = 4.323$ and $CR = 0.0726 < 0.1$					$\lambda_{\max} = 4.425$ and $CR = 0.0956 < 0.1$					

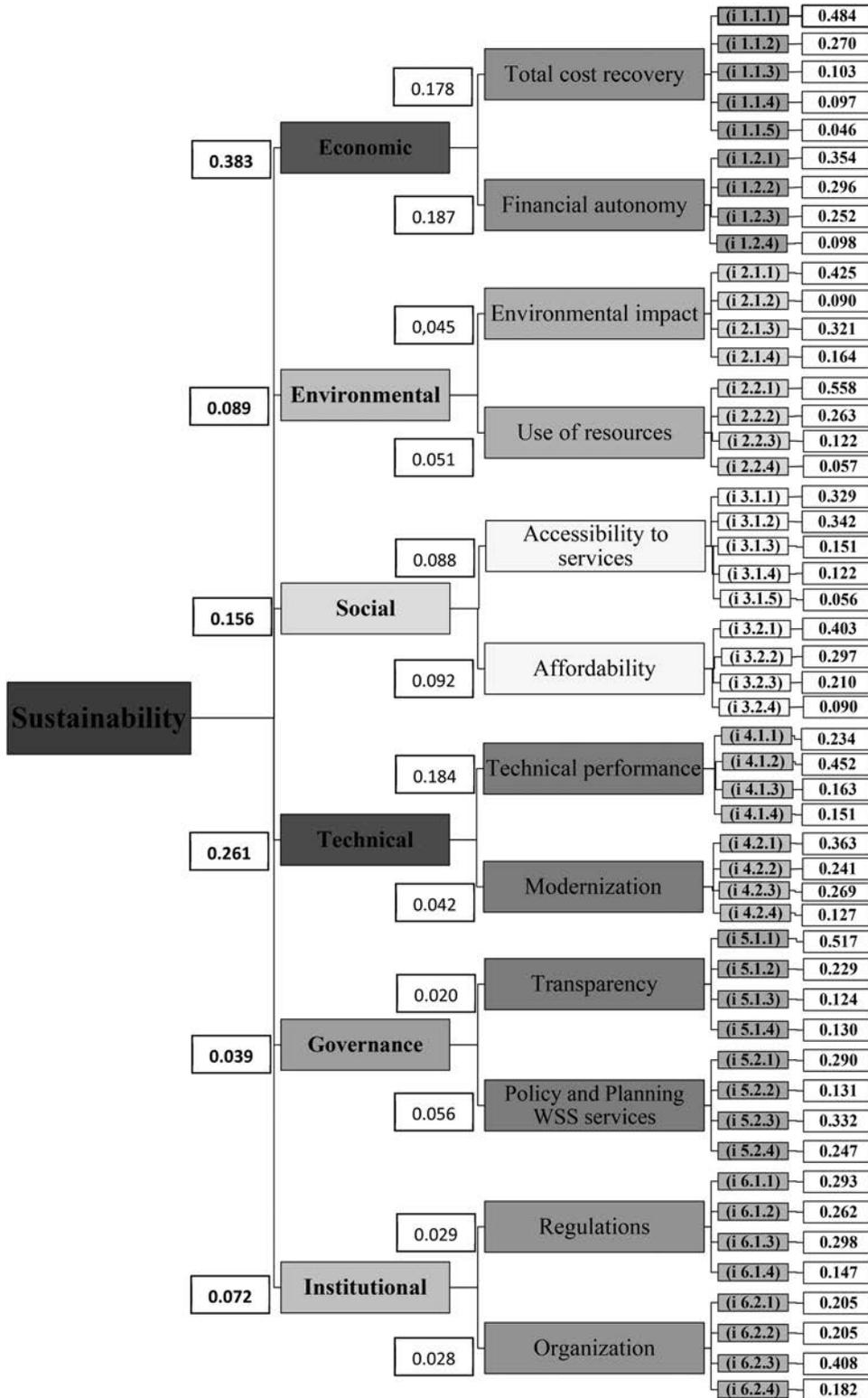


Figure 2 | The obtained results of implementation of the proposed model for Algeria.

dimension (5.1%). The transparency and organization criteria which belong to the governance and institutional dimensions respectively with the weights of 2% and 2.8% have the lowest weight and importance.

The results show that the scientists, policy makers and managers who answered the interview, consider that the three criteria: financial autonomy, recovery of full costs and technical performance as the most important aspects of WSSs sustainability in Algeria. It can be interpreted by saying that respondents recognized that WSSs in Algeria have financial difficulties and also manage poorly in a way that its maintenance is done with large water loss rates in the network.

According to the results, the most important indicators in the eyes of the experts are the indicators ‘i.1.1.1 and i.1.2.1’ (cost operation and maintenance and grand balanced budget) and then the indicators ‘i.4.1.2, i.1.2 .2, i.1.1.3 and i.1.2.3’ (reliability, small budget balance, opportunity cost and state subsidy rates for investments). So based on the opinions of 12 experts, the indicators associated with criteria (C 1.1 (Total cost recovery), C 1.2 (Financial autonomy) and C 4.1 (Technical performance)) are the most important criteria to get WSSS services in Algeria towards sustainability. The indicators of the four criteria ‘C 5.1 (Transparency), C 5.2 (Policy and Planning WSSs), C 6.1 (Regulations) and C 6.2 (Organization) have the weakest

impact, which emphasize that according to experts’ judgment the two dimensions (Governance and institutional) do not have a big role in the sustainable management of the WSSs in Algeria. This can be explained by these three facts that: i) decision makers and managers do not take consultation of the public in decision making and users do not have access to information and WSSs data, ii) there is no long-term planning in services and use of water resources, and iii) although there are a lot of rules which are related to WSSs, they are not followed well. The obtained results of implementation of the proposed model for Algeria are depicted in Figure 2.

The Overall weights of all 50 indicators which were obtained by AHP are depicted in Figure 3.

The two main problems faced by WSSs managers are budget deficits and poor technical performance. This is why most experts felt that the challenges must be met by finding solutions: (i) to improve the economic and financial situation of the ADE and the ONA; and (ii) Increase the technical performance of the drinking water supply or sanitation system. And among the solutions proposed by the 12 experts (pairwise comparison for indicators): (i) balancing the small and large budget balances of the water companies by state subsidies or by cross-subsidies between the tranches and the Water pricing, or by applying the principle of sustainable cost recovery with a current pricing reform, (ii)

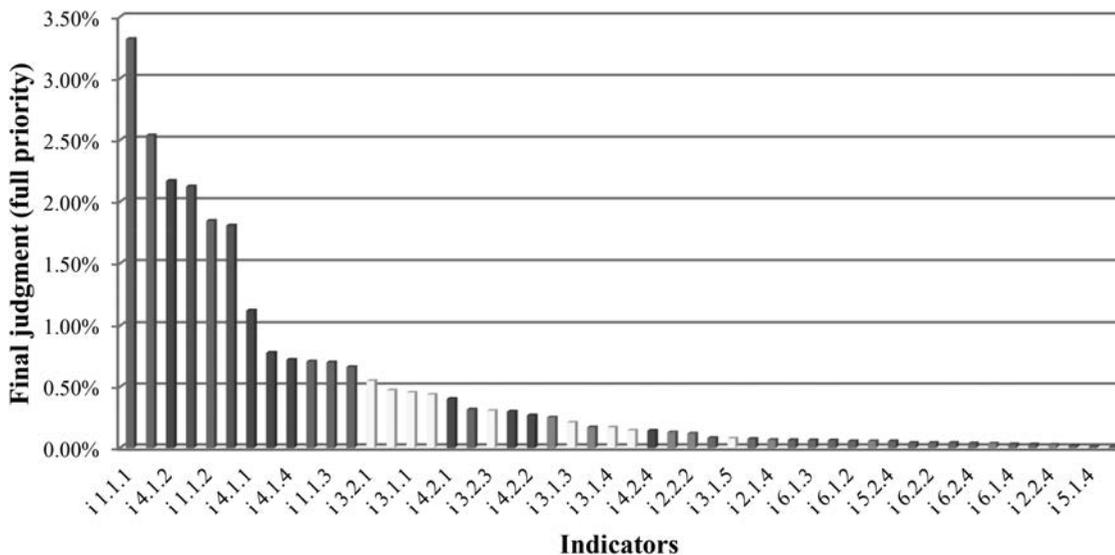


Figure 3 | The weights of all 50 indicators which were obtained by AHP.

improving the performance of existing grids by repairing leaks, decreasing water wastage, Illicit branches, and the rehabilitation of networks...).

As it was seen, this method in which sustainability of WSSs can be measured and evaluated comprehensively helps to know that which dimensions, criteria and indicators are the most important ones and have a significant role in improvement of the quality of the services, so it provides a very clear and comprehensive perspective for the managers and policy makers who are going to plan for SD in WSSs in the country.

CONCLUSION

An easy to use methodological tool for evaluation and measurement of the sustainability of WSSS using AHP was presented. The application of the proposed method was shown for Algeria as a case study considering a comprehensive three-level hierarchy which included six dimensions, 12 criteria and 50 indicators respectively. The process was done using judgments of 12 experts from different related fields including policy makers, managers of WSSs and scientist. The results showed that the economic (38.3%) and technical (26.1%) dimensions had more priority than others (environmental, social, governance and institutional). Moreover the financial autonomy (18.7%) and technical performance (18.4%) were the most important criteria while transparency (2%) and organization (2.8%) had the least importance. In addition from the point of view of the experts, significant indicators were cost of operation and maintenance as well as grand balance budget. By means of this method the amount of priority of each effective factor can be easily and precisely determined, so it helps policy makers and managers to plan for the current and future WSSs development projects better.

REFERENCES

- Anagnostopoulos, K. P. & Vavatsikos, A. P. 2006 *An AHP model for construction contractor prequalification*. *Operational Research* **6**, 333–346.
- Ashley, R., Blackwood, D., Butler, D., Davies, J., Jowitt, P. & Smith, H. 2003 *Sustainable decision making for the UK water industry*. *Engineering Sustainability* **156**, 41–49.
- Balkema, A. J., Preisig, H. A., Otterpohl, R. & Lambert, F. J. D. 2002 *Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems*. *Urban Water* **4**, 153–161.
- Balyani, H. H., Sohani, A., Sayyaadi, H. & Karami, R. 2015 *Acquiring the best cooling strategy based on thermal comfort and 3E analyses for small scale residential buildings at diverse climatic conditions*. *International Journal of Refrigeration* **57**, 112–137.
- Borrego-Marín, M. M. & Riesgo, L. 2016 *Measuring the sustainability of water plans in inter-regional spanish river basins*. *Water* **8**, 342.
- Brundtland, G. H. 1987 *Our Common Future: [Brundtland-Report]/ World Commission on Environment and Development*. Chairman: Gro Harlem Brundtland (Norway). 1. publ. Oxford Univ. Pr.
- Christen, E. *et al.* 2006 *Triple bottom line reporting to promote sustainability of irrigation in Australia*. *Irrigation Drainage System* **20**, 329–343.
- Croke, B. F. W. *et al.* 2007 *Integrated assessment of water resources: Australian experiences*. In: *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis* (E. Craswell *et al.* eds). Springer, Dordrecht, pp. 351–373.
- da Cruz, N. F. & Marques, R. C. 2013 *A multi-criteria model to determine the sustainability level of water services*. *Water Asset Management International* **9**, 16–20.
- DiSano, J. 2002 *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Bonoli, A. & Tondelli, S. 2011 *Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil*. *Journal of Environmental Management* **92**, 665–675.
- Georgiou, D., Mohammed, E. S. & Rozakis, S. 2015 *Multi-criteria decision making on the energy supply configuration of autonomous desalination units*. *Renew. Energy* **75**, 459–467.
- Haider, H., Sadiq, R. & Tesfamariam, S. 2016 *Intra-utility performance management model (In-UPM) for the sustainability of small to medium sized water utilities: conceptualization to development*. *Journal of Cleaner Production* **133**, 777–794.
- Hajkovicz, S. & Collins, K. 2007 *A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management*. *Water Resour. Manage.* **21** (9), 1553–1566.
- Hamchaoui, S., Boudoukha, A. & Benzerra, A. 2015 *Drinking water supply service management and sustainable development challenges: case study of Bejaia, Algeria*. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* **64**, 937–946.
- Hamouda, M. A., Anderson, W. B. & Huck, P. M. 2009 *Decision support systems in water and wastewater treatment process*

- selection and design: a review. *Water Science and Technology* **60** (7), 1757–1770.
- Han, S., Hwang, H., Kim, S., Baek, G. S. & Park, J. 2015 Sustainable water infrastructure asset management: a gap analysis of customer and service provider perspectives. *Sustainability* **7**, 13334–13350.
- Hellström, D., Jeppsson, U. & Kärrman, E. 2000 A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environmental Impact Assessment Review* **20**, 311–321.
- Lai, E., Lundie, S. & Ashbolt, N. 2008 Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems. *Urban Water J.* **5** (4), 315–327.
- Marques, R. C., da Cruz, N. F. & Pires, J. 2015 Measuring the sustainability of urban water services. *Environmental Science & Policy* **54**, 142–151.
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S. & Olsson, L. 2007 Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* **60**, 498–508.
- Pearce, D., Atkinson, G. & Mourato, S. 2006 *Cost-benefit Analysis and the Environment: Recent Developments*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Ruiz-Villaverde, A., González-Gómez, F. & Picazo-Tadeo, A. J. 2013 Public choice of urban water service management: a multi-criteria approach. *International Journal of Water Resources Development* **29**, 385–399.
- Saaty, T. L. 1980 *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. McGraw, New York.
- Saaty, T. L. 2008 Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* **1**, 83–98.
- Sohani, A., Zabihigivi, M., Moradi, M. H., Sayyaadi, H. & Hasani Balyani, H. 2017 A comprehensive performance investigation of cellulose evaporative cooling pad systems using predictive approaches. *Applied Thermal Engineering* **110**, 1589–1608.
- The World Conservation, U., Unep 2013 *Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living*. Routledge.
- van Leeuwen, C. J., Frijns, J., van Wezel, A. & van de Ven, F. H. M. 2012 City blueprints: 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. *Water Resources Management* **26**, 2177–2197.
- Zyoud, S. H., Shaheen, H., Samhan, S., Rabi, A., Al-Wadi, F. & Fuchs-Hanusch, D. 2016 Utilizing analytic hierarchy process (AHP) for decision making in water loss management of intermittent water supply systems. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* **6** (4), 534–546.

Q5

First received 2 March 2017; accepted in revised form 12 September 2017. Available online 29 September 2017

Author Queries

Journal: Water Science & Technology: Water Supply

Manuscript: WS-EM17134R2

- Q1** Please provide city name for given affiliations.
- Q2** The decimal comma has been changed to decimal point in inline tables. Please check and confirm
- Q3** Please provide the significance of shaded values in inline tables.
- Q4** As per the journal style all author names should be included in the reference list. So please list all author names for references having *et al.*
- Q5** Please provide the publisher location for The World Conservation, U., Unep (2013).
- Q6** Please provide the significance of shaded values in Tables 5 and 6.



The impact of actual water pricing in Algeria on the environmental dimension of sustainable development

S. Boukhari¹, Y. Djebbar², A. Guedri², A. Guebail³

¹ *Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.* ² *Centre Universitaire de Souk-Ahras,*

² *Laboratoire de Recherche InFraRes, Algérie .*

³ *Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie*

Abstract

The development of water sector in Algeria became more uneven as it has benefitted the drinking water sector than sanitation and urban areas than rural ones. But the questions, whether these effects have benefitted equitably all segments of the population? and is management of water services and sanitation in Algeria sustainable? remain open. Algeria, like other countries that signed the Millennium Declaration, is committed to achieving eight goals before 2015. One of these objectives is to ensure environmental sustainability. Environmental concerns were not really in the menu of policy development undertaken by Algeria since the 60s. But today our country is experiencing a major ecological crisis that threatens environmental sustainability and public health. Therefore, water services and sanitation in Algeria, must meet these challenges. In this article we will discuss only the environmental objective of water development by taking the town of Souk-Ahras as an example.

Keywords: Sustainable development, environment, water services and sanitation, Souk-Ahras, Algeria.

1. Introduction

Universal access to water is one of the main challenges to sustainable development (SD) in the 21st Century. Therefore more effort is required to achieve the millennium development objectives (MDO) in water and sanitation sectors in order to provide sustainable services for all.

The world environmental commission (1987) defined the concept of sustainable development as one which provides to the present without compromising the ability of future generations to provide for themselves.

Algeria adopted a new environmental strategy by investing heavily in its new National

Action Plan for the Environment and Sustainable Development (NAPE-SD, 2002) and adopting the new water laws of 2003 and 2005 (www.joradp.dz).

Despite the huge investments, the results are below the expectations due to institutional constraints and the burden of past policies and programs (Cherrared, 2007), which are heavily entrenched in every day practice of both decision makers and professionals as well.

The development of the water sector was carried out unequally as it focused on drinking water and left sanitation behind and more on urban centers and less on rural areas, although some serious effort is being invested lately to bridge the gap. The main question is whether or not the management of the water sector is sustainable. Indeed, to be sustainable, management must consider the three pillars of sustainability (Figure 1): (i) cost recovery as an economic objective, (ii) polluter-payer as an environmental objective, and affordability of water as a social objective.

This study only considers the environmental objective.

Water management in Algeria faces several challenges including:

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

- Budget deficit of all public structures involved with water management
- Institutional and legal mechanisms are unable to produce expected results
- Continued pollution of the environment directly or indirectly
- Poor or absence of water infrastructure maintenance
-

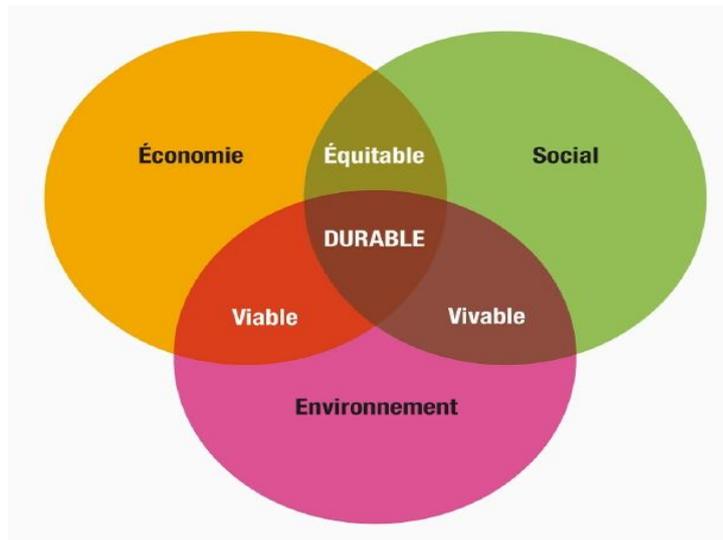


Figure 1: Classic scheme of sustainable development
(<http://www.adequations.org>)

The goal of our study is to shed light on the aspect of environmental sustainability and to propose some solutions by taking the case of the town of Souk-Ahras as an example.

Souk-Ahras is located in the northeast of Algeria near its border with Tunisia. It is a medium size town with a population of 150 000. The water services at Souk-Ahras are unsatisfactory for several reasons including:

- Poor structural condition of water distribution and wastewater collection systems (Figure 2a and b)
- Pricing scheme incapable to cover the cost of operation and maintenance needs



Figure 2a: Water leak on distribution



Figure 2b: Poor state of wastewater collection

2. Analysis of drinking water and wastewater services in Algeria

Water sector is managed by public companies. The Algerian Water (Algerienne des Eaux, ADE) is responsible for drinking water provision, while the National Office of Sanitation (Office National de l'Assainissement, ONA) manages wastewater. The water services are financed by two main means:

- The State grants for new investments and infrastructure development.
- User fees paid directly to ADE, which, in turn, distributes it back to the different public companies involved in the water sector including ONA to cover operation and maintenance costs.

The average water price in Souk-Ahras as applied by ADE is about 0.18 €/m³ (ADE, 2010). In their detailed study, Boukhari et al (2008) estimated the real cost of water related services at 1.25 €/m³. The latter includes investment, operation, and maintenance of all water related infrastructure, i.e., from mobilization of the resource to discharge to the receiving environment of treated wastewater. Therefore, water related services costs are well higher than user paid fees. The costs are calculated using an approximate conversion factor of 100 DA to 1 €.

ADE and ONA manage most cities in Algeria except four large centers, Algiers, Constantine, Oran, and Annaba. These are managed through private sector participation via management contracts. (Table 1) shows the distribution of water management type by population.

Type of management	Number of municipality	%	Population 10 ⁶	%	Number of customer
ADE	502	32.5	18.3	53	2 600 000
Private-public partnership	131	8.5	6.4	19	939 243
Municipal*	908	59	9.7	28	

*planned to be managed by ADE in the near future

The water pricing scheme in Algeria varies with the type (category) of user and the consumption volume as summarized in (Table 2).

Category	Block	Tarif €/m ³
Domestic	up to 8 to more than 8 m ³ /month	from 0.06 to 0.4
Administrations and tertiary services	m ³ /month	0.35
Industry and tourism	m ³ /month	0.41

3. Sustainability of water services

As presented in the introduction, sustainable development is measured through its three dimensions: economic, social, and environmental. The environmental dimension stipulates that cost must be used as a tool to control

consumption, reduce pressure on resources, reduce pollution, and avoid add-on costs due to environmental damages.

To evaluate the sustainability of water services using the case of Souk-Ahras, we used two methods. The first is direct and was done through a survey of a representative population. The second is indirect and was done through economic estimation of costs.

3.1. Water services costs

The average water price at Souk-Ahras for the 2009 fiscal year was 0.063 €/m³ for drinking water related services and 0.025 €/m³ for wastewater related services (Boukhari et al., 2010) with total average price of 0.18€/m³. Boukhari et al (2008) estimated the cost of water services at 1.25€/m³. The average water price in European countries varies between 0.83 and 5.6€/m³ with an average of 3€/m³. For simplicity, we will assume in the following that the cost of water services are in the range of 1.25 to 3€/m³. (Figure 3) presents a comparison between cost distribution for average Europe and Souk-Ahras cases.

Two important conclusions can be deduced from this figure. First, the price of water services in Souk-Ahras is well below the cost.

Souk-Ahras runs its water services at loss.

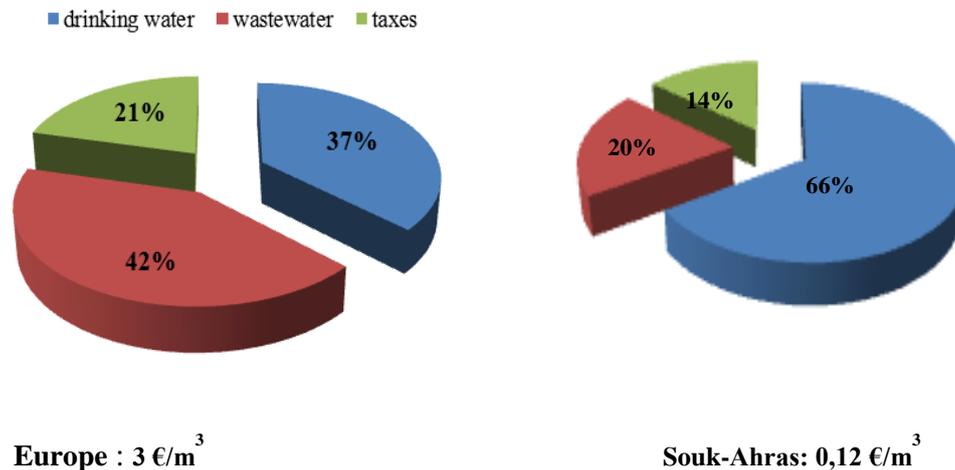


Figure 3: Comparison between water price and water price distribution in Souk-Ahras and Europe (average),

Second, even if we neglect the total cost of services, the distribution of the cost between the different water actors is incomprehensive. It is well known that wastewater, including treatment, related services are costlier than drinking water services. Yet ADE parts are three times the ONA ones.

According to recent studies and projects (for dams: Taksebt, Chéiff, SidiAbdelli, Mexa, and water desalination plants: Hamma, Oran) the cost of producing one cubic meter of water varies from 0.35 to 0.8 €. SOGREA (2000) estimated water distribution cost at 0.20 € and wastewater services at 0.30 €. Using an annual actualization rate of 6%, the actual total water cost would be 1.8€/m³.

As a result, public companies are facing a financial dilemma; they cannot recover the cost. Both ONA and ADE have limited control of their management practices. They are not able to attract or keep well trained professionals. Although ONA and ADE have a lot of similar tools and approaches, cooperation between themselves is almost nonexistent, resulting in a lot of redundancy and higher costs.

3.2 Survey results and analysis

The survey considered a population of 2 300 domestic customer, i.e., 10.1% percent of the customer base. This survey is in addition to the information gathered at head offices of ADE and ONA. The main results of the survey are presented in (Table 3).

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

Designation	Survey result
Quality of services	76% think the service is average
Water price	87% don't know the water price
	69% are ready to pay more for better services
Quality of water	53% think that the water quality is average
	58% drink tap water only
	30% drink bottled water only

The water price is so low that the average consumer doesn't know the price. Indeed the price of a bottled water of 1.5 l is equal to the price of 2 500 l from ADE. Indeed, 30 % of the population drinks mostly bottled water only. Water services in urban centers are much better than in slum and rural areas. In the latter water is not always available, the concerned population buys water from non-authorized private suppliers for prices ranging from 2 to 10€/m³, i.e. more expensive than in Europe.

3.3 Environmental damages

As a result of inaptitude of public water companies to cover their costs several environmentally negative results are observed:

- Inadequate water services produces low water quality with high water born diseases risk. Fight against water born diseases are estimated to cost Algeria about 15 €million per year (MATE, 2000).
- Because water is not available all the time, households store water in costly reservoirs in which water quality is difficult to control. Indeed, water is usually stored for more than one week under direct exposure to sunlight, dust, etc.
- Not only bottled water cost more, it also produces solid waste, which harm the environment and add-on more cost to collect and to dispose-of it.
- Pollution of the receiving environment is becoming a serious problem. Measurements (CATE, 1998) of pollution indicators in several port-cities indicate high pollution in terms of BOD, Phosphorus, Total N, and COD that are well above their regulatory limits.

Conclusion

- Water cost is well above water price and water pricing scheme has several incoherencies. Consequently, public companies, such as ONA and ADE, are not able to meet their obligations.
- The poor, in slum and rural area, are paying much more for their water.
- The public at large is ready to pay more for better services
- The water services are not sustainable, especially on the environmental dimension.

Bibliography

1. Bennacer N. "Le Droit d'Accès à l'Eau Potable en Algérie," Acte de la Table Ronde Organisée à l'UNESCO, Académie de l'Eau, Paris, 25 Mars, (2005), 133 -149.
2. Boukhari S., Djebbar Y., et Abida H. "Prix des services de l'eau en Algérie, un outil de gestion durable," 13th IWRA World Water Congress. 1 – 4 Septembre 2008, Montpellier, France, 412 p.
3. Boukhari S., et Djebbar Y. "La gestion durable des services de l'eau et de l'assainissement, cas de la ville de Souk-Ahras »." 1er Colloque international de l'eau CIEAU 2010, du 25 – 27 Octobre 2010, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
4. CATE, 1998.L'environnement en Algérie. CNES, RADP.

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

5. Cherrared M., Chocat B., et Benzerra A. "Problématique et faisabilité du développement durable en matière d'assainissement urbain en Algérie." NOVATECH (2007); 295 – 302.
6. MATE, 2000. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en Algérie.
7. PNAE-DD "Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable," Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Algérie, 2000.

(2011) <http://www.jmaterenvirosci.com>

Communications internationales



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA



LABORATOIRE BIOCHIMIE BIOPHYSIQUE BIOMATHÉMATIQUES ET SCIENTOMÉTRIE

SÉMINAIRE D'ÉCHANGE INTERNATIONAL
« AUX INTERFACES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE »
SEMAGRO TECH 2011
BEJAIA LE 21 ET 22 JUIN 2011

Attestation de Participation

M^{me}, M^{lle}, M. BOUKHARI Sofiane

A participé avec une communication orale

Titre de la communication : **Les services d'eau potable et d'assainissement face aux exigences du développement durable, cas de la ville de Souk-Ahras**

Co-auteur : DJEBBAR Yassine



Le Président

N. BENHAMICHE



Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences, Oujda
avec l'appui du Conseil de la Région Orientale



La 6^{ème} Edition des Journées
Internationales des Géosciences
de l'Environnement **Oujda 2011**
Les 21, 22 et 23 Juin 2011.

ATTESTATION DE PARTICIPATION

Le comité d'organisation atteste que
Boukhari Sofiane

a participé aux JIGE6.Oujda2011 par une communication orale intitulée :
**L'impact De La Tarification Actuelle De L'eau En Algérie Sur L'aspect
Environnemental Du Développement Durable**

Auteurs : Boukhari Sofiane, Djebbar Yassine Et Guebail Abdelkrim

Pour le comité d'organisation
Le Président



Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès

Troisième Forum de l'Eau
Jerba (Tunisie), du 26 au 28 Mars 2012

Jerba, le 27 mars 2012

ATTESTATION

Le comité d'organisation atteste que :

Mr /Mme/Mlle : **Sofiane BOUKHARI**

De : **Université de Souk-Ahras-Algérie**

a présenté une communication **Orale** intitulée :

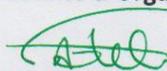
« LA POLITIQUE TARIFAIRE DES SERVICES DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT EN ALGERIE »

Co-auteurs : **Araibia Ahmed Salah ,Djebbar Yassine, Abida Habib**

Au « **Troisième Forum de l'Eau : vers une gestion participative des ressources en eaux** » ayant lieu du 26 au 28 Mars 2012 à Jerba.

Cette attestation est délivrée à la demande de l'intéressé(e) pour valoir servir ce que de droit.

Le président
du Comité d'Organisation


Adel KhARROUBI



AUTHOR CERTIFICATE

The International Water Association' Efficient Urban Water Management Specialist Group certify that the scientific contribution **The price of water and its pricing in Algeria** by

Sofiane BOUKHARI

has participated in the 7th International Conference on the Efficient Use and Management of Urban Water, held in Paris, from 22th to 24th of October, 2013.

Mary Ann Dickinson

Mary Ann Dickinson
Conference Chair

AUTHOR CERTIFICATE

The International Water Association' Efficient Urban Water Management Specialist Group certify that the scientific contribution **FINANCIAL SERVICES AND PRICING OF DRINKING WATER AND SANITATION IN ALGERIA** by

Sofiane BOUKHARI

has participated in the 7th International Conference on the Efficient Use and Management of Urban Water, held in Paris, from 22th to 24th of October, 2013.

Mary Ann Dickinson

Mary Ann Dickinson
Conference Chair

AUTHOR CERTIFICATE

The International Water Association' Efficient Urban Water Management Specialist Group certify that the scientific contribution **Sustainability of water services and sanitation** of the city of **Souk -Ahras** by

Sofiane BOUKHARI

has participated in the 7th International Conference on the Efficient Use and Management of Urban Water, held in Paris, from 22th to 24th of October, 2013.

Mary Ann Dickinson

Mary Ann Dickinson
Conference Chair