

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Badji Mokhtar Annaba University
Université Badji Mokhtar – Annaba
Faculté de Technologie



جامعة باجي مختار – عنابة

كلية التكنولوجيا

Département D'hydraulique

قسم الري

Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat En-Sciences

Spécialité : hydraulique

Par :

Hassoun Nedjar Nizar

Thème :

Aide à la décision pour la réhabilitation des réseaux d'eau potable avec application au cas de la ville de Souk Ahras

Thèse soutenue le date de soutenance devant le jury composé de :

N°	Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
01	Hammar Yahia	Professeur	U Badji Mokhtar	Président
02	Laouacheria Fares	MCA	U Badji Mokhtar	Examineur
03	Mrad Dounia	MCA	U Souk-Ahras	Examineur
04	Kherouf Mazouz	MCA	U Guelma	Examineur
05	Djebbar Yassine	Professeur	U Souk-Ahras	Encadreur
06	Djémili Lakhdhar	Professeur	U Badji Mokhtar	Co-Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Résumé

Résumé

L'objectif principal des compagnies des eaux est de fournir aux citoyens une eau potable de bonne qualité et en quantité suffisante. Mais, avec le temps, les réseaux de distribution d'eau (RDE) vieillissent, dégradent et se détériorent. Cette détérioration entraîne une diminution de la performance des RDE (dégradation de la qualité de l'eau et augmentation des taux de pertes dans les RDE). La réhabilitation des RDE est l'une des solutions les plus adoptées pour relever ces défis. Ce travail vise à développer une méthode d'évaluation pour améliorer la planification de la réhabilitation des RDE en utilisant la méthode Processus de Hiérarchie Analytique (AHP). La méthode AHP a été utilisée pour surclasser les indicateurs qui ont une grande influence sur la détérioration des canalisations et d'établir un programme de réhabilitation basé sur le score du niveau d'urgence. Le modèle proposé a été expérimenté pour le cas de la ville de Souk-Ahras (Algérie). Sur la base des jugements de vingt-quatre experts, les poids relatifs des trois critères physiques, fonctionnement et environnement de la canalisation ont été calculés comme suit 35,40%, 55,60% et 9,00%, respectivement et les deux indicateurs (nombre de défaillance et la pression) ont les plus grands poids globaux. Les résultats de notre travail peuvent être utilisés pour améliorer la prise de décision dans la planification de la réhabilitation des RDE en Algérie.

Mots-clés : Réseau de distribution d'eau ; réhabilitation ; aide à la décision ; MCDM ; AHP.

Abstract

Abstract

Research problem: The main objective of water companies is to provide citizens with good quality drinking water in sufficient quantity. However, over time, water distribution networks (WDNs) age, degrade and deteriorate. This degradation leads to a drop in the performance through the degradation of water quality and an increase in loss rates. WDN rehabilitation is one of the most widely adopted solutions to address these drawbacks.

Purpose: To develop a decision support tool to improve planning for the rehabilitation of water distribution networks (WDN) using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method and the urgency level score.

Methodology: The AHP method was used to outclass the indicators having a strong influence on the deterioration of the pipes and the score of the level of urgency is calculated to establish the rehabilitation program (short, medium and long term). The proposed model was tested for the case of the city of Souk-Ahras in Algeria.

Findings: Based on the judgments of twenty-four experts, the relative weights of the three physical, operational and environmental criteria of the pipeline were calculated and found to be equal to 35.40%, 55.60% and 9.00%, respectively. The two indicators, number of failures and pressure, were found to have the highest overall weights. The results of this article can be used to improve decision-making in WDN rehabilitation planning in Algeria.

Originality: Application of a hybrid method (AHP- Level of Emergency) for the planning of the rehabilitation of WDN in Algeria.

Keywords: Water supply service; rehabilitation; decision support; MCDM; urgency level;

ملخص

ملخص

الهدف الرئيسي لشركات تسيير المياه هو تزويد المواطنين بمياه شرب جيدة النوعية و بكميات كافية. لكن مع مرور الوقت ، تتقادم شبكات التوزيع وتدهور . مما يؤدي إلى تقليص فعالية الشبكة و تردي نوعية المياه وينتج عنها تسربات في القنوات و الشبكة بصفة عامة مما يحتم على المسير التفكير في إعادة التأهيل و هي أحد الحلول المطروحة لرفع هذا التحدي .

الهدف من بحثنا هذا هو تطوير نموذج تقويمي لتحسين عملية التخطيط لأجل إعادة التأهيل عن طريق إستعمال الطريقة المتعددة المعايير . هذه الأخيرة تعتمد على تصنيف المعايير المؤشرات المؤثرة في إهتراء و تدهور الشبكة و وضع برنامج لصيانتها، يعتمد على درجة مستوى الإستعجال.

النموذج المقترح تم إختباره في أحد احياء مدينة سوق أهراس حيث تم إختيار ثلاثة معايير رئيسية بناء على إستشارة أربعة و عشرون خبير وهي على كآلتي :معايير فيزيائية ، معايير العملياتية ، معايير بيئية حيث كانت النتائج على التوالي : 35.40 % ، 56.40 % ، 9 % .

وكانا مؤشري عدد التسربات و الضغط هم الأعلى درجة من بين كل المؤشرات في هذه المنظومة .

النتائج المتحصل عليها نستطيع إستعمالها لتحسين أداءنا في أخذ القرار لتسيير قنوات مياه الشرب في الجزائر بصفة عامة .

الكلمات المفتاحية : شبكة توزيع مياه الشرب ، المساعدة في أخذ القرار ، الطريقة المتعددة المعيير .

Sommaire

Résumé	i
Abstract.....	ii
Résumé (langue Arabe)	iii
Sommaire	iv
Liste des Figues	vi
Liste des Photos	ix
Liste des Tableaux	ix
Tables des Abréviations	x
Introduction Générale	1
Introduction	1
Problématique	2
Objectifs de l'étude.....	3
Plan de la thèse	3
Chapitre 1 : Terminologie et Problématique des fuites	5
1.1. Introduction	5
1.2. Système d'alimentation en eau potable.....	5
1.2. 1. Principaux constituants d'un réseau d'AEP	5
1.2.2. Différents types des réseaux d'AEP	6
1.2.3. Les fonctions d'un réseau d'eau potable	7
1.3. La problématique des fuites (défaillances)	7
1.3.1. Types de fuites :.....	8
1.3.2. Causes des fuites :.....	9
1.4. Généralité sur la maintenance	10
1.4.1. Réhabilitation	10
1.4.2. La maintenance.....	11
1.5. Notion de la décision.....	11
1.5.1. La décision.....	11
1.5.2. Processus décisionnel	11
1.5.3. Aide à la décision multicritère.....	12
1.5.4. Les différents types de critères	13
1.5.5. Classification des problématiques de décision	14
1.6. Conclusion.....	17
Chapitre 2 : Recherche bibliographique	18
2.1. Introduction	18
2.2. Approches décisionnelles.....	18
2.2.1. Approche par optimisation économique	19
2.2.2. Approche par modélisation de vieillissement.....	20
2.2.2.1. Modèles statistiques.....	20
2.2.2.1.1. Statistiques descriptives.....	20
2.2.2.2. Modèles physiques	25
2.2.3. Méthodes MCDM.....	28
2.2.3.1. TOPSIS	28
2.2.3.2. PROMETHEE	29
2.2.3.3. AHP	32
2. 2.2.4. Comparative des différents modèles.....	32

2.3. Conclusion.....	35
Chapitre 3 : Méthodologie de recherche.....	36
3.1. Introduction	36
3.2. Choix de la méthode.....	36
3.3. Présentation de la méthode AHP	37
3.4.Choix et interprétation de la grille des critères.....	21
3.4.1. Critères physique :	22
3.4.2. Fonctionnement :	41
3.4.1. Critères physique :	44
3.4.3. Environnement de la canalisation :.....	47
3.5. Conclusion.....	49
Chapitre 4 : Zone d'étude et collectes des données	50
4.1. Introduction	50
4.2. Présentation de la zone d'étude.....	50
4.2.1. Gestion des services de l'eau potable dans la zone d'étude	51
4.2.2. Unité ADE de Souk-Ahras	52
4.2.2.1. Organisation de l'unité ADE de Souk-Ahras	52
4.2.2.2. L'infrastructure hydraulique gérée par l'unité ADE	52
4.2.2.3. Données relatives de l'Unité ADE Souk-Ahras	53
4.3. Le réseau d'AEP de la ville de Souk-Ahras.....	57
4.3.1. Le réseau de distribution d'eau	57
4.3.2. Nombre des abonnés.....	58
4.3.3. Sectorisation	58
4.4. Taux de fuites dans le Système d'AEP	58
4.4.1. Fuites enregistrées et réparées sur les réseaux d'adduction	61
4.4.2. Fuites enregistrées et réparées sur les réseaux de distribution	62
4.4.3. Fuites enregistrées et réparées sur les branchements.....	63
4.5. Volume d'eau non facturée.....	64
4.6. Secteur 26 Avril	65
4.7. Réservoir 26 Avril.....	67
4.8. La cité 1700 logements	68
4.8.1.Réseau d'Adduction	69
4.8.2.Réseau de distribution	69
4.8.3.Fuites sur le réseau de distribution.....	70
4.9. Conclusion.....	71
Chapitre 5 : Résultats et discussions	72
5.1. Introduction	72
5.2. Application de la méthode AHP	72
5.2.1. Sélection des éléments d'évaluation.....	72
5.2.2. Elaboration de la structure hiérarchique	73
5.2.3. Etablissement de la matrice de décision	74
5.2.3.1. Comparaison par paire des critères.....	74
5.2.3.2. Comparaison par paire des Sous-Critères.....	77
5.2.3.3. Comparaison par paire des indicateurs	78
5.2.3.4. Calcul des poids globaux.....	80
5.3.Calcul du niveau d'urgence	80
5.4. Conclusion.....	86
Conclusion Générale et perspectives	89
Références bibliographiques	91
Annexes	97

Liste des Figures

Figure 1.1: Réseau Maillé.....	6
Figure 1.2: Réseau ramifié	7
Figure 1.3: Les fonctions d'un réseau d'eau potable.....	7
Figure 1.4: Quelques origines des pertes.....	8
Figure 1.5: Différents types de ruptures sur une conduite.....	9
Figure 1.6: Terminologie utilisée dans la réhabilitation.....	10
Figure 1.7 : Préférence entre les alternatives selon le vrai critère	13
Figure 1.8 : Préférence entre les alternatives selon le quasi critère.....	13
Figure 1.9 : Préférence entre les alternatives selon le pré critère.	14
Figure 1.10 : Préférence entre les alternatives selon le pseudo –critère.....	14
Figure 1.11 : Problématique du choix..	15
Figure 1.12 : Problématique du Tri..	16
Figure 1.13: Problématique du rangement	16
Figure 1.14: Problématique de description.....	17
Figure 2.1: Optimum du coût de remplacement d'une conduite	19
Figure 2.2: Exemples de courbes de survie de conduites d'eau potable.....	25
Figure 2.3: Modèle PWD	26
Figure 2.4: Modèle physique de Vancouver.....	27
Figure 2.5: Méthodologie TOPSIS	29
Figure 2.6: Méthodologie PROMETHEE	30
Figure 3.1: Méthodologie de l'application de l'AHP	37
Figure 4.1: PDAU, 2007.....	51
Figure 4.2: Volume produit par la Station de Traitement Ain-Dalia.....	53
Figure 4.3: L'organigramme du centre ADE de Souk-Ahras.....	56
Figure 4.4: Diamètres du réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras	57
Figure 4.5: Evolution du nombre d'abonnés de la ville de Souk-Ahras.....	58
Figure 4.6: La sectorisation du réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras	59
Figure 4.7: Le nombre de fuites enregistrées et réparées - réseau d'adduction.....	61
Figure 4.8: Le nombre de fuites enregistrées et réparées- réseau de distribution	62

Figure 4.9: Le nombre de fuites enregistrées et réparées sur les branchements.....	63
Figure 4.10: Le nombre de fuites réparées entre 2010 – 2020	63
Figure 4.11: Cumule de nombre de fuites réparées entre 2010 – 2020	64
Figure 4.12: La différence entre les volumes pour les années 2010 – 2020.....	64
Figure 4.13: La différence entre les rendements pour les années 2010 – 2020.....	65
Figure 4.14: Localisation du secteur 26 Avril	65
Figure 4.15: Plan de sectorisation du secteur 26 avril	66
Figure 4.16: Localisation de la cité 1700 logements	68
Figure 4.17: Ligne d’adduction Réservoir 26 Avril	69
Figure 5.1: Représentation graphique de la structure hiérarchique proposée.....	74
Figure 5.2: Attribution de poids relatifs au niveau des critères.....	77
Figure 5.3: Poids globaux des indicateurs.	80
Figure 5.4: Types de Matériaux.....	81
Figure 5.5: Différents diamètres des pipes.	81
Figure 5.6: Variation du niveau d’urgence.....	84
Figure 5.7: Histogramme de canalisation à réhabiliter par rapport au temps	85
Figure 5.8: Interprétation graphique d’un programme de réhabilitation	86

Liste des Photos

Photo 4.1: Fuite sur la conduite d'adduction de la nappe de Taoura.....	61
Photo 4.2: Fuite sur la conduite d'adduction.....	61
Photo 4.3: Fuite d'eau sur réseau de distribution	62
Photo 4.4: Réservoir 26 Avril.....	67
Photo 4.5: Fuites sur réseau de distribution d'eau potable dans la cité 1700 logements....	71

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : Modèles d'aide à la décision	19
Tableau 2.2 : Les versions de la méthode PROMETHEE.....	29
Tableau 2.3 : Types de critères et fonctions de préférence	31
Tableau 2.4 : Synthèse des modèles MCDM	33
Tableau 2.5: Synthèse des modèles statistique.....	34
Tableau 2.6 : Synthèse des modèles physiques	34
Tableau 3.1 : Échelle numérique de comparaison binaire de Saaty	39
Tableau 3.2 : Indice de cohérence aléatoire (RI).....	41
Tableau 3.3 Les éléments sélectionnés liés aux critères physique	44
Tableau 3.4 : Les éléments sélectionnés liés au fonctionnement	46
Tableau 3.5 : Les éléments sélectionnés Lié à l'environnement de la canalisation ..	49
Tableau 4.1 : Volumes Produits pour les communes gérées par l'Unité ADE	54
Tableau 4.2 : Nombre d'abonné et Volumes Facturés.....	55
Tableau 4.3 : Secteurs de distribution de la ville de Souk-Ahras.....	60
Tableau 4.4 : Secteurs de distribution 26 Avril	66
Tableau 4.5 Fiche technique réservoirs 26 Avril.....	67
Tableau 4.6 : Réseau d'adduction du Secteur 26 Avril	69
Tableau 4.7 : Longueur par matériaux et par diamètres	70
Tableau 5.1 : Choix des critères et sous-critères d'évaluation	73
Tableau 5.2 : Exemple d'un questionnaire pour les experts.....	75
Tableau 5.3 : Exemple de calcul du niveau d'urgence	82
Tableau 5.4 : Canalisation à réhabiliter par rapport au temps	88

Liste des Abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

AEP : Alimentation en Eau Potable

AHP : Processus Hiérarchique Analytique

AWWA : American Water Works Association

BCEOM : Bureau Central d'Etudes pour les équipements d'Outre-Mer

CI : Indice de Cohérence

CERL : Engineering Research Laboratory

CR : Ratio de Cohérence

ÉLECTRE : Elimination Et Choice Traduction de la réalité

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

G.C.I.P.E.P : Guide de Conception des Installations de Production d'Eau Potable

G.N.I.M.D : Guide National pour des Infrastructures Municipales Durables

IRC : Institut de Recherche en Construction

MCDM : Prise de Décision Multicritères

MIT : Massachusetts Institute of Technology

OIEau : Office International de l'eau

ONA : Office National d'Assainissement

P.W.D : Etude du Philadelphia Water Department

PROMETHEE : Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations

RDE : Réseau de Distribution d'Eau

RI : Indice de Cohérence Aléatoire

SPDE : Syndicat Professionnel des Entreprises de Services d'Eau et d'Assainissement

SEP : Services d'Eau Potable

TOPSIS : Technique for order of preference by similarity to ideal solution

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction

Les gestionnaires des SEP (Services d'Eau Potable) doivent fournir une eau de bonne qualité, en quantité et pression suffisantes à un prix abordable pour tous les habitants. Cette eau est transportée par les Réseaux de Distribution d'Eau (RDE). Au fil du temps, les RDE vieillissent et se dégradent, ce qui entraîne des taux élevés de perte d'eau, une eau de mauvaise qualité et la détérioration du service entraînant une augmentation des plaintes des clients. Les décideurs et gestionnaires des SEP recherchent en permanence des solutions pour améliorer cette situation. L'une des solutions les plus largement adoptées dans le monde est la réhabilitation des RDE (Rahman et al, 2020). A fin de fournir, de manière cohérente, un approvisionnement adéquat aux consommateurs (Prasad, 2021). La réhabilitation consiste à changer toutes les canalisations critiques.

La qualité de la gestion patrimoniale impacte la performance du service sur quatre principes (Berland et al, 2001), i) La qualité de l'eau distribuée ; ii) La continuité du service ; iii) La préservation quantitative des ressources en eau ; vi) La préservation du cadre urbain.

La politique de gestion du patrimoine contribue à atteindre, dans le respect des principes du développement durable c'est-à-dire répondre aux besoins présents, sans compromettre l'avenir des générations futures.

En Algérie, le taux de pertes d'eau potable est d'environ 50% dans de nombreuses villes (Boukhari et al, 2020). Ces pertes d'eau ont un impact négatif sur la viabilité économique et la performance technique des SEP et constituent un indicateur pertinent de l'inefficacité des prestataires des SEP. Ces inefficacités sont exacerbées par le vieillissement des canalisations et des équipements hydrauliques (vannes, ventouses, etc.), la mauvaise gestion des infrastructures et la qualité des réparations de fuites, qui sont parmi les facteurs les plus pertinents de détérioration des réseaux de distribution d'eau potable (Farley et Trow, 2003). Cependant, la planification de la réhabilitation par les décideurs et les gestionnaires des SEP doit prendre en compte des données qualitatives et quantitatives et des informations sur différents éléments en utilisant des critères, sous-critères et indicateurs parfois contradictoires

et contradictoires. Pour atteindre cet objectif, une recherche documentaire (collecte de données) et des entretiens avec les responsables de l'exploitation et de la maintenance des RDE de la société locale des eaux (Algérienne Des Eaux : ADE), sont réalisés pour identifier et sélectionner tous les facteurs pertinents qui ont un impact direct ou indirect sur la dégradation et la détérioration des RDE dans la ville de Souk-Ahras.

Plusieurs chercheurs ont étudié différents aspects de la réhabilitation des RDE, notamment : i) la planification de la réhabilitation, ii) les stratégies visant à améliorer les pratiques de réhabilitation (Hajibabaei et al, 2019), iii) les techniques de réhabilitation etc. vi) les facteurs influençant la réhabilitation des RDE. En raison de la complexité de mise en œuvre de critères multiples pour remédier au problème de la réhabilitation et du manque de données, les chercheurs ont promu l'application des méthodes de prise de décision multicritères (MCDM) comme outil efficace d'aide à la décision. Les MCDM sont largement utilisés car ils ont une forte capacité à produire des solutions durables et bien structurées à différents problèmes de décision complexes (Lai et al, 2008). Ces dernières années, plusieurs chercheurs ont appliqué les MCDM dans la gestion des ressources en eau (Dos Santos Amorim et al. 2020). Le processus de hiérarchie analytique (AHP) est la méthode MCDM la plus appliquée dans les études de prise de décision car elle est la plus simple et la plus flexible par rapport aux autres méthodes MCDM (Dos Santos et al. 2019).

Problématique

Les ressources en eau en Algérie sont limitées et inégalement réparties. Ces ressources ont subi durant les deux dernières décennies les effets négatifs de la sécheresse, de la pollution et de la mauvaise gestion (BCEOM, 2009)..

La nouvelle politique algérienne est de lancer des études de diagnostic et de réhabilitation des tous les chefs de lieu de wilaya et parmi ces cas, on a la ville de Souk-Ahras.

Le réseau de distribution de la ville Souk-Ahras alimenté une population urbaine estimée à 171134 habitants (résultats du recensement de 2022 donné par le service population de la commune de souk ahras).

La quantité produite est estimée à $29845 \text{ m}^3/\text{jour}$ comme ordre de grandeur qui caractérise la situation moyenne pour l'année 2022. La capacité de stockage s'élève à 33700 m^3 représentant un peu plus de 2 jours de consommation, ce qui est très confortable.

Malgré cela le système endure de nombreux problèmes dont le plus important est l'absence de service continu. Cette situation est due à plusieurs facteurs connus. Elles résident dans le taux élevé de fuites dues au mauvais état général du réseau.

La réhabilitation du réseau de distribution est devenue un des enjeux principaux pour l'ADE compte tenu de l'objectif affirmé de rétablir dès que possible un service continu. Cette réhabilitation doit s'inscrire dans une stratégie d'ensemble intégrant toutes les autres composantes techniques (production, adduction, pompage, stockage) ainsi que l'organisation des services (exploitation, gestion des abonnés, etc.).

Les activités concernant l'exploitation du réseau sont très variées et impliquent un grand nombre de données et de variables de différentes sources et qualités en fonction de leurs objectifs tel que diagnostic, interprétation, prédiction, planification de réhabilitation, et de leur exécution que ce soit à court, moyen ou long terme. Toutes ces contraintes s'imposées aux gestionnaires plusieurs enjeux sur les problèmes et sous problèmes suivant :

- Comment représenter l'état et le fonctionnement d'un réseau :
- Comment appréhender le vieillissement d'un réseau afin de prévoir les besoins en réhabilitation à venir.
- Comment concevoir les programmes de réhabilitation.

Objectif de l'étude

Dans cette recherche, un dispositif d'aide à la décision a été développé pour améliorer la planification de la réhabilitation des RDE. Ceci est fait en tenant compte du fait que les RDE ont été influencés par des facteurs internes (longueur, diamètre, profondeur, type de matériaux, âge, emplacement de la conduite, etc.) ainsi que des facteurs externes (type de sol, présence d'eau souterraine, emplacement d'autres réseaux, trafic, etc.). La prise en compte de tous les facteurs internes et externes rend la prise de décision très complexe et nécessite l'implication d'acteurs de différents domaines (décideurs, gestionnaires, ingénieurs et scientifiques) possédant une vaste expérience professionnelle et académique.

L'objectif de cet outil d'aide à la décision est d'identifier les canalisations à réhabiliter à court, moyen et long terme selon leur degré d'urgence. La méthode AHP a été appliquée pour la classification des indicateurs qui ont une grande influence sur la planification de la réhabilitation des RDE potables. L'application de notre modèle dans un cas réel peut améliorer la planification de la réhabilitation des RDE et aura des effets durables sur la performance fonctionnelle et la qualité des services d'eau potable.

Plan de la thèse

Au début, nous avons présenté une introduction dans laquelle nous avons abordé les différents aspects liés à la problématique du réseau d'eau potable, ainsi que la problématique du

vieillessement, pour mettre en valeur l'importance de l'étude.

Le premier chapitre présente le fonctionnement et la constitution de réseau d'eau potable et on a exposé et définis les différents termes et terminologies utilisés dans notre sujet tel que (les fuites ; réhabilitation ; aide à la décisionetc.).

Le deuxième chapitre présente une revue de littérature sur les réseaux d'eau potable, et leur réhabilitation, ainsi qu'une synthèse bibliographique se rapportant aux études qui a été fait dans ce domaine.

Dans le troisième nous avons présenté le modèle qui a été choisi pour notre travail, c'est la méthode développée par Saaty en (1980), en occurrence AHP, basée sur le calcul de niveau d'urgence pour mieux comprendre le système avec interprétation adapté au champ d'étude.

Dans le quatrième chapitre nous présentons un aperçu sur la ville de Souk-Ahras et une vision globale de la zone d'étude ainsi que les différentes mesures et données utilisées dans cette étude. Ces données concernant les critères technique et socio-économique du réseau.

Le cinquième chapitre présente une méthodologie d'application de la méthode d'aide à la décision pour trouver les niveaux d'urgence à chaque conduite et comment réalise un planning de réhabilitation en fonction du temps.

Finalement, nous avons mis une conclusion qui comprenait brièvement les résultats obtenus dans la recherche.

Chapitre 1

Terminologie et Problématique des fuites

Chapitre 1

Terminologie et Problématique des fuites

1.1. Introduction

Dans ce chapitre nous nous sommes introduits des définitions liés à notre travail, ou nous avons défini les différents réseaux d'eau potable et des différentes fuites engendrées par les caractéristiques des réseaux ou de son environnement, ainsi nous avons aperçu une généralité sur la maintenance et les motifs de réhabilitation. Par la suite on a défini les termes liée à la décision et sa classification.

1.2. Système d'alimentation en eau potable

Un système d'alimentation en eau potable, est composé d'un ensemble d'infrastructures et équipements hydrauliques pour transporter l'eau depuis la source jusqu'au consommateur. Un réseau d'eau potable doit être fiable et durable pour pouvoir répondre aux exigences des consommateurs (quantité et qualité) (Brière, 2000).

1.2.1. Principaux constituants d'un réseau d'AEP

Les constituants principaux d'un réseau d'AEP sont :

- **Les canalisations:** Elles ont pour rôle de transporter un certain débit d'eau. Elles peuvent être de différents types tuyaux (fonte ductile, acier, amiante de ciment, acier galvanisé, polyéthylène et PVC) et d'éléments de raccordement (joint, raccord et manchon) (Merzouk, 2005).
- **Les branchements:** Ils constituent le raccordement des usagers au réseau de distribution. Les branchements doivent être tenus à l'abri du gel depuis la prise sur conduite de distribution jusqu'au poste de comptage compris. Ils sont regroupés en fonction de leur diamètre. On distingue (Merzouk, 2005):
 - les branchements de petit diamètre (15 à 40 mm),
 - les branchements de gros diamètre (> 60 mm).
- **Les appareils de fontainerie:** les principaux appareils de fontainerie sont (Merzouk, 2005):
 - les vannes qui permettent d'isoler certains tronçons ;

- les ventouses installées aux points hauts, qui permettent de purger l'air qui peut s'accumuler dans les conduites ;
- les décharges disposées aux points bas, pour permettre la vidange des conduites, les bouches et poteaux d'incendie qui doivent assurer un débit sur une certaine durée
- les bouches de lavage et d'arrosage installées dans les bordures de trottoirs.

1.2.2. Différents types des réseaux d'AEP

Généralement les réseaux de distribution sont de deux types: les réseaux maillés et ramifiés.

- **Réseaux maillés** : Ces réseaux sont constitués de conduites raccordées aux deux extrémités (Figure 1.1). Ils comportent plusieurs mailles et sont conseillés pour les moyennes et grandes collectivités car ils offrent un meilleur service aux usagers. En effet, en cas de réparations, les canalisations maillées peuvent s'assister mutuellement et le nombre d'abonnés non desservis sera réduit au maximum, puisque l'eau peut atteindre un même point par plusieurs chemins (Lalonde, 1991).

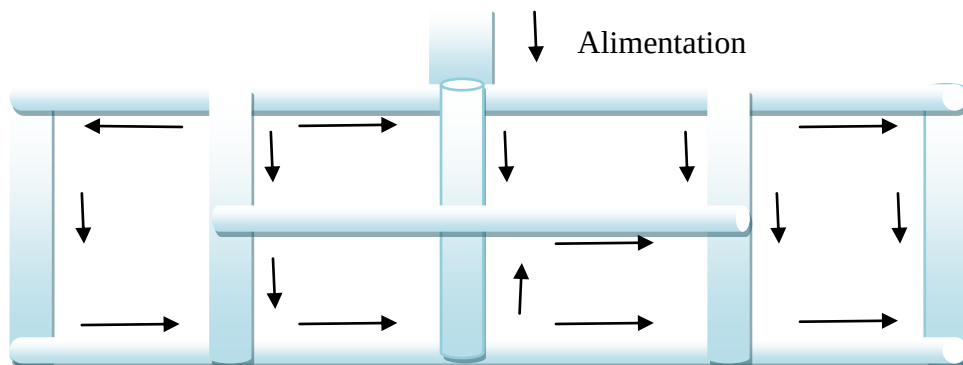


Figure 1 .1 : Réseau maillé (Lalonde, 1991)

- **Réseaux ramifiés** : Les réseaux ramifiés (Figure 1.2) sont composés de conduites sur lesquelles sont branchées des antennes, et aucune d'elles n'est alimentée en retour par une autre. Ces derniers entraînent la rupture du service de tous les abonnés en cas de réparation. Ce type de réseaux est conseillé en zones rurales car la répartition de la population ne nécessite pas la mise en place d'un réseau maillé qui serait plus onéreux.

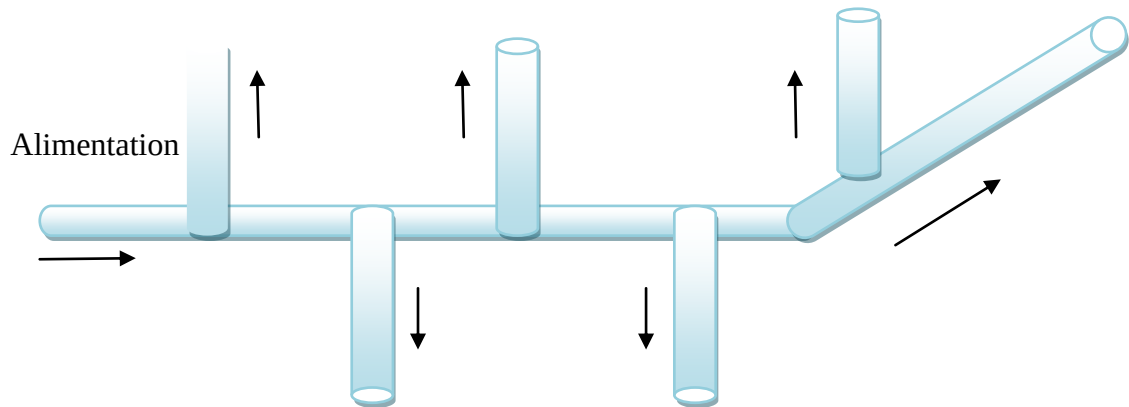


Figure 1.2 : Réseau ramifié (Lalonde, 1991)

1.2.3. Les fonctions d'un réseau d'eau potable

Le réseau d'eau potable doit accomplir successivement trois fonctions : la production, le stockage, et la distribution (Figure 1.3).

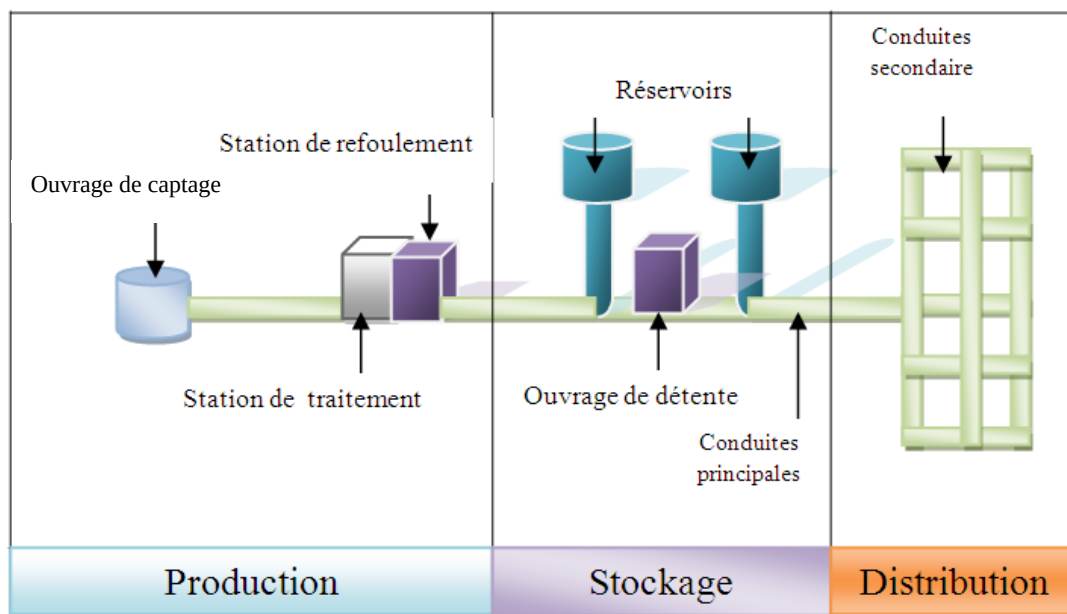


Figure 1.3 : Les fonctions d'un réseau d'eau potable (Martin, 1999)

1.3. La problématique des fuites (défaillances)

D'après Ostfold et al. (2002), les conduites d'eau potable doivent assurer :

- Le transport de l'eau avec une pression et un débit suffisants,
- La fourniture d'eau avec une qualité répondant aux normes en vigueur,
- La continuité de la distribution.

Ces fonctions se dégradent avec le temps sous l'effet du vieillissement du réseau d'AEP, qui engendrent des pertes, qui peuvent être de deux types :

- Les pertes en adduction qui surviennent dans le cas où il y a des transferts d'eau très importants, entre la production et la mise en distribution. L'absence de comptage tant à l'amont qu'à l'aval ne permet pas d'évaluer ces pertes (Karnib, 93).
- Les pertes en distribution qui correspondent à la différence entre le volume d'eau distribué et le volume d'eau consommé. Elles sont dues (Aussoleil, 91), (Figure 1.4).
 - aux fuites au niveau des joints,
 - aux fuites aux différentes prises de branchements,
 - aux fuites sur branchements,
 - aux cassures de conduites,
 - aux erreurs de comptage,
 - aux eaux piratées.

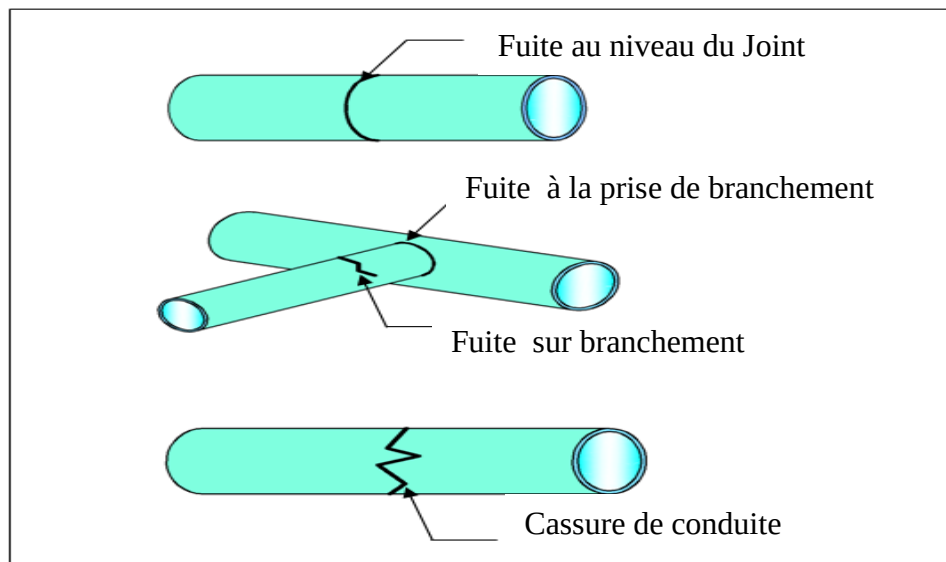


Figure 1.4 : quelques origines des pertes (Marzouk, 2005)

1.3.1. Types de fuites :

Selon Eiseinbeis (94), On peut distinguer :

- les fuites (*leak repair*): ce sont tous les événements entraînant une réparation sur les conduites, les hydrants, les branchements,
- les fuites sur tuyau (*main leak*),
- les fuites sur joints (*joint leak*),
- les ruptures sur conduites (*main breaks*): elles représentent les défaillances structurelles du tuyau ou de l'emboîtement dues à une surcharge excessive, une détérioration du lit de pose, un contact avec les autres structures, la corrosion ou une combinaison de toutes ces conditions (Kleiner et al, 2001) ;
- les défaillances: ruptures ou fuites apparentes nécessitant une intervention sur le réseau.

Elles peuvent avoir lieu soit sur le tuyau, soit sur le joint (Figure 1.5). Elles constituent une manifestation visible et facilement enregistrable du vieillissement d'un réseau (Arnoux, 1998).

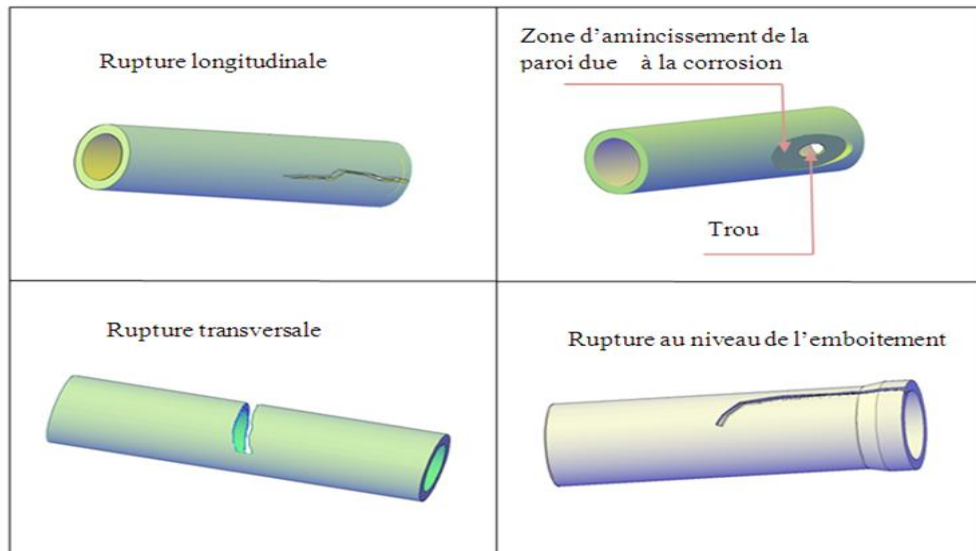


Figure 1.5 : Différents types de ruptures sur une conduite (Arnoux, 1998)

1.3.2. Causes des fuites :

Les fuites peuvent être dues à plusieurs facteurs. Ils peuvent être répartis en trois groupes (Marzouk, 2005) :

- **Les facteurs liés à l'exploitation du réseau :**

- La vitesse d'écoulement ;
- La pression ;
- La température de l'eau ;
- La nature de l'eau ;
- La variation des conditions d'exploitation ;
- Les manœuvres sur réseaux.

- **Les facteurs propres à la canalisation :**

- Diamètre ;
- Type de Matériau ;
- Type de joints ;
- La corrosion interne.

- **Les facteurs liés à l'environnement dans lequel se trouve la canalisation :**

- La corrosion externe ;
- Les mouvements de sol et le trafic ;
- Les charges des terrains ;
- Les conditions et lit de pose ;
- Les travaux avoisinants.

1.4. Généralité sur la maintenance

Avant de présenter les motifs de réhabilitations, il est très important d'insister sur quelques définitions et types de maintenance utilisées, dans la littérature.

1.4.1. Réhabilitation

Selon la norme AFNOR (1996) ,la réhabilitation est toute mesure entreprise pour rétablir ou améliorer les performances d'un réseau d'AEP, d'évacuation et d'assainissement urbain. Cette définition peut être appliquée au cas des réseaux d'eau potable. En effet, la réhabilitation d'un système peut être réalisée par une action ou une combinaison d'actions telles que **remplacement**, **renovation** ou **réparation** de composants ou ouvrages.

Les concepts cités ci-dessus sont définis dans la norme EN 752-1 (AFNOR, 1996) :

Remplacement : « ...construction d'un ouvrage d'évacuation et d'assainissement neuf sur ou hors de l'emplacement d'une conduite d'évacuation et d'assainissement existante et s'y substituant...».

Rénovation : «...travaux incorporant tout ou partie de l'ouvrage d'évacuation et d'assainissement existant et grâce auxquels les performances actuelles sont améliorées...».

Réparation : « ...rectification des défauts localisés...».

La figure 1.6 présente les différents concepts qui sont définis dans la norme EN 752-1 (AFNOR, 1996)

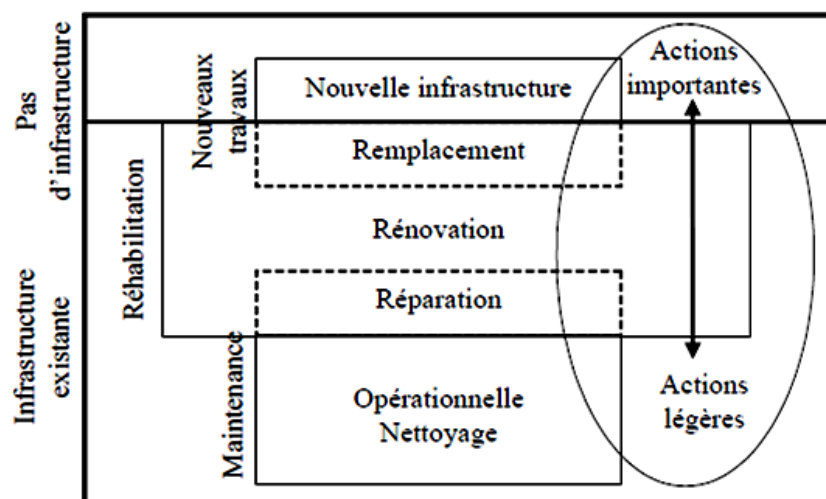


Figure 1.6 : Terminologie utilisée dans la réhabilitation EN 752-1 (AFNOR, 1996)

1.4.2. Maintenance

L'entretien ou la maintenance représente l'ensemble des actions permettant de rétablir un bien dans un état déterminé ou assurer un service (AFNOR, 1981). Selon la théorie de la maintenance à la gestion des infrastructures et plus particulièrement la gestion des réseaux d'eau potable on peut distinguer deux types de la maintenance :

- **Maintenance corrective** : Intervention rapide après dysfonctionnement ;
- **Maintenance préventive (Renouveau)** : Intervention avant défaillance.

1.4.3. Les motifs de réhabilitations

Les principaux motifs, responsables de telles opérations, sont listés ci-dessous (Ajuste et al, 2004) :

- Dégradation de la qualité de l'eau par le réseau ;
- Dégradation visible de la conduite ;
- Plainte des abonnés pour insuffisance de pression ou mauvaise qualité de l'eau ;
- Augmentation du nombre de fuites ;
- Risques de dommages liés aux fuites ;
- Évolution des besoins des usagers ;
- Pose d'un autre réseau.

1.5. Notion de la décision

1.5.1. La décision

Mintzberg, (1979) considère qu'une décision, individuelle ou collective, est définie comme l'engagement dans une action..

Ansi, Lévine et Pomerol, (1990) définit la décision comme étant une action prise pour remédier à une difficulté ou répondre à un changement d'environnement, c'est-à-dire résoudre un problème individuel ou organisationnel.

Roy et Bouyssou, (1993), considèrent la décision comme étant le fait que des acteurs exercent librement un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné. Même si, la responsabilité d'une décision incombe à un individu clairement identifié celle-ci reste souvent la résultante d'interactions entre de multiples acteurs, au cours d'un processus de décision.

D'une manière générale, **la décision** est l'action de l'esprit qui décide quelque chose ou se décide après délibération individuelle ou collective :

1.5.2. Processus décisionnel

D'après Roy et Bouyssou, (1993), le concept de décision est presque inséparable de celui du processus de décision. Dans la littérature, la décision est un espace d'interaction, pouvant évoluer dans l'espace et dans le temps, où tous les intervenants partagent des préoccupations, parfois, contradictoires (Tsoukiàs, 2008).

Le processus d'aide à la décision se décompose selon les étapes suivantes (Mammeri, 2013) :

- **Représentation du problème** : déterminer le problème auquel il estime être confronté
Dans cette étape on vise à identifier
 - Les décideurs et les analystes;
 - Leurs rôles;
 - Les préoccupations de chaque décideur.
 - L'importance des préoccupations ainsi que les éventuels liens entre elles.

- **Formulation du problème** : le décideur identifie l'ensemble des actions possibles ou l'objet de la décision.

Tsoukiàs, (2008) propose trois types de traitement pouvant être effectués sur l'ensemble des alternatives :

- chercher à définir les alternatives de manière formelle sans évaluation (e.g. le cas du problème de satisfaction des clauses logiques).
- construire un modèle pour décrire un sous-ensemble d'alternatives dans un ensemble de points de vue quand il s'agit d'une approche descriptive (e.g. l'apprentissage en statistique et en intelligence artificielle).
- partitionner l'ensemble des alternatives selon la problématique (la sélection, le tri, le rangement ou la description).

1.5.3. Aide à la décision multicritère

Selon Maystre et al., (1994) l'aide à la décision multicritère est une analyse visant l'explicitation d'une famille cohérente de critères permettant d'appréhender les différentes conséquences d'une alternative.

Pohekar et Ramachandran, (2006) ajoutent que l'aide multicritère à la décision est développée pour traiter différentes problématiques de décision (choix, tri, description et rangement, etc.)

tout en tenant compte d'un ensemble de critères (attributs), souvent conflictuels et non-commensurables et cherchant à modéliser au mieux les préférences et les valeurs du ou des décideurs.

Pohekar et Ramachandran, (2006) ajoutent que l'aide multicritère à la décision est développée pour traiter différentes problématiques de décision (choix, tri-description et rangement, etc.) tout en tenant compte d'un ensemble de critères(attributs), souvent conflictuels et non-commensurables et cherchant à modéliser au mieux les préférences et les valeurs du ou des décideurs.

1.5.4. Les différents types de critères

- **Le vrai-critère** : nous parlons de vrai-critère (Figure 1.7), (Ayadi, 2010) lorsque l'alternative qui reçoit la meilleure note sera préférée à l'autre. Il n'y a indifférence que si les deux notes sont égales.

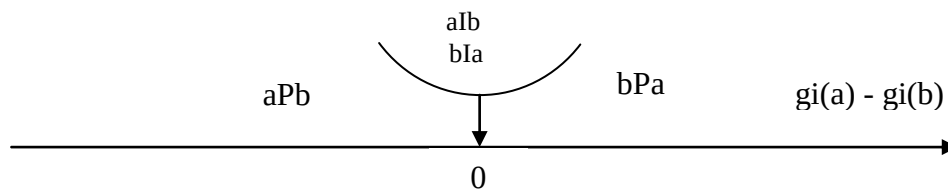


Figure 1.7 : Préférence entre les alternatives selon le vrai critère.

Où : **P** : préférence stricte,

I : l'indifférence,

a et **b** : alternatives.

- **Le quasi-critère** : Il s'agit de quasi-critère (Figure 1.8), (Ayadi, 2010) lorsqu'il y a une plage d'indifférence $[-q, q]$. Il y a indifférence entre les alternatives et lorsque l'écart de leur évaluation tombe dans la plage $[-q, q]$.

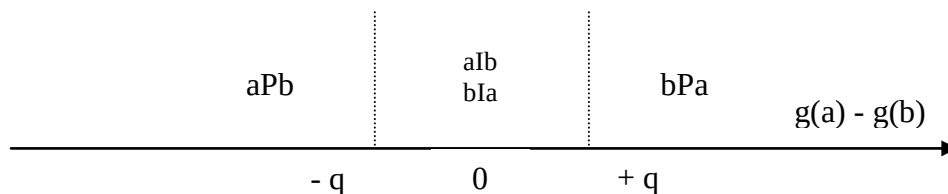


Figure 1.8 : Préférence entre les alternatives selon le quasi critère.

Où : **P** : préférence stricte,

I : l'indifférence,

a et **b** : alternatives.

Quand il s'agit d'une décision multicritère, on parle d'un ensemble d'alternatives. Roy, (1985) sépare les alternatives réalisables de celles qui ne les sont pas. Il souligne que la mise en œuvre en pratique d'une alternative potentielle est envisageable. En général, dans l'aide à la décision multicritère, il n'existe pas une décision qui soit la meilleure, simultanément, pour tous les points de vue.

- **Le pré-critère** : un pré-critère (Figure 1.9) (Ayadi, 2010) est un vrai critère auquel nous avons introduit une plage de préférence faible.

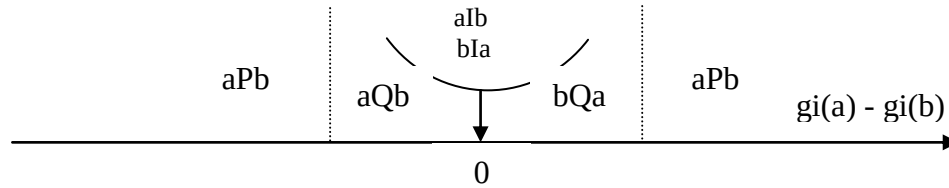


Figure 1.9 : Préférence entre les alternatives selon le pré critère.

Où : **P** : préférence stricte,

I : l'indifférence,

Q : la préférence faible et **a** et **b** : alternatives.

- **Le pseudo-critère** : un pseudo-critère (Figure 1.10) est un critère dont le pouvoir discriminant est caractérisé par deux seuils : un seuil d'indifférence et un seuil de préférence (Jacquet Lagrèze et al., 1980).

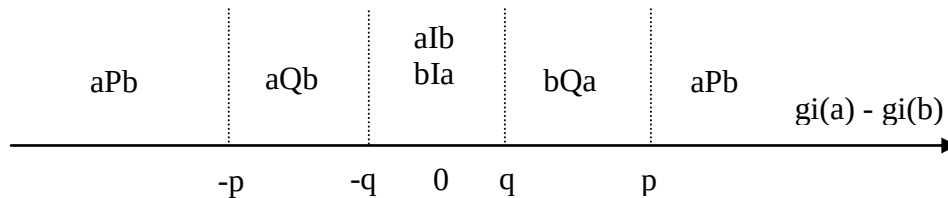


Figure 1.10 : Préférence entre les alternatives selon le pseudo-critère.

Où : **P** : préférence stricte,

I : l'indifférence,

Q : la préférence faible et **a** et **b** : alternatives.

1.5.5. Classification des problématiques de décision

L'orientation de l'investigation que nous adoptons pour un problème donné peut représenter les problématiques de décision. Ainsi, elles expriment les termes dans lesquels le décideur pose le problème et traduit le type de la prescription qu'il souhaite obtenir (Ayadi, 2010). Roy (2013) distingue quatre problématiques :

- **Problématique du choix** : Représentée dans la Figure 1.11 consiste à déterminer un sous-ensemble aussi restreint de l'ensemble des alternatives. Ce sous ensemble contient les meilleures alternatives et les alternatives qui sont équivalentes ou incomparables entre elles (Mousseau, 1993). La procédure de sélection utilisée consiste donc à éliminer les mauvaises alternatives en les comparant. L'idéal est d'obtenir une seule et meilleure alternative. Mais à cause de la nature conflictuelle des critères, il est préférable de fournir au décideur quelques alternatives qui représentent différentes variantes de la meilleure alternative (Costa, 1996); Ayadi, 2010); Mammeri, 2013).

La problématique de choix, désignée par Bernard Roy est celle qui consiste à chercher un sous-ensemble de A, bien sûr restreint que possible, contenant les meilleures actions ou à défaut les actions les plus satisfaisantes (Roy, 2013).

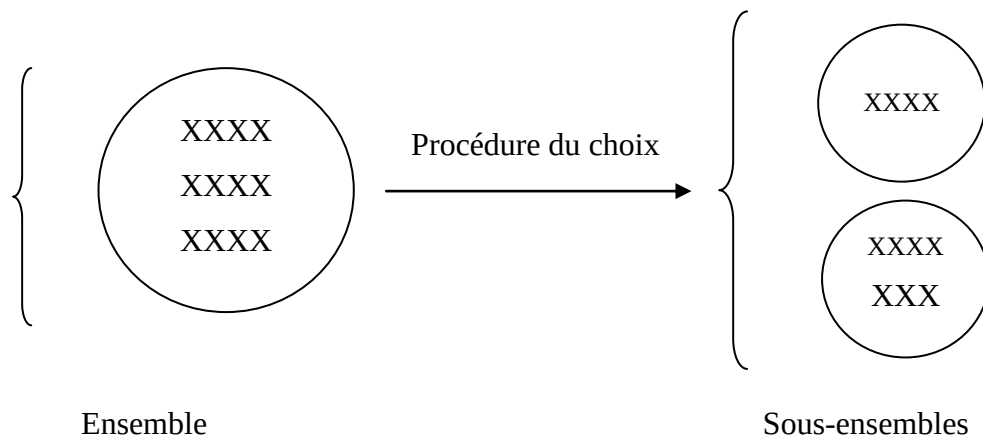


Figure 1.11 : Problématique du choix.

- **Problématique du tri** : Elle consiste à affecter chaque alternative à une catégorie jugée appropriée parmi un ensemble de catégories prédéfinies (Figure 1.12). Cette formulation est adéquate lorsque le problème de décision consiste à examiner chaque alternative indépendamment des autres dans le but de proposer une recommandation parmi un ensemble des recommandations spécifiées en avance (Mousseau, 1993). Chaque recommandation peut être associée avec une catégorie. La procédure du tri doit être définie de telle sorte que chaque alternative est affectée à une et seule catégorie. Le choix de cette catégorie est justifié par le type du jugement que nous voudrions porter sur les alternatives et par les traitements que nous les souhaiterions faire (Mousseau, 1993 ; Ayadi, 2010; Mammeri, 2013).

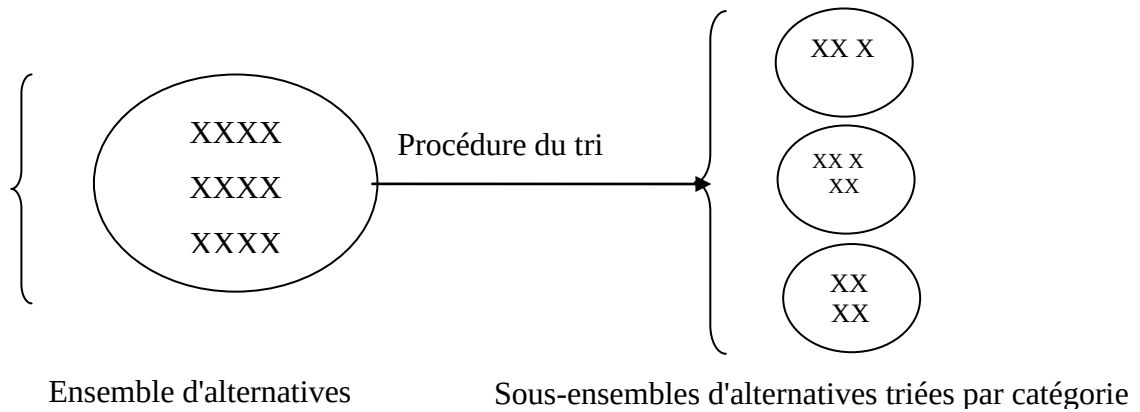


Figure 1.12 : Problématique du tri.

- **Problématique du rangement :** Représentée dans la Figure 1.13 vise à ranger l'ensemble d'alternatives lorsque elles sont à différencier selon leur intérêt relatif, de la meilleure à la moins bonne. On vise un ordre complet. Mais, étant donné l'imprécision, l'existence de systèmes de valeurs différents, et la nature conflictuelle des critères, il est souvent plus réaliste de présenter au décideur un ordre partiel. Formellement, la prescription est un ordre partiel, une relation transitive définie sur un ensemble ou un sous-ensemble d'alternatives (Mousseau, 1993).

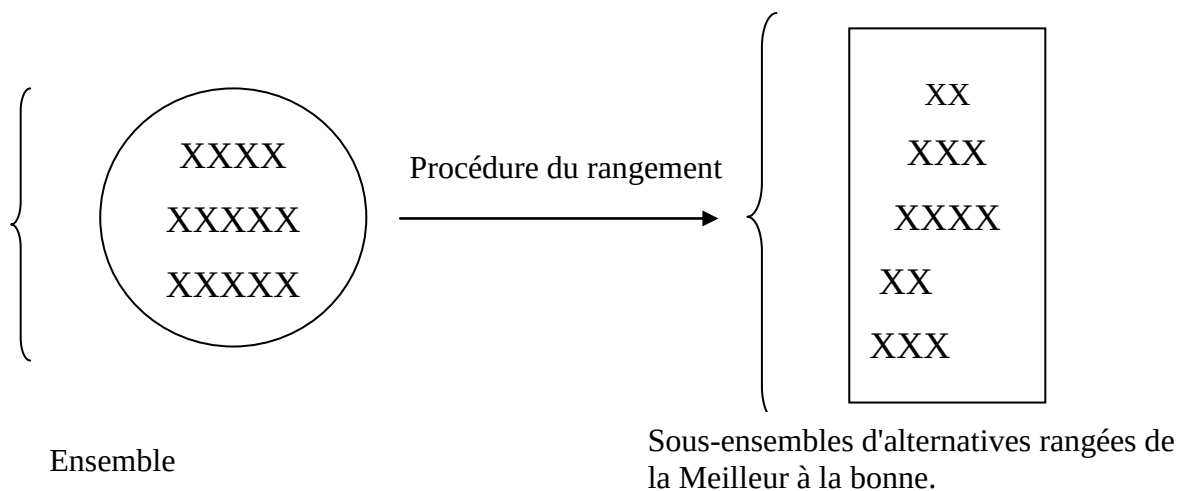


Figure 1.13 : Problématique du rangement.

- **Problématique de description:** Cette problématique figurée dans la Figure 1.14. Ayadi, (2010) consiste à décrire les alternatives et leurs conséquences et non pas à les prescrire comme c'est le cas avec les trois autres problématiques précédentes. La procédure d'investigation est alors cognitive (Roy, 1985).

•

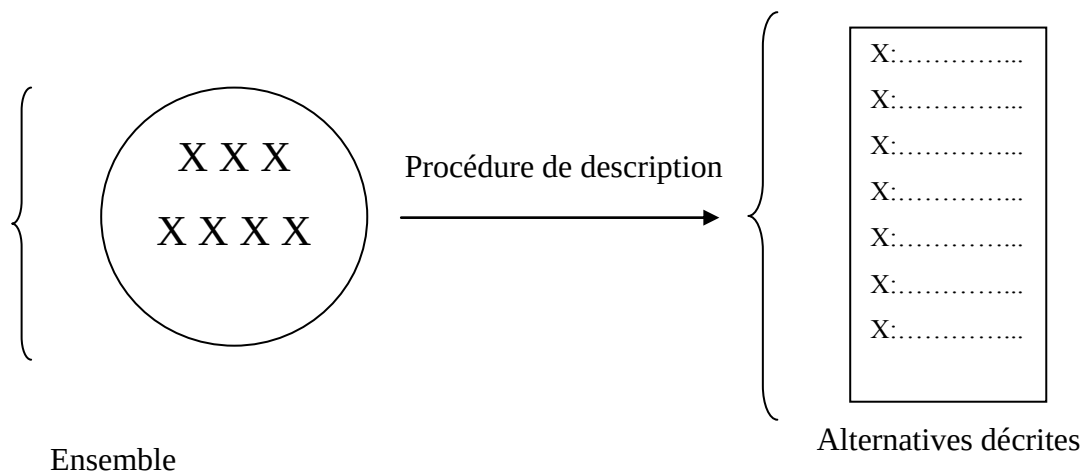


Figure 1.14 : Problématique de description.

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les différents termes importants liés à notre recherche de manière séquentielle et simple, pour avoir une idée générale de notre sujet. Où nous avons présenté la définition de le système de réseau d'eau potable et leurs composants les plus importants, ainsi que le définir les différents types de réseaux et leur fonctionnement.

Ensuite nous nous exposons une idée sur le fonctionnement des conduites, ce qui influé d'une façon directe sur leur état ce que crée des fuites et des pertes aux niveaux des conduite Où nous avons défini et expliqué les différentes pertes et fuites et leurs types ainsi que les divers facteurs qui le provoquent.

Puis nous avons abordé la définition et l'explication détaillée des différents types et motifs de la maintenance et leur rôle dans la réhabilitation du réseau d'eau potable. Par la suite l'importance du processus décisionnel nous imposer de définirent et expliquent les notions de décision pour l'utiliser dans les prochains chapitres.

Chapitre 2

Recherche bibliographique

Chapitre 2

Recherche bibliographique

2.1. Introduction

Ce chapitre constitue une bibliographie sur les méthodes d'aide à la décision qui sont plus particulièrement appliquées dans le domaine de gestion des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP) même celles qu'ils s'appliquent dans un autre domaine proche (réseau d'assainissement ; réseau de distribution du gaz) qui nous pouvons projeter dans le réseau d'AEP.

Ensuite nous avons classés ces approches en trois groupes principales (Approche par optimisation économique ; Approche par modélisation de vieillissement ; Approches multicritères MCDM), chaque groupe contient plusieurs modèles qu'il a fournis aux gestionnaires le savoir-faire c'est-à-dire doivent déterminer comment et quand réparer, ou renouveler les conduites d'une façon plus efficace.

2.2. Approches décisionnelles

Nous représentons dans le Tableau 2.1, les différents modèles décisionnels dans ce chapitre, pour faire le point sur l'existant en matière de prévision des défaillances.

Tableau 2.1 : Modèles décisionnels

Approche par optimisation économique (Skipworth et al, 2002)				
Approches décisionnelles	Modélisation du vieillissement	Modèles statistiques	Statistiques descriptives	Modèle des Moines Water Workes Study
			Statistiques prédictives	Modèles agrèges
				Régressions multiples (EPA)
				Modèles probabilistes (MIT)
		Modèles Physique	Modèle de Vancouver Canada	
			Etude du Philadelphia Water Department (P.W.D.)	
			Modèle de l' «U.S. Army Corp of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (CERL)	
	M C D M	TOPSIS	Technique for Order by Similarity to Ideal Solution	
		PROMETHEE	Preference Ranking Organisation Méthodes for Enrichement Evaluation	
		AHP	Analytic Hierarchy Process	

2.2.1. Approche par optimisation économique

Elle est fréquemment citée dans la littérature, elle représente l'ancienne forme de l'approche d'aide à la décision, c'est une approche largement étudiée et utilisée en Europe et aux Etat Unis (Werry, 2000).

Alexandre et al, (1994) ont cherché le point optimal entre le coût et la date de l'emplacement de détérioration d'un équipement. Tout équipement nécessite des coûts d'exploitation et d'entretien qui chiffront davantage. L'objectif est d'optimiser le coût de remplacement des canalisations en décidant de remplacer l'équipement l'année où son coût total actualisé est minimum comme le montre le schéma ci-dessous.

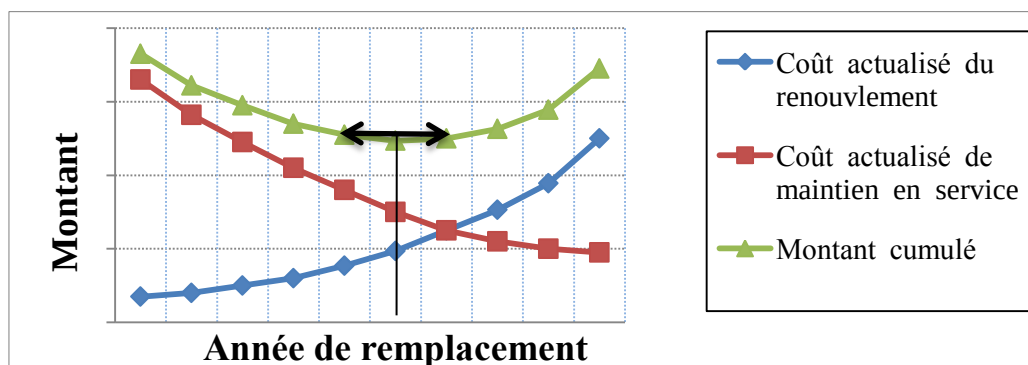


Figure 2.1 : Optimum du coût de remplacement d'une conduite (Alexandre, 1994)

D'après Skipworth et al, (2002), l'estimation du coût total des casses est:

$$C_{burst} = C_{rep} + C_{in} + C_{extB} \quad (\text{équation 2.1}).$$

C_{rep} : le coût des rétablissements.

C_{in} : total des coûts indirects par le gestionnaire se sont explicités par (l'équation 2.2).

C_{extB} : coûts externes liés aux casses.

$$C_{indB} = C_{reg} + C_{compe} + C_{comp} + C_{imge} + C_{PeB} \quad (\text{équation 2.2}).$$

C_{reg} : coût annuel lié aux activités de régulation.

C_{comp} : coût annuel des compensations versées aux usagers et aux tiers du fait de casse.

C_{comp} : coût annuel de traitement des plaintes.

C_{imgeB} : coût d'une perte d'image de marque de l'organisme gestionnaire.

C_{PeB} : coût des éventuelles pénalités infligées par l'autorité de régulation en cas de deux casses non conformes.

Les coûts externes sont explicités par l'équation (2.3).

$$C_{extB} = C_{drup} + C_{wp} \quad (\text{équation 2.3})$$

C_{drup} : coût total des perturbations induites par les casses.

C_{wp} : L'acceptation à payer des clients pour une fréquence de casse plus faible.

D'après Le Gauffre et Eisenbeis, (2004) ces méthodes sont utilisables lorsque les coûts des différents impacts sont connus de façon suffisamment précise. Il faut garder en mémoire les limites de l'approche par optimisation économique:

- Certains coûts vont forcément être monétarisés arbitré au centime près entre deux options concurrentes.
- La projection sur la longue durée des coûts sociaux est liée à des hypothèses fortes sur l'évolution des usages, des attentes, de l'activité économique, etc.....
- L'évaluation des coûts sociaux sera toujours lourde à faire au niveau de chaque tronçon ou de chaque rue.

2.2.2. Approche par modélisation de vieillissement

La modélisation du vieillissement consiste à trouver des relations entre le taux de défaillances ou la durée de vie et les variables de détérioration. La plupart des modèles sont de nature

statistique ou physique.

2.2.2.1. Modèles statistiques : Il existe deux modèles : descriptives et prédictives.

2.2.2.1.1. Statistiques descriptives: Modèle des Moines Water Workes Study, (Zedgui, 1993)

L'objectif de ce modèle est d'établir les causes principales d'augmentation du nombre de casses des canalisations par année.

Ces méthodes basées sur l'analyse statistique descriptive ont été utilisées à de nombreuses reprises pour analyser les défaillances des conduites. Elles consistent à établir les relations simples entre le taux de défaillance et les variables de détérioration. Les résultats ont permis de conclure que 75% de toutes les défaillances étaient dues à l'action des sols corrosifs sur la canalisation en fonte. L'équation de prédiction est la suivante :

$$Ag = 65.78 + 0.028 RS - 6.33 pH - 0.049Pr \quad (\text{équation 2.4})$$

Avec:

Ag :	Age de la canalisation à la première défaillance (années)
RS :	résistivité du sol saturé (ohm/cm)
pH :	Potentiel hydrogène du sol
Pr :	Potentiel redox (millivolts).

2.2.2.1.2. Statistiques prédictives :

A ce jour, trois types de modèles prédictifs ont été développés: les modèles agrégés ; les modèles de régression multiple ; les modèles probabilistes.

a) Les modèles agrégés

Les plus usuels de cette catégorie sont les modèles proposés par Shamir et Howard, (1979). Il s'agit d'une relation simple exponentielle ou linéaire entre l'âge de la conduite et le taux de défaillance .

$$Nbr(t) = Nbr(t_0) \times e^{A(t-t_0)} \quad (\text{équation 2.5}).$$

ou

$$Nbr(t) = Nbr(t_0) + A(tmp - t_0) \quad (\text{équation 2.6}).$$

Avec:

Nbr : nombre de défaillances par mètre de longueur à l'instant t .

tmp: temps en années.

t_0 : années de base de l'analyse ou année de l'installation de la conduite.

A : taux annuel de croissance des défaillances (A comprise entre 0.05 –0.15).

Cette approche constitue la première tentative d'analyse statistique des défaillances comme outil d'aide à la décision pour le renouvellement. Son avantage principal est la simplicité.

b) Modèles de régression multiple

L'Environnemental Protection Agency (EPA). Eseinbeis, (1994) a effectué une analyse sur les réparations des canalisations d'eau potable dans les petites et les grandes services d'eau. Les données recueillies dans ces deux services renseignaient sur les facteurs suivants :

- diamètre ;
- longueur ;
- âge de la conduite;
- nombre total de défaillances ;
- type de canalisation ;
- corrosivité du sol enrobant la canalisation ;
- conditions de pression ;
- réparations effectuées sur la canalisation.

Selon Clark et al, (1982), Deux équations ont été développées pour des petits et grands services, l'une estimant la durée jusqu'à la première défaillance, l'autre estimant le nombre de défaillances de la conduite à la suite de la première.

❖ Age de la première défaillance

- *Pour les petits services d'eau :*

$$NY = 2.9 + 0.44 \times D + 0.017 \times P + 0.412 \times I + 0.32 \times RES \quad (R^2 = 0.34) \quad (\text{équation 2.7}).$$

- *Pour les grands services d'eau :*

$$NY = 11 + 0.263 \times D - 0.006 \times P + 0.773 \times I + 0.253 \times RES - 0.00006 \times LH + 15.69 \\ \times T \quad (R^2 = 0.34) \quad (\text{équation 2.8}).$$

- *Pour les deux services combinés :*

$$NY = 4.13 + 0.338 \times D - 0.022 \times P + 0.261 \times I + 0.0983 \times RES - 0.0003 \times LH + 13.28 \\ \times T \quad (R^2 = 0.23) \quad (\text{équation 2.9}).$$

Avec :

- NY: intervalle entre la pose et la première défaillance.
- R : coefficient de détérioration.
- D : diamètre de la conduite (pouces).
- P : pression absolue dans la conduite en livres par pouce-carré.
- I : pourcentage de linéaire en zone industrielle.

RES: pourcentage de linéaire en zone résidentielle.

LH : linéaire en sol très corrosif.

T : type de conduite (0 - pour le béton, 1 - pour les matériaux métalliques).

❖ Nombre de défaillances à la suite de la première :

- Pour les petits services d'eau : (équation 2.10).

$$REP = 0.386 e^{0.0139PRD} \times e^{0.602A} \times e^{0.0208DEV} SL^{-0.016} \times HSe^{0.025}$$

Avec : ($R^2 = 0.49$)

- Pour les grands services d'eau : (équation 2.11).

$$REP = 0.172e^{0.7191T} e^{0.004PD} \times e^{0.862A} \times e^{0.0189DV} SL^{0.014} \times HS^{0.069}$$

Avec : ($R^2 = 0.47$)

- Pour les deux services combinés : (équation 2.12).

$$REP = 0.172e^{0.7191T} e^{0.004PRD} \times e^{0.865A} \times e^{0.0121DEV} SL^{0.014} \times HS^{0.069}$$

Avec : ($R^2 = 0.47$)

NY: intervalle entre la pose et la première défaillance.

PD : pression différentielle.

A : période depuis la première défaillance.

DV : pourcentage de canalisations se trouvant en zone développée.

SL : surface de canalisation en contact avec sol faiblement corrosif.

SH : surface de canalisation en contact avec sol corrosif.

IL est intéressant de noter la relation exponentielle entre le nombre de défaillances et la durée écoulée depuis la première défaillance; la longueur du tronçon n'a pas été utilisée et la même équation est appliquée quel que soit le nombre de défaillances de la conduite.

Une étude menée par Andreou et al, (1987), avait contribué à expliquer l'apparition des défaillances sur les réseaux, et à cerner les limites de cette technique que l'on peut résumer en :

- L'analyse n'a pas prise en compte l'histoire du tronçon, ce qui aurait permis de prévoir les défaillances futures.
- La description de l'influence de l'âge sur les défaillances n'a pas été possible.
- L'analyse discriminante a été menée séparément pour chacun des diamètres, par conséquent, la détermination de variables de détérioration générales est rendue très difficile.

c) Modèles probabilistes

Massachusetts Institut of Technology (MIT), Andreou et al, (1987); Marks et al, (1987) ont proposé un modèle probabiliste de prédiction des défaillances à partir des réseaux situés à New Havent et Cincinnati. Le même modèle a été repris en France par le Cemagref et l'ENGEES (Eisenbeis, (1994), s'appelé modèle des risques proportionnels ou modèle de Cox; qui permet de donner deux fonctions de servie et de risque, en fonction de différents facteurs recueillis.

Le modèle de Cox suppose que la relation entre la fonction de risque (Zedgui, 1993).

$$H_n(t) = \int h_n(u) du \quad (\text{équation 2.13}).$$

$$h_n(t, Z) = h_{n0} * e^{bZ} \quad (\text{équation 2.14}).$$

Avec :

- h_{n0} : Dépend du temps uniquement.
- Z : Vecteur des caractéristiques du sujet.
- B : Vecteur des paramètres propres à chaque variable.

Le modèle de Cox a été appliqué dans trois services, la Lyonnaise des Eaux - Dumez à Bordeaux (LED Bordeaux), la Campagne des Eaux de la Banlieue de paris (CEB) et deux syndicats ruraux d'eau du Bas - Rhin, afin de déterminer l'influence de différents facteurs.

Pour un historique disponible depuis 1976 pour la LED- bordeaux et la CEB , l'application a permis de montrer que le diamètre et dans une moindre mesure le sol , la date de pose et le trafic sont les facteurs les plus influents sur le nombre défaillances subies . Pour les deux syndicats, ou l'historique est plus faible, les facteurs influents sont le nombre de défaillances déjà subies le diamètre et le trafic (Eisenbeis, 1994).

Courbe A : 30 m de canalsation installées dans une zone rurale entre 1930 et 1935 et qui ont subi deux casse, la dernière ayant en lieu au moins 77 ans après la date de l'instalation.

Courbe B : 30 m de canalisations sans casses interieure istallées après 1950, se trouvant dans une zone rurale et subissant de très importante pressions internes de l'ordre de PSI.

Courbe C : 30 m de canalisations setrouvant partiellement dans une zone de développement maximum ayant subi deux casses antérieures la dérnrière casse ayant lieu 4 ans après la date de pose.

Courbe D: 4500 m de canalisations se trouvant entièrement dans une zone e développement maximal, ayant subi deux défaillances 4 ans après la date de pose.

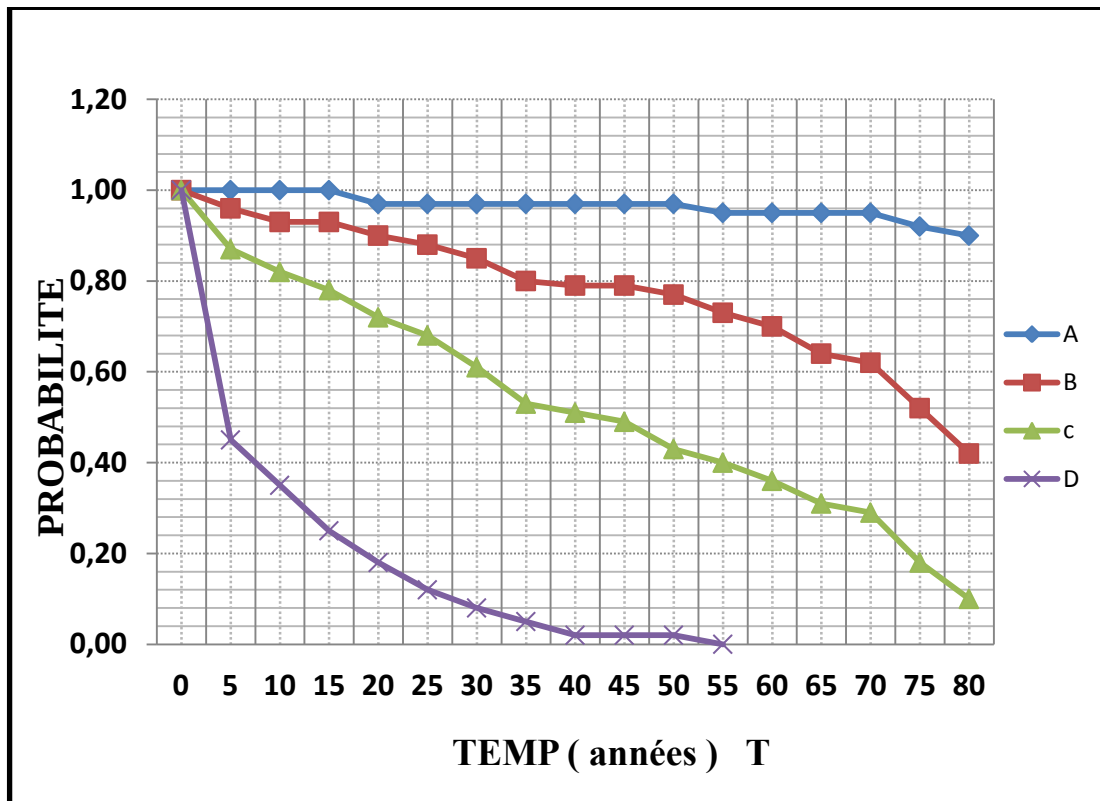


Figure 2.2 : Exemples de courbes de survie de conduites d'eau potable (New Haven)
(Andreou et al, 1987)

2.2.2.2. Modèles physiques

Ces modèles permettent de définir l'évolution des paramètres physiques de la conduite en fonction du temps ou des variables de détérioration (Arnoux, (98).

Les modèles physiques nous permettent d'évaluer les surcharges et les contraintes agissant aux conduites ainsi que l'action de corrosions interne et externe.

- Modèle de l'U.S. Army Corp of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (CERL).
- Etude du Philadelphia Water Department (PWD).
- Le modèle de Vancouver (Canada).

a) Modèle de CERL

CERL a développé un modèle physique appliqué aux canalisations de distribution de gaz (Zedgui, 1993). Ce modèle estime également l'effet de la corrosion externe sur l'épaisseur de la conduite et calcule un index de corrosion (CSI) variant de 1 à 100, une valeur de 100 correspondants à une conduite neuve et une valeur de 0 correspondant à une canalisation complètement détériorée. Le CSI est calculé par l'équation suivante:

$$CSI = 100 \times \left(1 - \frac{PAV}{T} \right) \quad (\text{équation 2.15})$$

Avec :

PAV : valeur de la profondeur de piquage de la paroi.

T : épaisseur de la paroi de la canalisation.

Pour chaque conduite le CSI peut être estimé à partir de différentes méthodes telle que des mesures directes sur la canalisation, des techniques de polarisation électrique ou des modèles mathématiques. Ensuite sont estimées les influences de différents facteurs déjà vus précédemment, à savoir l'effet du sol (Ph, résistivité), l'effet d'un revêtement extérieur sur la corrosion, l'effet des sulfates et l'effet de l'humidité.

On peut appliquer cette approche aux réseaux d'eau potable, en tenant toutefois compte des différences existant entre les caractéristiques des réseaux, telle qu'une pression plus importante pour les réseaux d'eau potable, la possibilité de corrosion interne due aux caractéristiques chimiques de l'eau.

b) Modèle de PWD O'day et al, (1989)

PWD a fourni un modèle d'évolution de l'état structurel des conduites d'eau potable en fonte grise exposée à des variations de conditions environnementales. Il estime les actions des corrosions internes et externes, les charges internes et externes, puis prédit l'épaisseur de la paroi et calcule un taux de sécurité donnant l'état des conduites. L'ensemble de ces informations permet de calculer un facteur de sécurité afin d'évaluer les conditions structurelles de la canalisation. Dans la figure 2.7 les différents modules utilisés dans ce modèle.

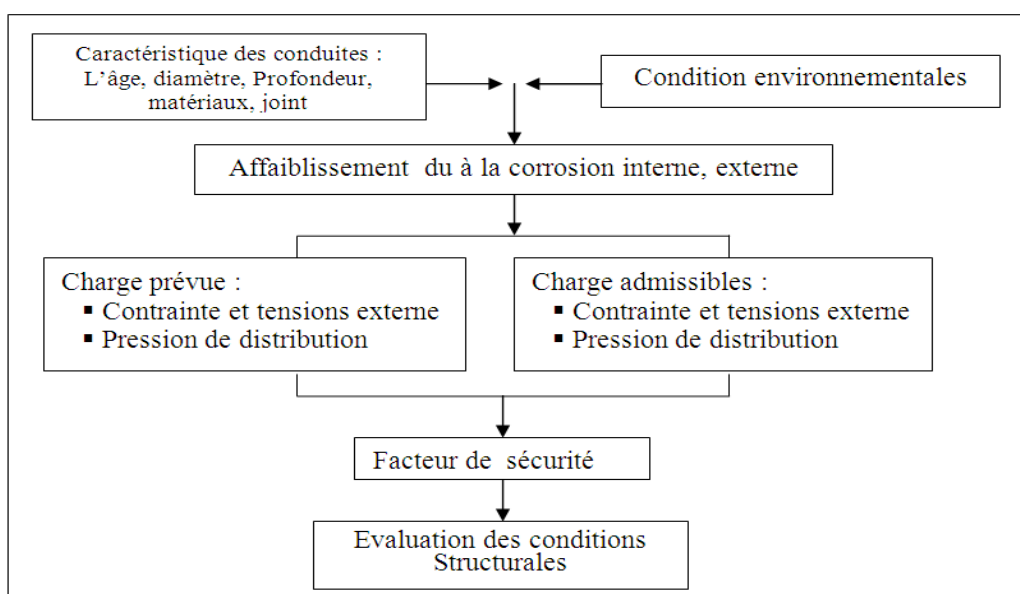


Figure 2.3 : Organigramme d'un modèle d'évaluation des conditions structurales des conduites (O'day et al, 1989).

c) Le modèle de Vancouver (Canada)

Eisenbes, (1994) a fixé pour objectif d'établir un modèle de prédiction de la durée de vie des conduites en déterminant la valeur maximale de diminuer l'épaisseur de la paroi des canalisations due à la corrosion externe.

L'analyse et les résultats de cette étude sont :

- diminution moyenne d'épaisseur due à la corrosion est de 1.65mm ;
- Ph qui est compris entre 4.6 et 9.4 ;
- Sol est faiblement aéré ;
- aucune trace de sulfure n'a été détectée ;
- l'eau n'est pas entartrant et contient des taux d'oxygène dissous élevés.

Afin d'établir un modèle de prédiction des défaillances, il est nécessaire de connaître l'épaisseur minimale de la paroi qui provoque la casse de la conduite. Cette donnée, est déterminée à partir des forces et contraintes qui s'appliquent sur la canalisation. Donc, pour utiliser ce modèle il est nécessaire de connaître les informations suivantes concernant la canalisation et son environnement :

- Date de pose de la canalisation ;
- Epaisseur originelle de la canalisation ;
- type de sol ;
- Diminution de l'épaisseur de la paroi de la canalisation due à la corrosion interne.

Le principal avantage de ce modèle est qu'il permet d'inclure des facteurs qui ont une influence directe sur la structure de la canalisation. Cependant il est à noter que les charges externes et les conditions de lit de pose ne sont pas prises en compte dans ce modèle.

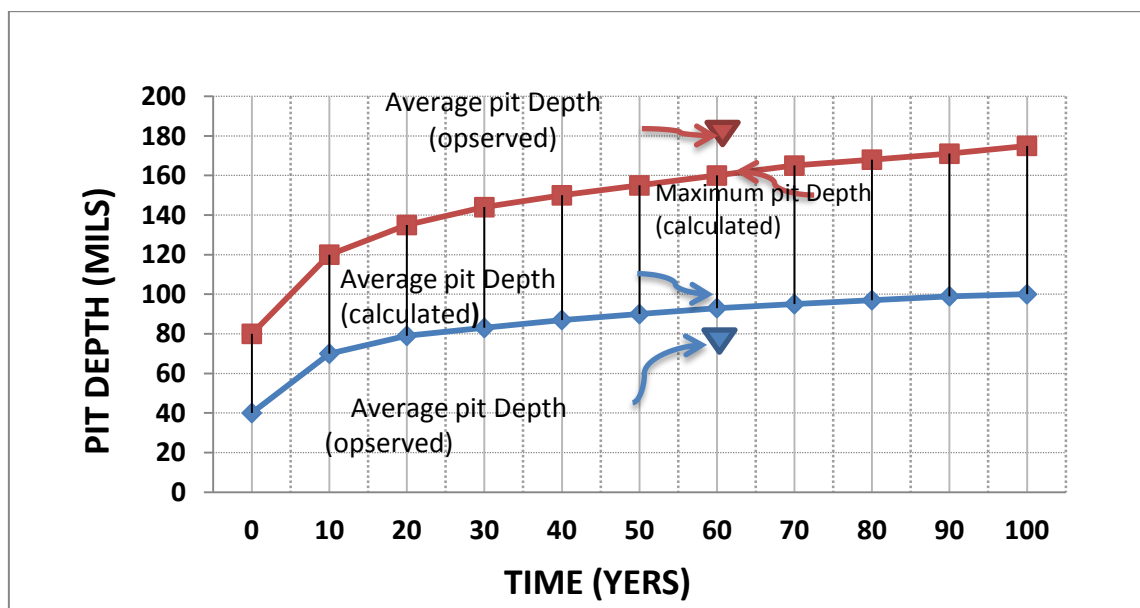


Figure 2.4 : Modèle physique de Vancouver (O'day et al, 1989).

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). Hajkowicz et Collins (2007) ont examiné 113 articles scientifiques appliquant de différentes méthodes MCDM dans les secteurs de la gestion de l'eau dans 34 pays. Ils remarquent que MCDM est fortement utilisée pour l'évaluation de la politique de l'eau et la performance des infrastructures d'eau.

2.2.3.1. TOPSIS

(Technique for Order by Similarity to Ideal Solution). La méthode TOPSIS est une méthode de prise de décision multicritère développée par Hwang et Yoon en 1981. Le concept de base de cette méthode est que, l'alternative choisie doit avoir la plus courte distance à l'alternative idéale (la meilleure sur tous les critères), et la plus grande distance à l'alternative négative idéale (qui dégrade tous les critères) (Cheng et al, 2002). Les étapes à suivre pour appliquer la méthode TOPSIS sont :

- Étape 1 : Définition des critères et des alternatives sélectionnés ;
- Étape 2 : Construire la Matrice de Décision $X = [x_{ij}]$ $m \times n$, 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 C_i^* Après avoir trié les valeurs RC_i^* , la valeur maximale correspond à la meilleure solution au problème.

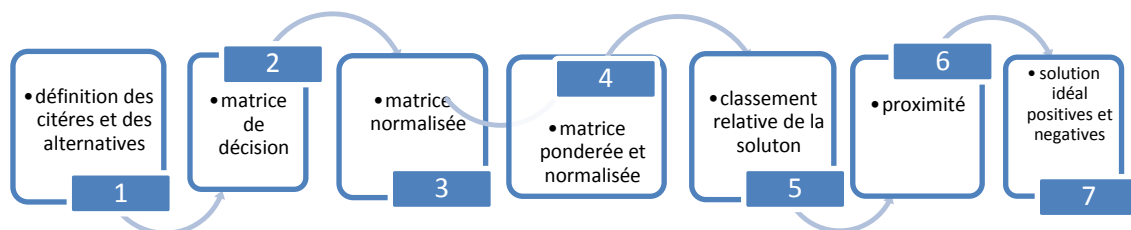


Figure 2.5 : Méthodologie TOPSIS (Boukhari, 2017)

2.2.3.2. PROMETHEE

La méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Methods for Enrichment Evaluation) a été proposée pour la première fois en 1982 par Jean Pierre Brans. Elle fait partie de la famille des méthodes de sur-classement value, pour lequel deux traitements mathématiques particuliers sont proposés: le premier permet de ranger les actions en un pré-ordre partiel et qui mène à l'in-comparabilité (méthode PROMETHEE I), le second permet de ranger les actions potentielles selon un pré-ordre total (méthode PROMETHEE II) (Brans, 1982). Il existe autre version PROMETHEE III (classement par intervalles) (Brans et Vincke, 1985), PROMETHEE IV (cas continu), (Brans et Vincke, 1986), PROMETHEE GAIA (analyse géométrique pour l'assistance interactive) (Mareschal et Brans, 1988), PROMETHEE V (MCDM avec contraintes de segmentation) (Brans & Mareschal, 1992) et PROMETHEE VI (représentation du cerveau humain) (Brans & Mareschal 1995).

Tableau 2.2 : Les versions de la méthode PROMETHEE (Ayadi, 2010)

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
PROMETHEE V	Choix multicritères avec contraintes de segmentation

• Principe de la méthode PROMETHEE

Elle consiste à établir un processus de comparaison numérique de chaque action par rapport à toutes les autres actions. Ainsi il est possible de calculer le plus (mérite) ou le moins (démérite) de chaque action par rapport à toutes les autres. Le résultat de cette comparaison permet le classement ordonné des actions (Brans, 1982).

- **Les étapes des méthodes PROMETHEE :**

Ces méthodes appartiennent à la classe des méthodes de sur-classement et reposent sur cinq étapes (Boukhari, 2017) comme le montre la (figure 2.6) :

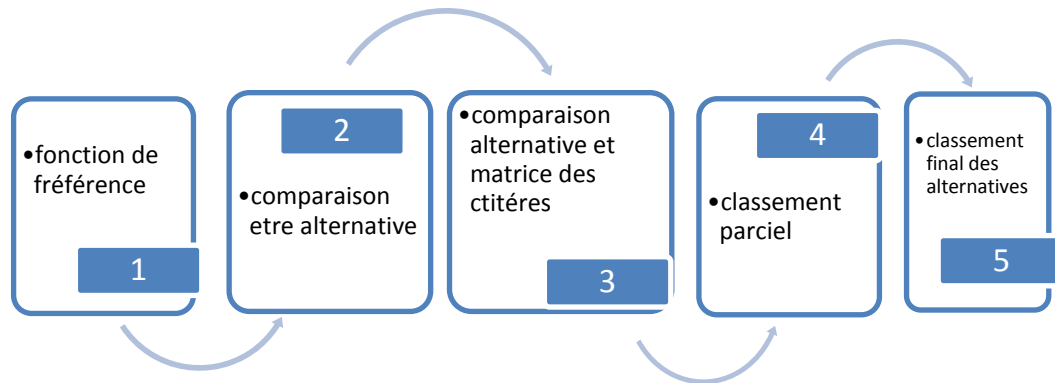


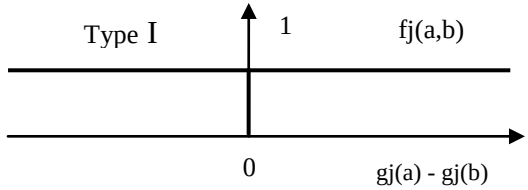
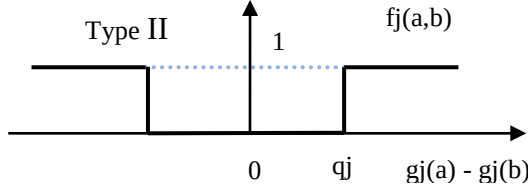
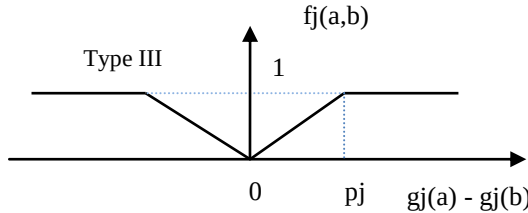
Figure 2.6 : Méthodologie PROMETHEE (Boukhari, 2017)

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

- **Choix des fonctions de préférence**

Critère $f_j(\cdot)$, $j=1, \dots, k$. Il s'agit d'une information complémentaire importante, et pour faciliter la tâche au décideur, un ensemble de six types lui est proposé (Phillipe Vinck, 1989) :

Tableau 2.3 : Types de critères et fonctions de préférence (Vincke, 1989)

T	Forme	Préférence
Type I		• Préférence stricte immédiate • Pas de paramètre à déterminer. $f_j(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{si } g_j(a) > g_j(b) \\ 0, & \text{si } g_j(a) \leq g_j(b) \end{cases}$
Type II		Il existe un seuil d'indifférence Quasi –critère qui doit être fixé. $f_j(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{si } g_j(a) - g_j(b) > q_j \\ 0, & \text{si } g_j(a) - g_j(b) \leq q_j \end{cases}$
Type III		La préférence croît jusqu'à un seuil de préférence qui doit être fixé. $f_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) > p_j \\ \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p_j} & \text{si } 0 < g_j(a) - g_j(b) \leq p_j \\ 0 & \text{si } g_j(a) - g_j(b) \leq 0 \end{cases}$

Type I : Vrai-critère (critère usuel) ;

Type II : quasi-critère ;

Type III : Pré-critère (critère à préférence linéaire) ;

Type IV : Pseudo-critère 1 (critère à paliers) ;

Type V : Pseudo-critère 2 (critère à préférence linéaire avec zone d'indifférence) ;

Type VI : critère gaussien.

• Présentations PROMETHEE I et II

PROMETHEE I et II se présentent comme suit :

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

$$p(a_i, a_k) = \sum_{j=1}^{\pi} \pi_j \cdot f_j(a_i, a_k) \quad (\text{equation 2.16})$$

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

$$\Phi^+(ai) = \sum_{ak \in A: ak \neq ai} p(ai, ak) \quad \text{Flux positif qui exprime la force de } ai \text{ (flux sortant)} \quad (\text{equation 2.17})$$

$$\Phi_-(ai) = \sum_{ak \in A: ak \neq ai} p(ak, ai) \quad \text{Flux positif qui exprime la faiblesse de } ai \text{ (flux entrant)} \quad (\text{equation 2.18})$$

- **Etape 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 $\Phi(ai)$ définis comme suit :

$$\Phi(ai) = \Phi^+(ai) - \Phi^-(ai) \quad (\text{equation 2.18})$$

Ainsi, PROMETHEE II fournit un pré-ordre total.

2.2.3.3. AHP

La méthode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) 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). Nous expliquerons cette méthode en détail dans le troisième chapitre.

2.2.4. comparative des différents modèles

Comme on vient de le voir, plusieurs études ont été effectuées pour déterminer la prédiction des défaillances d'un réseau d'eau potable. Les modèles élaborés ont pour principal objectif d'examiner la possibilité de prévoir, avant l'apparition des défaillances, les conduites qui doivent être renouvelées.

Les tableaux (2.2 ; 2.3 et 2.4 ;) représentent une synthèse de modèles statistiques et physiques.

Tableau 2.4: Synthèse des modèles MCDM

Modèles	Données nécessaires	Avantage	Inconvénient
TOPSIS	Interval ouvert	-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.	-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 ;
ROMETHEE	Interval ouvert	Les méthodes ROMETHEE sont faciles et compréhensibles par l'utilisateur	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).
AHP	Interval ouvert	- 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.	-Un grand nombre 'éléments 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 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

Tableau 2.5: Synthèse des modèles statistiques

Modèles	Données nécessaires	Avantage	Inconvénient
Statistique descriptive (Moine Water study) (Zedgui ,1993)	L'âge de canalisation Matériau, technique de pose Détérioration due a la corrosion	Fournissent des indications sur les variables explicatives potentielles et sur le processus de défaillance	Ne montrent pas les interactions entre les variables explicatives et ne fournissent pas des indications utiles pour le comportement individuel des conduites.
Modèle de Régression Multiple (l'EPA) (Eseinbeis, 1994)	Corrosivité du sol, Conditions de pression Diamètre, longueur et type de canalisation, Age de la canalisation, Réparations effectuées	Fournit: Un intervalle entre la pose et la première défaillance, Le nombre de défaillances après la première.	Ne définit pas les facteurs les plus influents sur les casses.
M.probabliste MIT (Zedgui , 1993)	Environnement de la canalisation Caractéristiques de la canalisation,	Définit une fonction de survie et une fonction de risque, Définit des probabilités de défaillances.	Sa fiabilité à long terme n'a pas été testée, Il concerne les conduites en fonte.
M.agrège (Shamir et Howard, 1979).	Taux Annuel des défaillances Nombre de défaillances Années de l'installation de la conduite,	On avantage principal est la simplicité.	Les variables (structurelles, d'environnement et d'exploitation) ne sont pas prises en compte.

Tableau 2.6: Synthèse des modèles physiques

Modèles	Données nécessaires	Avantage	Inconvénient
Modèle du CERL (Zedgui, 1993)	Revêtement extérieur de la canalisation Caractéristiques du sol.	Transposable aux conduites d'eau potable. Malgré son utilisation initiale dans les conduites du Gaz	Index de corrosion imprécis pour les conduites d'eau potable.
Modèle de PWD (O'day et al, 1989)	Les conditions environnementales. Caractéristique de la conduite.	Calcule un taux de sécurité Estime les charges internes et externes, Estime l'action des corrosions.	Utilisable aux conduites en fonte grise.
Modèle de Vancouver (Eisenbes, 1994)	Valeur minimale de l'épaisseur de la paroi de la canalisation Qui casse Type de sol Date de pose, Epaisseur originelle de la canalisation,	Prend en compte, à l'exception des charges externes et des conditions de pose, les facteurs qui influent directement sur la canalisation, .	Utilisable aux conduites en fonte uniquement.

2.3. Conclusion

Les approches décisionnelles nous permettent d'avoir une vision globale de la problématique des fuites et de vieillissement des réseaux d'AEP. Ce qui a fournir au gestionnaire un outil qui permettre à trouver les solutions nécessaire pour intervenir au bon moment selon un programme de réhabilitation en fonction du temps établie pour cette raison.

Nous nous sommes répartis Les différents modèles ou méthodes d'aide à la décision que nous avons présentés dans ce chapitre, selon leur caractéristiques et les nombres des données en trois groupes principaux, (Approche par optimisation économique ; Approche par modélisation de vieillissement ; Approches multicritères MCDM).

L'objectif principal de l'approche par optimisation économique est l'optimisation du coût de renouvellement des conduites en fonction du temps, cette méthodes est utilisables le cas où les coûts des différents impacts sont connus de façon suffisamment précise.

La modélisation de vieillissement s'appuie fortement sur la recherche d'une relation entre les différents facteurs de détérioration de la canalisation et le taux des défaillances, on distingue deux classes principales, les modèles statistiques et modèles physique qu'ils sont pour principal but d'évaluer la possibilité de prévoir, avant de l'apparition des défaillances. L'utilisation de ces modèles nécessite des données exhaustives concernant le réseau d'AEP pour une longue durée. Ils n'ont pas aidé à définir les facteurs les plus importants.

Les approches MCDM appelée aussi MCA 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. MCDM est très citer dans la littérature et fortement utilisées dans le domaine de la gestion de l'eau. En raison de sa facilité d'utilisation, parmi de ces méthodes l'AHP c'est la méthode que nous avons choisie pour notre travail de recherche et vous les trouvez en détail dans le troisième chapitre.

Chapitre 3

Méthodologie de recherche

Chapitre 3

Méthodologie de recherche

3.1. Introduction

Au cours de ce chapitre, nous aborderons les raisons et les points sur lesquels nous nous sommes appuyés pour choisir la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) sur la base de la comparaison des différentes méthodes utilisées dans le domaine de la gestion des réseaux d'AEP, ainsi que les principaux avantages sur lesquels ils reposent. Enfin, nous essaierons de collecter et d'inclure tous les critères liés à notre sujet et nous l'établirons techniquement et objectivement afin d'être cohérent.

3.2. Choix de la méthode

Avant de choisir la méthode décisionnel qui nous intéressent , il faut noter que les contraintes d'exploitation d'un réseau d'AEP et les difficultés présentées précédemment, il s'avère que les modèles économiques ou bien physique et statistiques sont des modèles trop complexes nécessitant une base de données exhaustive et couvrant une période trop longue (10 ans et plus) sur la maintenance du réseau.

Pour cette raison on a cherché à une autre méthode qui est basée sur des données étendues dans une durée courte avec une manière simple et méthodique.

La méthode développée par Saaty (1980), représente un domaine riche de possibilités pour les différentes aspects qui sont traités, que ce soit physique, fonctionnement environnementaux, les **méthodes hiérarchiques multicritères** semblent les mieux adaptées.

En effet les principaux avantages de la méthode hiérarchiques multicritères reposent sur les principes suivants : (Saaty, 1984) ; (Roy, 1985).

- la représentation et décomposition hiérarchique d'un problème complexe en éléments séparés;
- le tri des éléments d'un système en différents niveaux selon leur importance relative;
- le regroupement de ces éléments de façon logique et leur classement de façon cohérente selon des critères logiques.

L'aide à la décision est l'activité de celui qui aide à obtenir des éléments de réponse à des questions que se posent les acteurs impliqués dans un processus de décision. Le but principal de cette méthode est de fournir au décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution de problèmes décisionnels.

3.3. Présentation de la méthode AHP

Comme il est présenté dans la section de la revue de littérature, la méthode AHP a été largement utilisée dans différents domaines depuis qu'elle a été proposée par Saaty. Après la sélection de tous les éléments qui influent sur l'objectif de la problématique à résoudre (ou à évaluer), l'AHP débute par la décomposition d'un problème complexe de décision sous la forme d'une structure hiérarchique à plusieurs niveaux, suivie d'une étape de jugement (c'est-à-dire, effectuer des comparaisons par paires entre les éléments de chaque niveau) pour construire les matrices de décision et calculer les poids relatifs et globaux pour tous les éléments de la structure hiérarchique (dos Santos et al, 2019). La méthodologie de l'application de l'AHP est décrite dans la figure 3.1.

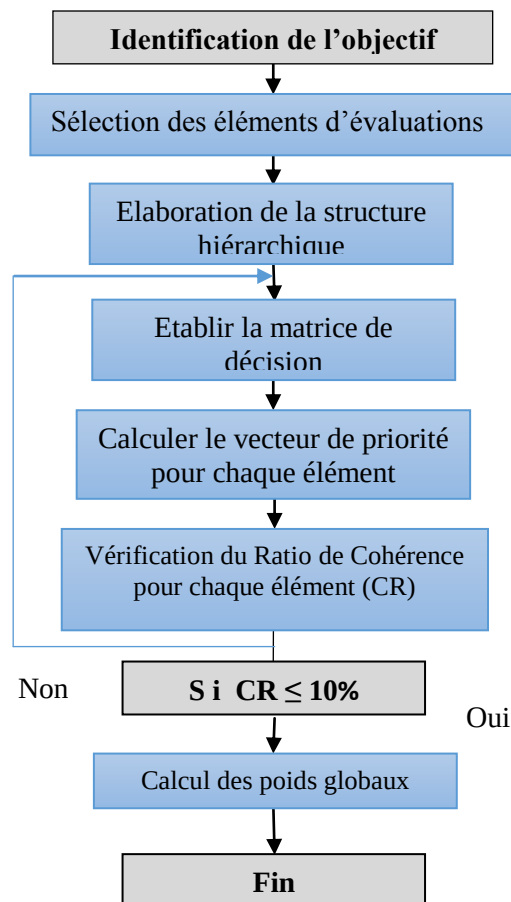


Figure. 3.1. Méthodologie de l'application de l'AHP

Cette méthodologie indique que les éléments fournissent un objectif principal pour développer à chaque élément des matrices de décision. Cependant, ces matrices aident à déterminer les poids relatifs de chaque élément de la même couche. Ensuite et après avoir calculé les poids relatifs de chaque élément, le poids global est déterminé pour chaque indicateur. Enfin, sur la base du score final, les indicateurs les plus pertinents pour la planification de la réhabilitation des WDN sont déterminés.

- ***Étape 1 : Identification de l'objectif***

La première étape de l'AHP commence par l'identification de la problématique et l'objectif de la recherche.

- ***Étape 2 : Sélection des éléments d'évaluation***

Avant de commencer les procédures de l'AHP, des éléments (critères, sous-critères et des indicateurs) les plus largement appliqués dans la planification de la réhabilitation des WDN doivent être sélectionnés sur la base de la problématique de la zone d'étude et l'opinion des décideurs et des experts.

- ***Étape 3 : Elaboration de la structure hiérarchique***

La construction de la structure hiérarchique comprend plusieurs niveaux d'évaluation. Cependant, le processus va diviser la prise de décision complexe en structure hiérarchique simple de tous les éléments de cette structure qui sont divisés en couches évaluées indépendamment pour faciliter la réalisation de l'évaluation.

- ***Étape 4 : Etablissement des matrices de décision***

Après la construction de la structure hiérarchique, l'étape suivante consiste à établir les matrices de décision de tous les éléments pour chaque niveau. Cependant, le jugement appliqué par les experts permet de déterminer les matrices de décision pour chaque niveau de la structure hiérarchique. A cet effet, les matrices de décision ont été établies en comparant la préférence de chaque élément par rapport un autre élément pour déterminer et classer les poids relatifs et globaux. Le jugement de ces experts est basé sur l'échelle de Saaty (tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Échelle numérique de comparaison binaire de Saaty (Saaty, 1980).

Échelle numérique	Échelle verbale
1.0	Importance égale des deux éléments
3.0	Un élément est un peu plus important que l'autre
5.0	Un élément est plus important que l'autre
7.0	Un élément est beaucoup plus important que l'autre
9.0	Un élément est absolument plus important que l'autre
2.0, 4.0, 6.0, 8.0	Valeurs intermédiaires entre deux jugements, utilisés pour affiner le jugement

Dans cette étape, une matrice de comparaison par paires «A» a été définie par l'équation

$$\text{suivante } A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{équation 3.1}).$$

A est la matrice de décision, a_{ij} sont les comparaisons par paires entre les éléments i et j pour $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ et $a_{ii} = 1$ et $a_{ij} = 1/a_{ji}$

où n est le nombre de chaque élément dans la matrice de décision.

- **Étape 5 : Calcul du vecteur de priorité pour chaque élément**

Dans cette étape, les vecteurs de priorités (poids relatifs) sont calculés pour chacun des éléments (critères, sous-critères et indicateurs) de la hiérarchie de décision. Les poids relatifs sont estimés à partir de la matrice de comparaison (après le jugement des experts). Ensuite, il faut vérifier que la somme de tous les poids doit être égale à 1,00. Pour calculer les poids relatifs, il faut suivre les étapes suivantes :

- Calculer la somme de chaque colonne de la matrice « A » ;

$$\begin{cases} S_{11} = 1 + 1/a_{12} + \dots + 1/a_{1n} \\ S_{12} = a_{12} + 1 + \dots + 1/a_{2n} \\ \vdots \\ S_{1n} = a_{1n} + a_{2n} + \dots + 1 \end{cases} \quad (\text{équation 3.2})$$

- Diviser chaque élément de la matrice « A » par le total de la colonne, et on obtiendra la matrice normalisée « B » le terme normalisé signifié que la somme de chaque colonne de la matrice B est égale à un (1).

$$B = \begin{bmatrix} 1/s_1 & a_{12}/s_1 & \cdots & a_{1n}/s_1 \\ 1/(a_{12} \times s_1) & 1/s_1 & \cdots & a_{2n}/s_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/(a_{1n} \times s_1) & 1/(a_{2n} \times s_1) & \cdots & 1/s_1 \end{bmatrix} \quad (\text{équation 3.3}).$$

- Calculer la moyenne de chaque ligne de la matrice « B » on obtient le vecteur w_i ou $i=1 : n$.

$$\begin{cases} \text{moy}_1 = 1/s_1 + a_{12}/s_1 + \cdots + a_{1n}/s_1 \\ \text{moy}_2 = 1/(a_{12} \times s_1) + 1/s_1 + \cdots + a_{2n}/s_1 \\ \vdots \\ \text{moy}_n = 1/(a_{1n} \times s_1) + 1/s_1 + \cdots + 1/s_1 \end{cases} \quad \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (\text{équation 3.4})$$

• **Étape 6 : Vérification du Ratio de Cohérence pour chaque élément**

Le calcul du Ratio de Cohérence (CR) est un aspect important dans l'application de la méthode AHP. Cette étape est indispensable pour vérifier la cohérence ou l'incohérence de la matrice de décision. D'après Saaty, le CR doit être égale ou inférieur à 10% (Saaty, 1980). Le calcul du CR est effectué par la comparaison d'un Indice de Cohérence (CI) à celui d'un indice de cohérence aléatoire (RI). Pour vérifier la cohérence de la matrice de décision, il faut suivre les étapes suivantes :

- Calculer la valeur propre $\lambda_{\max}$;

$$\lambda_{\max} = \text{val max du vecteur (produit mat } [A] \times [w_i] / \text{moy}_i) \quad (\text{équation 3.5})$$

- Déterminer la valeur de l'Indice de Cohérence Aléatoire (RI) ;
- Calculer l'Indice de Cohérence (CI) ;
- Calculer CR ;
- Vérifier CR.

En général la cohérence de chaque matrice a été calculé à partir l'équation 3.6 :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{équation 3.6}).$$

Avec :

- CI : Indice de Cohérence. Il est calculé à partir l'équation 3.7 :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{équation 3.7}).$$

- RI : Indice de Cohérence Aléatoire. Il est donné par le tableau 3.2.
- $\lambda_{\max}$: la plus grande valeur propre,
- n : le nombre des éléments de chaque matrice (critères, sous-critères ou indicateurs).

Tableau 3.2. Indice de cohérence 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

• **Étape 7 : Calcul des poids globaux**

Une fois ces étapes accomplies, l'AHP fournit un vecteur de poids globaux du dernier niveau, en multipliant tous les poids relatifs de chaque élément de tous les niveaux.

• **Étape 8 : Prendre la décision finale**

La dernière étape commence par la sommation des valeurs relatives pour chaque ensemble d'élément à tous les niveaux hiérarchiques. Ces valeurs sont combinées pour établir le score global des indicateurs liés à la couche des sous-critères.

3.4. Choix et interprétation de la grille des critères

La structure hiérarchique employée, impose un groupement de certains critères. Nous avons répartis ces critères en trois grandes classes:

- **Physique ;**
- **Fonctionnement ;**
- **Environnement de la canalisation.**

A l'intérieur de ces trois classes de critères généraux existe des sous critères qui peuvent être regroupés en sous-ensembles s'appelle indicateurs, pour bien permettre une meilleure vision sur le niveau d'urgence (l'objectif d'évaluation) des différents tronçons des canalisations et en affecte à chaque classe (Critères, Sous-critères et Indicateurs) un poids.

3.4.1. Critère physique :

Ce critère contient les sous-critères suivants :

- **Diamètre de la conduite :** L'importance de la canalisation est directement proportionnelle à son diamètre. En cas d'une rupture, l'impact sur l'environnement est très élevé quand le diamètre est gros (Blindu, 2004). D'autre part le mécanisme

d'apparition des fuites augmentent sous l'effet des efforts de traction agissent sur la conduite si le diamètre est petit et elle diminue lorsque le diamètre est plus grand. Les tuyaux ayant un diamètre inférieur à 100 mm ont souvent des ruptures transversales (Male et al, 1983). pour notre cas les diamètres est variées entre 40 mm et 300mm.

- **Types des Matériau :** Les matériaux utilisés doivent être conformes aux normes et réglementations en vigueur vis-à-vis de la résistance au phénomène de corrosion (G.C.I.P.E.P, 2002) et réponde à certaines spécification pour éviter la détérioration de la qualité de l'eau transportée et retarde au maximum le vieillissement du réseau (Brière, 2000). Dans notre cas les matériaux utilisés sont :

- PVC ;
- PEHD ;
- Acier ;
- Fonte ;
- Amiante de ciment.

- **Longueur de la canalisation :** Un tronçon est défini de manière homogène vis-à-vis de certains facteurs caractérisant les canalisations (diamètre, date de pose, matériau, type de sol, son environnement immédiat), tous les tronçons ont été sélectionnés suivant la longueur des conduite qui correspondent à une même adresse (Blindu, 2004). Les classes utilise dans ce critère sont :

- $L_g < 100 \text{ m}$;
- $100 \text{ m} \leq L_g \leq 300 \text{ m}$;
- $300 \text{ m} < L_g \leq 600 \text{ m}$;
- $L_g \geq 600 \text{ m}$.

Pour notre cas nous nous donne une nomination **P_i** avec **i** signifie le numéro affecte à chaque conduite. Les longueurs sont variées entre 6 m à 1211 m.

- **L'âge de la canalisation :** L'âge ne doit pas être considéré comme un facteur de désordre ou un critère de renouvellement. Il est connu que ce ne sont pas les plus anciennes conduites qui risquent le plus de problèmes (FNDAE, HS 10) les utilise sont :

- Age < 10 ans ;
- $10 \leq \text{Age} \leq 30$;
- $30 \leq \text{Age} \leq 50$;
- Age > 50 ans.

Pour notre cas 89 conduites inférieure à 20 ans et 4 conduites entre 20 et 40 ans avec une seule conduite entre 40 à 50 ans.

- **Protection anticorrosive :** La nature de l'eau peut être un facteur très important de corrosion interne de la canalisation (Acier, Fonte) car il existe des interactions « eau - conduite » qui peuvent induire une corrosion à l'intérieur des canalisations.

La corrosion externe peut avoir plusieurs origines: le type de sol et son humidité, présence de la nappe phréatique, l'hétérogénéité du sol et du contact des conduites.

Le classement a été obtenu à partir des types de revêtement le plus souvent utilisés, en se basant sur les origines et les conséquences des problèmes qui peuvent apparaître avec le temps pour les différents types de revêtements (FNDAE, HS 12). Pour la protection cathodique, nous nous sommes limités à préciser la présence (interne ou externe) ou l'absence de cette protection, on a trois indicateurs :

- Interne ;
- Externe ;
- Absent (non).

Dans notre cas les conduites sont totalement non protégées.

- **Joint :** Le joint joue un rôle important dans la résistance de l'ensemble des canalisations aux différentes tensions et contraintes. Cette résistance diffère en fonction du type du joint employé peu crée une fuite (Blindu, 2004). Nous avons utilisé les classes suivantes :

- collés ;
- collés au ciment ;
- Mécanique ;
- thermo fusion.

Tableau 3.3. Les éléments sélectionnés pour la planification de la réhabilitation de RDE Liés au critère physique		
Physique	Diamètres (mm)	$\Phi < 100$
		$100 \leq \Phi \leq 200$
		$201 \leq \Phi \leq 300$
		$\Phi > 300$
	Types de Matériaux	AC
		PVC
		PEHD
		Acier
		Fonte
	Longueur (m)	$L_g < 100 \text{ m}$
		$100 \leq L_g \leq 300$
		$301 \leq L_g \leq 600$
		$L_g > 600$
	L'âge de la canalisation (ans)	Age < 10
		$10 \leq \text{Age} \leq 30$
		$30 < \text{Age} \leq 50$
		Age > 50
	Protection anti corrosive	Interne
		Externe
		Non
	Joints	Collés
		Collés au ciment
		Mécaniques
		Thermo fusions
		Soudés

3.4.2. Fonctionnement :

- **Pression** : La pression maximale chez l'utilisateur ne doit pas dépasser 4 bars. Au-delà de cette valeur il y a un risque d'apparition de désordre. A l'inverse la pression minimale à l'entrée doit être 1 bar (Hamou, 1993).

Les phénomènes de surpression sont plus dangereux. Une élévation du niveau de la pression d'un réseau pour des motifs d'exploitation peut entraîner une brusque augmentation du nombre de fuites et des casses sur le réseau (Blindu, 2004). Nous avons adopté les classes suivantes :

- $Pr < 2$;
- $2 \leq Pr \leq 6$;
- $Pr > 6$.
- Vitesse : L'effet de la vitesse sur les conduites, avec le temps, provoque l'érosion des parois de la conduite, sous l'effet du frottement ou l'abrasion surtout quand l'eau contient

la matière solide en suspension. Plus la vitesse est élevée, plus le risque d'abrasion est important et son impact sur les parois est plus grand. Ceci peut engendrer des macros fissures qui augmentent au fur et à mesure, et peut devenir de grande fissure préjudiciable.

La demande croissante en eau potable aura pour conséquence une augmentation des vitesses dans les canalisations, ce qui peut favoriser la corrosion et générer des contraintes mécaniques excessives, contrairement la demande décroissante aura pour conséquence relative des temps de séjour de l'eau dans les conduites ce qui favorise la sédimentation de la matière solide en suspension ce qui peut engendrer la corrosion interne (Mlandin, 1999). Pour notre étude on adopte les trois classes suivantes ci-dessous :

- $V < 0.5 \text{ m/s}$;
 - $0.5 \text{ m/s} \leq V \leq 1.5 \text{ m/s}$;
 - $V > 1.5 \text{ m/s}$.
- **Défaillance** : Nous définissons une défaillance comme correspondant à une fuite ou une rupture sur la conduite ou sur le joint qui nécessite une réparation (Arnoux, 1998). Le nombre de casses et des fuites sont la traduction directe de l'état structurel dégradé et / ou inadapté des tronçons. Une augmentation du nombre de fuites peut être liée fondamentalement au vieillissement en considérant que c'est par un mécanisme de vieillissement qu'une conduite franchit à un moment donné la limite de ce qui est acceptable c'est-à-dire d'un état de référence . Différents seuils critiques de défaillances ont établis par les gestionnaires du réseau d'AEP, Harlpern et al, (1988) ; Le Gaultre et al, (1996) ; Alexandre et al, (1994). Dans notre étude on admettre trois classes ou indicateurs principaux sont :
- Nombre de défaillance (Ndd) = 0 ;
 - $1 \leq (Ndd) \leq 3$;
 - $(Ndd) > 3$.
- **Qualité de l'eau potable** : Les origines des dégradations de la qualité de l'eau potable sont nombreuses (FNDAE, HS 12).

L'eau potable subit diverses altérations lors de son trajet dans les conduites de distribution. " « ...le réseau de distribution d'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur, où l'eau et son contenant (conduite) sont le siège d'interactions physico-chimiques et biologiques. L'eau du robinet peut avoir une qualité très éloignée de celle issue de l'usine de

production...». FNDAE, (HS 12). On recense plusieurs problèmes propres à chaque type de matériaux constitutifs des canalisations et à son vieillissement (Leguen, 1999).

Parmi les mesures objectives des paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau, la qualité de l'eau comporte une part d'appréciation subjective par les consommateurs. En effet, l'abonné réagit à l'aspect et aux caractéristiques esthétiques et organoleptiques de l'eau (Dubis, 1987).

Par la suite, on va considérer que l'altération de la qualité de l'eau potable dans le réseau de distribution traduit par la dégradation de ces paramètres constitue un indice de la dégradation de la conduite dans le temps et on distingue trois indicateurs sont :

- Trop agressive ;
 - Agressive ;
 - Non agressive.
- *Entretien du réseau* : Nous savons que le type d'intervention sur les conduites des réseaux d'AEP est entièrement lié à la qualité des matériaux et le type d'équipement utilisé, sans oublier le niveau de performance et la compétence de la main - d'œuvre à tous les niveaux (ingénieur, technicien, ouvrier professionnel). Tout cela influe d'une manière ou d'une autre sur l'opération de réparation des conduites pour notre étude on adopte trois indicateurs de performance :
- Bon ;
 - Moyen ;
 - Mauvais.

Tableau 3.4. Les éléments sélectionnés pour la planification de la réhabilitation de RDE
Lié au fonctionnement

Fonctionnement	Pression (bars)	Pr < 2
		$2 \leq Pr \leq 6$
		Pr > 6
	Vitesse (l/s)	V < 0,5
		$0,5 \leq V \leq 1,5$
		V > 1,5
	Défaillances	0
		$1 \leq D \leq 3$
		D > 3
	Qualité de l'eau potable	Agressive
		Non Agressive
		Trop agressive
	Entretien de réseau	Bon
		Moyen
		Mauvais

3.4.3. Environnement de la canalisation :

- *Type de sol* : Le caractère corrosif des sols est dépendant des paramètres suivants: leur perméabilité à l'air et l'eau, leur taux d'humidité, leur teneur en sels, leur alcalinité ou acidité (Ph), leur résistivité et leur conductibilité électrique AWWA (1987). La corrosivité des sols peut-être aussi évaluée à partir d'études topographiques et géologiques du sol. Ainsi l'étude des reliefs du sol permet de définir les points hauts qui sont plutôt secs et aérés, donc peu corrosifs et les points bas qui sont humides et désaérés, donc susceptibles d'avoir une corrosion plus élevée (Eseinbes, 1994). Donc on distingue deux classes principales :

- Sol non corrosif ;
- Sol corrosif.

- *Lit de pose* : La présence d'un lit de pose sous les canalisations n'est pas obligatoire. Il le devient dès que les conditions géologiques ne le permettent pas, par exemple la présence d'un sol rocheux, les sols humides (argile) ou trop sec ... (SNIP, 1985).

Lorsque le fond de fouille est de mauvaise qualité (argile ou roche) la tranchée sera arasée au minimum à 10 cm au-dessous de fond de fouille et remplacée sur cette épaisseur par du sable (Hamou, 1993). Une grande attention doit être apportée lors de la pose, il faut s'assurer qu'aucun corps étranger ne se trouve à l'intérieur des tuyaux et s'assurer que les joints ont été placés entre des tuyaux alignés (Lalonde, 1991). Pour notre cas on s'exprime par la hauteur du sable en centimètre :

- Lit $\leq$ 10 cm ;
- Lit > 10 cm.

- *Nappe phréatique* : Une augmentation du niveau des eaux souterraines peut être la cause de nombreux phénomènes géologiques : affouillement et tassement, glissement, migration de lit de pose. Ces phénomènes dépendent des caractéristiques des sols (Flageollet, 1989). Pour notre cas aucune nappe phréatique n'a été observée dans les études des sols. Pour notre étude on admette deux classes principales sont :

- Présente ;
- Absente.

- *Profondeur de la canalisation* : La profondeur des canalisations dépend de plusieurs facteurs: la profondeur de gel, la profondeur minimale afin d'éviter l'échauffement de

l'eau dans les conduites (0.5 m au-dessus de la conduite en acier et 1 m pour ceux en matière plastique), le trafic, l'emplacement par rapport aux autres réseaux (Blindu, 2004). Les classes ont été obtenues en prenant en compte la profondeur qui figure dans la base de données sur les interventions. On a donc :

- profondeur < 1 m,
 - $1 \leq \text{Profondeur} \leq 2$ m ;
 - Profondeur > 2 m.
- *Trafic* : Ce facteur indique l'emplacement des conduites, celles qui se trouvent sous les chaussées vont avoir un grand poids par rapport aux conduites se trouvant dans un passage piéton ou espace vert, car les travaux sur les chaussées engendrent des frais plus élevés.

Le poids des véhicules et fréquence de circulation, en fonction de l'épaisseur et au type du sol qui couvre ou enrobe la conduite ainsi que la rigidité ou souplesse de la surface de la chaussée, génèrent de fatigue et de surcharge sur la conduite (Malandain, 1999).

Eseinbeis a constaté que le taux de ruptures était deux plus importants pour les conduites traversant une route principale à fort trafic que d'autres placées dans les rues d'habitations (Eseinbeis, 1994). Pour notre étude on adopte trois classes :

- Route principale ;
 - Route secondaire ;
 - Passage piéton.
- *Gênes causées* : Gênes que nous ne pouvons pas négliger, et ils interviennent directement dans le système décisionnel lié aux travaux routiers ou travaux de réparation d'un réseau quelconque. Ce qui peut entraîner une cassure de certains réseaux divers tel que: électricité, gaz, téléphone, réseau d'AEP, réseau d'assainissement. Pour notre étude, on admet trois indicateurs:
- Pose d'un autre réseau ;
 - Travaux de voiries ;
 - Réparation.

Tableau 3.5. Les éléments sélectionnés pour la planification de la réhabilitation de RDE Lié à l'environnement de la canalisation		
Environnement de la canalisation	Types de Sol	Sol non Corrosif
		Sol Corrosif
	Lit de pose (cm)	Absent
		Lit ≤ 10
		Lit > 10
	Nappe phréatique	Présente
		Absente
	Profondeur de la canalisation	Pro < 1
		$1 \leq \text{Pro} \leq 2$
		Pro > 2
	Trafic	Route Principale
		Route Secondaire
		Passage Piéton
	Gênes à cause d'autres réseaux	Pose d'un autre réseau
		Travaux de voiries
		Réparation

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons choisi la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) c'est la méthode la plus appropriée pour notre travail de recherche, ce qui répond à nos questions et facilite les tâches pour résoudre les problèmes de décision complexes. En raison de sa simplicité ; sa facilité d'application et de son compatibilité avec notre base de données existante.

Ensuite nous avons donné une explication détaillée de la méthode que nous choisissons comme nous l'avons présentée la métrologie et les étapes à suivre ont les suivantes ; Identification de l'objectif ; sélection des éléments d'évaluation ; élaboration de la structure hiérarchique ; établissement des matrices de décision ; calcul du vecteur de priorité pour chaque élément ; vérification du ratio de cohérence pour chaque élément ; calcul des poids globaux ; prendre la décision finale.

En fin nous choisissons la structure hiérarchique employée, et qui nous a été imposé un groupement de certains critères fondé par l'interprétation de chacun séparément. Nous avons répartis ces critères en trois grandes classes : Critères physique ; Fonctionnement ; Environnement de la canalisation. Ces classes contiennent des sous critères qui peuvent être regroupés en sous-ensembles s'appellent indicateurs pour obtenir des meilleurs résultats.

Chapitre 4

Zone d'étude et collecte des données

Chapitre 4

Zone d'étude et collecte des données

4.1. Introduction

Avant de traiter notre sujet il faut avoir une idée générale sur l'emplacement de notre site d'étude de point de vue de son choix et ses conditions géographiques, climatique, et autres.

Notre recherche est réalisée sur le réseau de la ville de Souk-Ahras. Ce choix est motivé par plusieurs facteurs, à savoir ;

- Le réseau est composé de plusieurs parties dont l'âge couvre un intervalle assez large du plus récent au plus ancien.
- La topographie de la ville est assez accidentée ce qui permet de mesurer l'impact de la pente directement ou à travers ses effet tel que la vitesse.
- La diversité des matériaux de construction des conduites qui couvre une gamme assez importante.
- La ville a connu un programme de réhabilitation et dont les travaux ainsi que l'étude elle-même ont révélé ou vérifié plusieurs facteurs de dégradations enterrés.
- Un dénivelé important ce qui permet d'avoir un intervalle important de pression malgré l'existence de plusieurs étages de pression.

Cette variabilité fait de la ville de Souk-Ahras un candidat idéal pour l'application de notre étude.

4.2. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Souk-Ahras se situe à l'extrême Est du pays, près de la frontière tunisienne (Figure 4.1). La wilaya occupe une superficie de 4359,65 Km². Elle est limitée par :

- au Nord, par les Wilayas de Taref et Guelma,
- à l'Ouest, par la Wilaya d'Oum El Bouaghi,
- au Sud par la Wilaya de Tébessa,
- à l'Est par la Tunisie.

Le territoire de la wilaya est compartimenté en deux (02) ensembles physiques et naturels bien distincts :

- Une zone Nord, montagneuse, relativement bien arrosée et abritant un couvert végétal forestier appréciable.
- Une zone Sud, correspondant au domaine des hautes plaines, au climat semi-aride et abritant une végétation de type steppique

Elle est issue du découpage administratif de 1984. La Wilaya est composée de 26 communes regroupées en 10 daïras. Elle est confortée par sa position de frontière Algéro-tunisienne à l'Est du territoire qui draine un échange de processus socioéconomique très important.

La ville de Souk-Ahras se situe au nord-est de la wilaya.

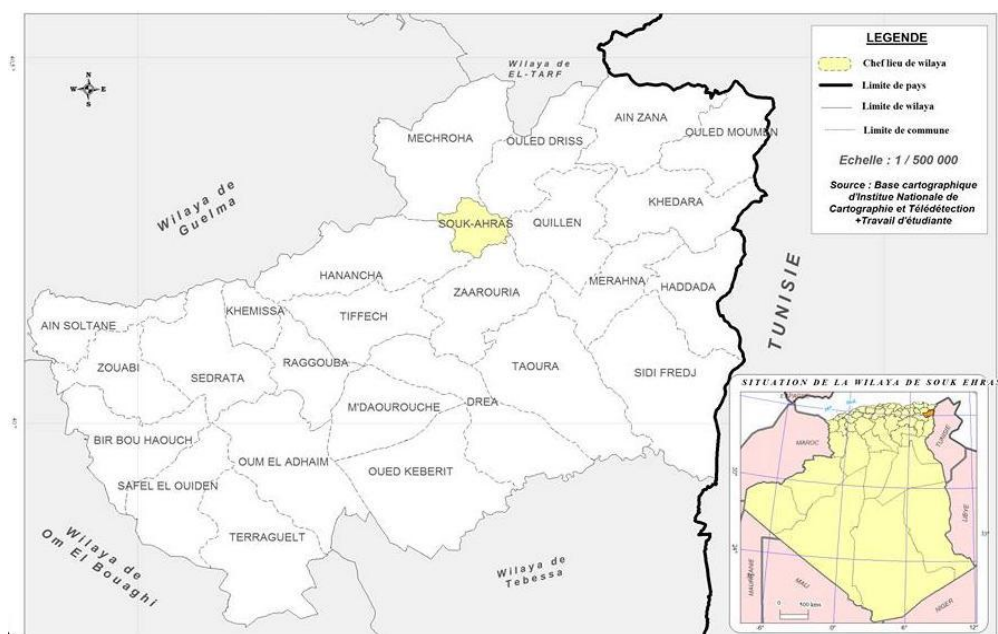


Figure. 4.1. Carte situation géographique de la wilaya de Souk-Ahras (PDAU, 2007)

4.2.1. Gestion des services de l'eau potable dans la zone d'étude

« ...Jusqu'au juillet 2006, la gestion de l'eau dans la ville de Souk-Ahras était assurée par L'EPDEMA de Souk-Ahras qui était un établissement à caractère départemental créé en 1987 et issu de deux entreprises nationales dissoutes. L'établissement était responsable de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement liquide dans la wilaya de Souk-Ahras, agissant en tant que gestionnaire des installations... ».BCEOM ,(2009)

« ...L'intégration au sein de l'ADE intervenue au 1^{er} juillet 2006. Au niveau local, l'ADE est représentée par l'unité de Souk-Ahras, structurée en 03 centres (centre de Souk-Ahras, Taoura et Sedrata) qui gèrent 18 communes. ... ».BCEOM ,(2009)

4.2.2. Unité ADE de Souk-Ahras

4.2.2.1. Organisation de l'unité ADE de Souk-Ahras

L'ADE de la wilaya de Souk-Ahras s'est représentée par l'unité de Souk-Ahras. Elle est composée de 05 départements :

- Département Commercial (DC) ;
- Département Exploitation (DEX) ;
- Département Comptabilité et Finance (DFC) ;
- Département Administration et Moyen (DAM) ;
- Département Ressources Humaines et Formations (DRHF).

L'unité de Souk-Ahras est structurée en trois centres gérant 18 communes.

4.2.2.2. L'infrastructure hydraulique gérée par l'unité ADE

La ressource pour l'alimentation en eau potable du chef-lieu de Souk-Ahras provient essentiellement du barrage d'Ain Dalia, qui assure également l'alimentation d'autres centres urbains dans les wilayas de Souk-Ahras, Tébessa (Aouinette et Ouenza) et Oum El-Bouaghi. L'eau brute stockée dans le barrage Ain-Dalia est transférée vers la station de traitement Ain-Dalia pour le traitement et le rendre potable. Ensuite, cette eau traitée est envoyée vers les différentes destinations (Figure 4.2).

D'autres ressources sont exploitées avec une faible contribution, par rapport au barrage. Elles fournissent un appoint en cas d'aléa climatique ou d'exploitation et participent à l'alimentation de quelques secteurs, en occurrence les forages de la nappe de Taoura.

L'Unité de Souk-Ahras gère un important patrimoine hydraulique constitué essentiellement :

- 29 Forages ;
- 92 Réservoirs d'une capacité de stockage 69.480 m³ et 19 Stations de pompage ;
- 718,080 ml de réseaux de distribution et 365,630 ml de réseaux d'adduction.

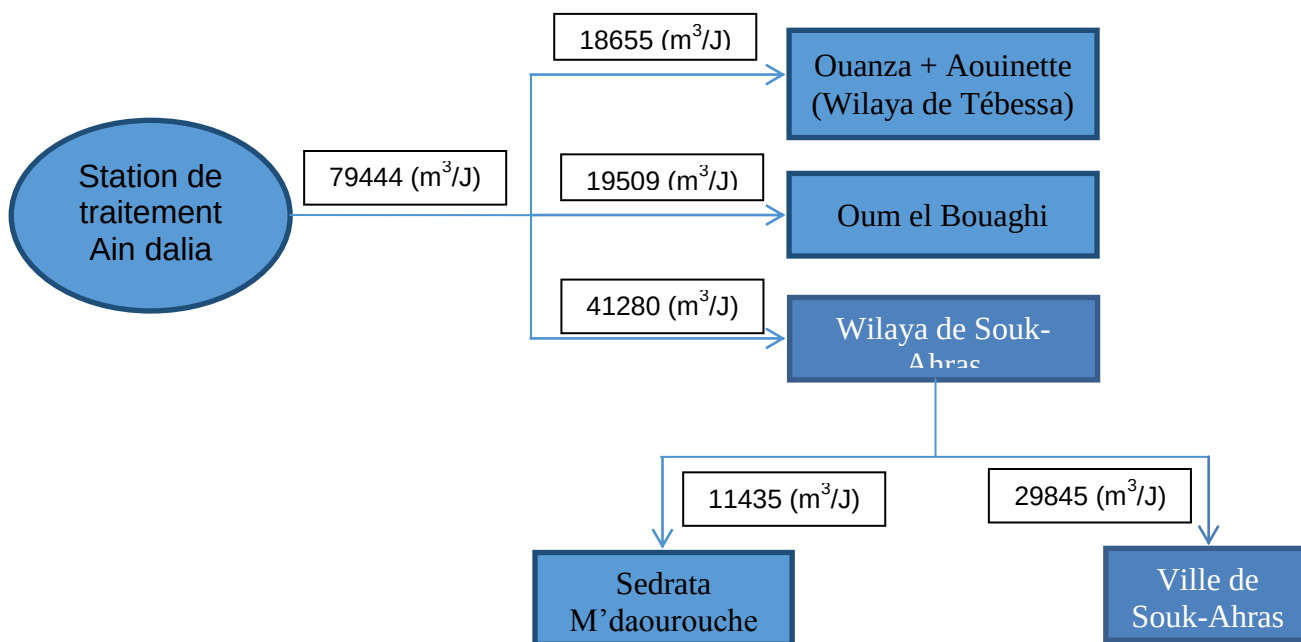


Figure. 4.2. Volume produit par la Station de Traitement Ain-Dalia (ADE, 2022)

4.2.2.3. Données relatives de l'Unité ADE Souk-Ahras

Les données d'exploitation relatives à l'Unité ADE de Souk-Ahras (Volume Produit, Volume Facturé et le nombre des abonnés) pour les années 2020 à 2022 sont présentées dans les Tableaux 4.1 et 4.2.

Tableau 4.1. Volumes Produits pour les communes gérées par
l'Unité ADE de Souk-Ahras (source : ADE, 2022)

Communes	Volume Produit (m ³)		
	Année 2020	Année 2021	Année 2022
SOUK AHRAS	9878725	10061048	9855000
SEDRATA	2460830	2531452	2372500
MECHROHA	730000	730000	730000
HENNANCHA	655540	533807	584000
TAOURA	1168000	1168000	1241000
DREA	219000	219000	255500
ZAAROURIA	492750	492750	547500
MDAOUROUCH	2045095	1715500	2190000
MERAHNA	693500	693500	693500
SIDI FREDJ	182500	182500	182500
OUILLEN	109500	109500	127750
HEDDADA	474500	474500	474500
KHEDARA	219000	219000	219000
HEDDADA	474500	474500	474500
KHEDARA	219000	219000	219000
OULED DRISS	255500	255500	182500
OUM LADAIM	365000	365000	365000
OUED KBRIT	232505	438000	237250
ZOUABI	103660	176613	109500
BIRBOUHOUC	278860	354168	310250
AIN ZANA	98550	98550	98550
OULED MOUMEN	36500	36500	51100
KHAMISSA	54750	54750	73000
Total	20754265	20909637	20899900

Tableau 4.2. Nombre d'abonné et Volumes Facturés pour les communes gérées par l'Unité ADE de Souk-Ahras (**source : ADE, 2022**)

	2020				2021				2022			
<i>Commune</i>	<i>Catégorie Domestique</i>	<i>Catégorie : Hors Domestique</i>	<i>Total</i>	<i>Volume Facturé</i>	<i>Catégorie Domestique</i>	<i>Catégorie : Hors Domestique</i>	<i>Total</i>	<i>Volume Facturé</i>	<i>Catégorie Domestique</i>	<i>Catégorie : Hors Domestique</i>	<i>Total</i>	<i>Volume Facturé</i>
SOUK AHRAS	32442	1576	34018	4567990	33087	1620	34707	4725042	37004	1674	38678	4982784
AIN ZANA	681	40	721	104054	682	41	723	118043	706	41	747	137583
HENANCHA	1867	75	1942	218860	1909	76	1985	196357	1946	78	2024	240695
MACHROHA	3516	141	3657	374215	3672	142	3814	391507	3918	145	4063	420196
OUELD DRISS	1108	32	1140	82095	1144	33	1177	85823	1155	33	1188	83203
DREA	1244	39	1283	145128	1271	41	1312	154850	1272	52	1324	150486
HEDDADA	1653	72	1725	274887	1680	71	1751	313275	1692	72	1764	333209
KHEDARA	1127	33	1160	106723	1191	34	1225	105511	1238	35	1273	116149
MERAHNA	3059	65	3124	350801	3137	68	3205	371161	3165	72	3237	395924
OUILLEN	627	25	652	96346	643	27	670	105256	711	30	741	117593
OULED MOUMEN	123	10	133	20524	126	10	136	21547	142	11	153	27609
SIDI FREDJ	487	24	511	199144	505	24	529	240933	527	25	552	266156
TAOURA	4681	199	4880	730640	4759	201	4960	819750	4851	204	5055	850090
ZAAROURIA	1519	37	1556	311013	1546	38	1584	341166	1579	40	1619	386933
BIR BOUHOUCHE	1502	82	1584	142145	1510	83	1593	156466	1696	83	1779	164432
KHEMISSA	0	1	1	55250	358	30	388	46980	348	27	375	44497
SEDRATA	11193	284	11477	1042233	11489	289	11778	1104915	11846	300	12146	1086844
ZOUABI	389	24	413	40948	436	24	460	47322	438	25	463	50304
MDAOUROUCH	6476	250	6726	700147	6686	263	6949	827537	6760	270	7030	920009
OUED KEBRIT	1151	58	1209	176162	1164	58	1222	197848	1162	59	1221	199444
OUM LAADAIM	1628	50	1678	179850	1647	51	1698	166982	1791	51	1842	162117
Total	76473	3117	79590	9919155	78642	3244	81866	10583271	83947	3327	87274	11136257

4.2.3. Centre ADE de Souk-Ahras

La ressource pour l'alimentation en eau potable de la ville de Souk-Ahras provient essentiellement du barrage d'Ain Dalia, qui assure également l'alimentation d'autres centres urbains dans les wilayas de Souk-Ahras, Tébessa (Aouinette et Ouenza) et Oum El Bouaghi. D'autres ressources sont exploitées avec une faible contribution, par rapport au barrage. Il s'agit des captages des « sources » de Ain Dalia, des forages de la nappe de Taoura et des forages M'riss. Le barrage d'Ain Dalia d'une capacité globale de stockage de 76 millions m³. Une fois l'eau captée et traitée, il faut la faire circuler dans des tuyaux d'adduction. L'eau est ensuite stockée, puis acheminée par des tuyaux de distribution dans les logements. Le centre ADE de Souk-Ahras (figure 4.3) gère un réseau d'adduction de 55 km et un réseau de distribution qui est estimé à 220 km (BCEOM, 2009).

La distribution est effectuée sur des périodes de **3 à 6 heures**, un jour sur deux et des parfois un jour sur trois. L'absence de service continu est due à des débits de fuites excessifs.

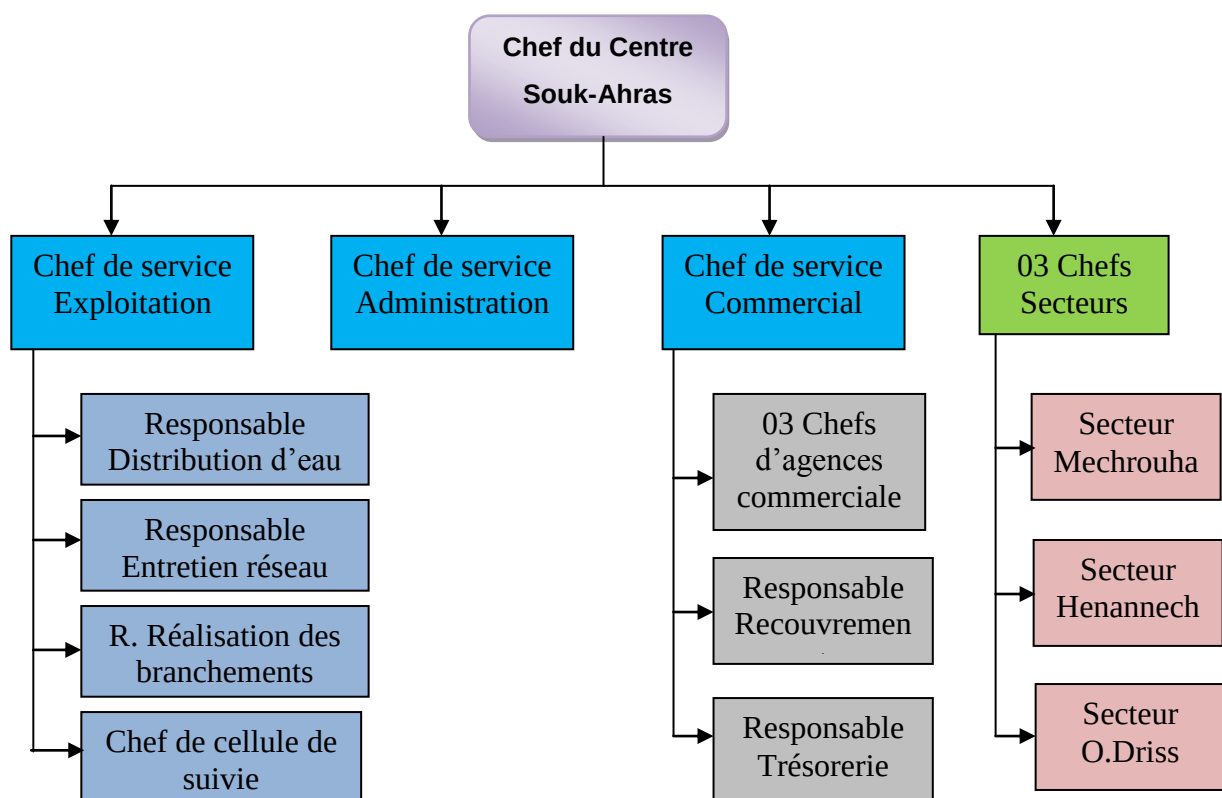


Figure. 4.3. L'organigramme du centre ADE de Souk-Ahras (source : ADE, 2022)

4.3. Le réseau d'AEP de la ville de Souk-Ahras

Le système d'alimentation en eau potable de la ville de Souk-Ahras peut être décrit à partir de ses 2 composantes principales, à savoir :

- **Une composante de production-adduction** dont la fonction est de produire et acheminer l'eau jusqu'aux centres de distribution. Cette composante englobe les installations de production (forages, sources, stations de traitement), les installations de pompage, les lignes d'adduction et les réservoirs de distribution, ces derniers constituant le point de départ du système de distribution.
- **Une composante de distribution** constituée par les réseaux issus des réservoirs ou de piquages en route sur les lignes d'adduction ainsi que les branchements qui desservent les usagers.

La ville de Souk-Ahras compte 9 sites de stockage pour un total de 18 réservoirs d'une capacité de stockage varie entre 400 à 5000m³, répartis sur l'ensemble du périmètre de la ville. Le Figure qui suit montre la configuration du système de distribution et son articulation avec le système d'adduction (BCEOM, 2009).

4.3.1. Le réseau de distribution d'eau

Le réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras est estimé à 220 km (BCEOM, 2009) avec plusieurs matériaux et des diamètres entre 63 – 315 (figure 4.4). La distribution est effectuée de façon intermittente sur des périodes de 3 à 6 heures, un jour sur deux et des fois un jour sur trois. L'absence de service continu n'est pas due à un manque de capacité de production mais à des débits de fuites excessifs.

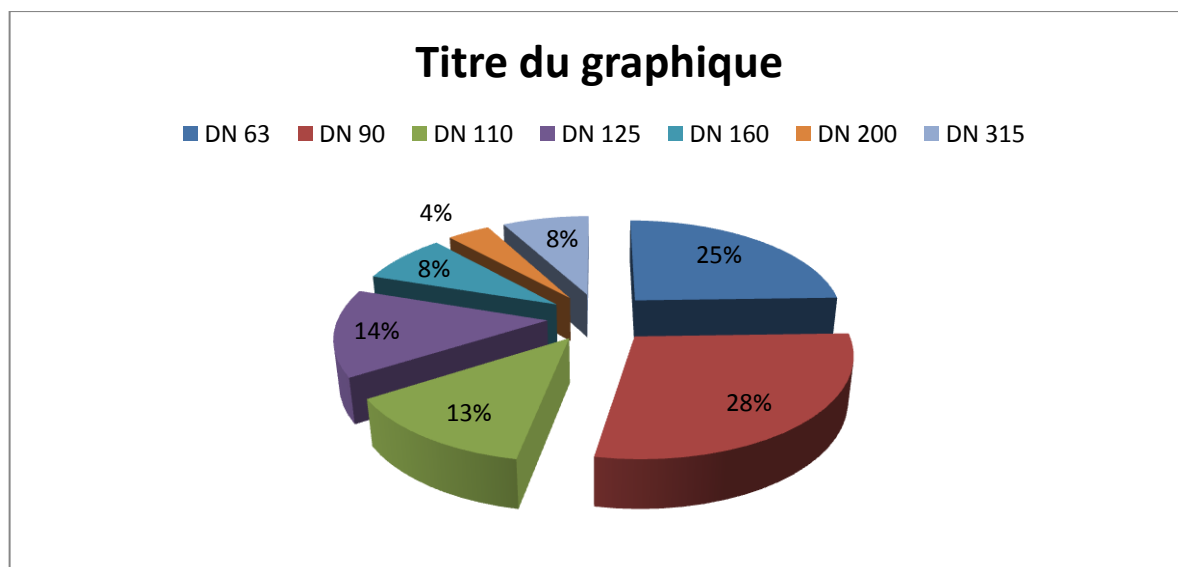


Figure 4.4. Diamètres du réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras (ADE, 2022)

4.3.2. Nombre des abonnés

Le du nombre d'abonnés de la ville de Souk-Ahras, connait une augmentation régulière (figure 4.5).

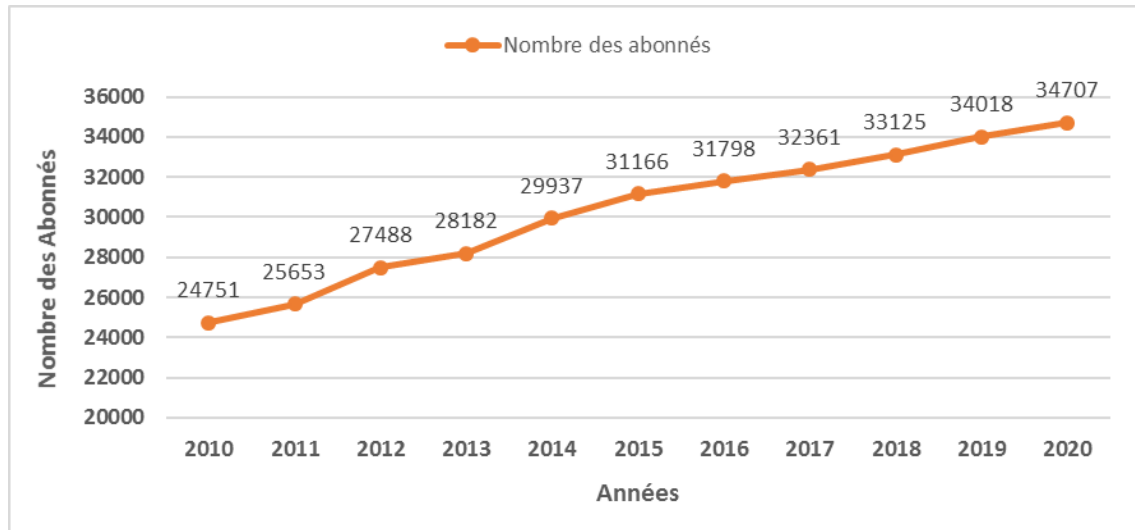


Figure 4.5. Evolution du nombre d'abonnés de la ville de Souk-Ahras (ADE, 2021)

4.3.3. Sectorisation

Elle consiste à décomposer le réseau en plusieurs sous-réseaux ou secteurs, dans lesquels les volumes mis en distribution et les volumes transités sont mesurés en permanence. De cette manière, il est possible de calculer des indicateurs caractéristiques de la performance hydraulique et des pertes par secteur.

Le réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras est desservi par 12 sites de stockage. Dans un premier temps le découpage en secteurs principaux est assez simple et correspond au nombre de sites de distribution, soit 12 secteurs principaux (BCEOM, 2009). Le réseau de Souk-Ahras est donc sectorisé comme suit : 12 secteurs de distributions, avec 48 sous-secteurs de 3 à 10 km.

Les secteurs et sous-secteurs de distribution de la ville de Souk-Ahras sont présentés dans la figure (4.6) et le tableau (4.3).

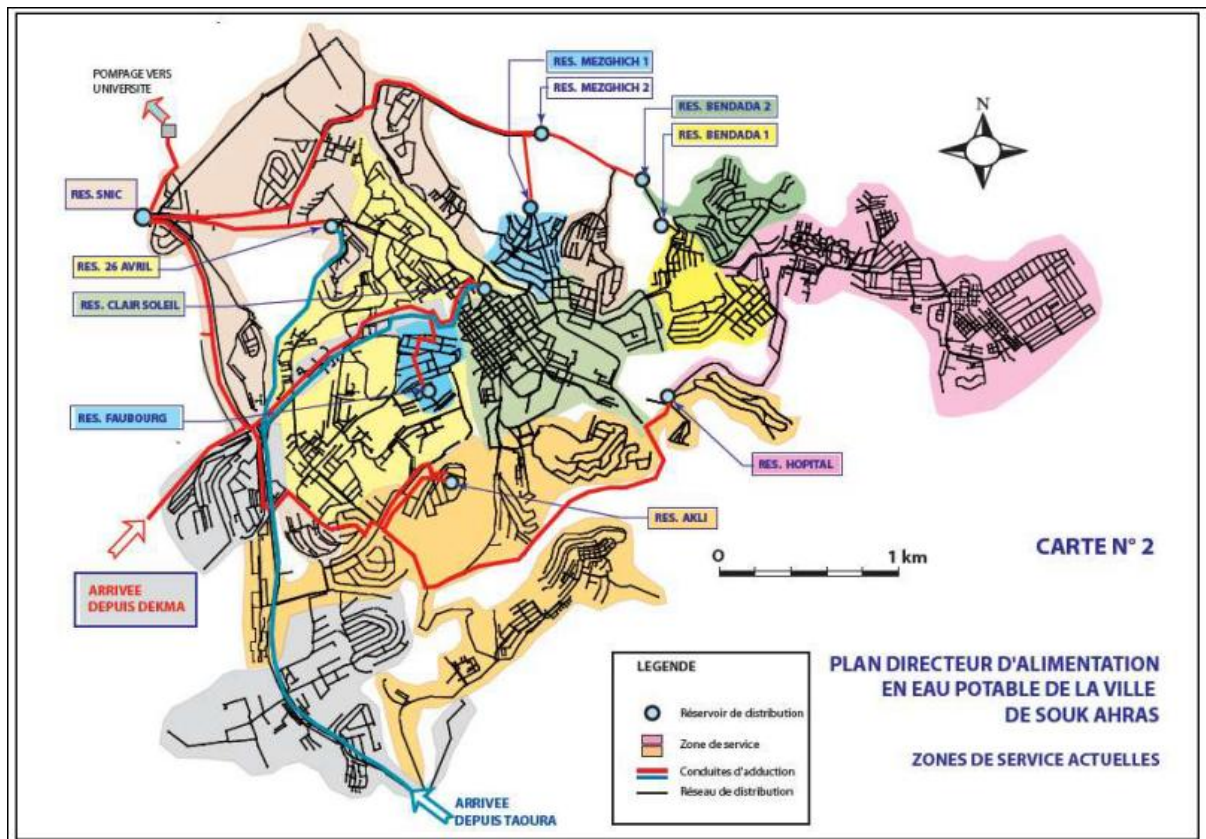


Figure 4.6. La sectorisation du réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras (BCEOM, 2009)

Tableau 4.3. Secteurs de distribution de la ville de Souk-Ahras (source : BCEOM, 2009)

N°	Secteurs	Sous-Secteurs
01	Clair Soleil	Centre-ville
		Cité Bir Yousef
		Diar Zergua 1
		Tagtaguia
02	SNIC	Baoulou I et Baoulou II
		Cité 26 avril - Cité 200 Logements LSP - Cité 36 LSP
		Cité Elatex - Zone Industrielle - Bâtiment ENAP
		Cité 418 Logements - Cité 40 Logements - Cité 30 Logements
		Lotissement DjenaneToufah - Cités CNL : 300 et 160 Logements
03	AKLI	Terrain AKLI - Lotissement ZHUN I et II
		Lotissement Camp d'Aviation
		Cité Rebahi Nouar - Lotissement 23 villas
		Lotissement Douja – Badji Moukhtar
		Ibn Roched – Lotissement les Amandiers
04	Hôpital régional	Cité 380 Logements - Cité 80 Logements Social
		Cité 680 Logements - Cité 220 Logements - Cité 252 Logements
		Hamma Loulou – Ouled Bechih – Ain Grima
		Lotissement Sidi Messaoud I et II et III
05	Faubourg	Faubourg Supérieur et Inférieur
		Lotissement château d'eau
06	26 Avril	Cité 1700 Logements (Zone I, II, III, IV, V) - Bâtiment CNEP
		Route d'Annaba et Route des fermes - Bâtiment Clair Soleil
		Lotissement 26 avril - Rue A/R ben Salem - Rue Hrireche A/L
		Cité Kouicem Abdelhak
07	MEZGHICHE 1	Cité Président Wilson - Patrice Lumumba - Route des Jardins
08	MEZGHICHE 2	Terrain Ghaloussi I et II - Cité Oualaa - Cité FNPOS Ghaloussi
		Cité 50 Logements Ghaloussi - Cité 300 Logements Ghaloussi
09	BENDADA 1 et 2	Cité Bendada I et II - Lotissement Diar Zergua II et III
		Cité Champ de Tir - Cité 17 Octobre - Ainouadallah social
		Barral Salah
10	PK 108	Cité Echahid
		Cité 400 Logements
		Abattoir communal
		Cité 120 logements Skanska - Cité 100/ 350 logements Skanska
		Route de Tebessa - Bâtiments Zaarouria
		Lotissement Latifi
		Lotissement Zac
11	Université	Résidences Universitaires – Cité 456/2200 logements
		Cité 160 Logements L.S.P Pos 08 - Cité 80 Logements L.S.P Pos 08 - Cité100 Logements L.S.P Pos 08
		Cité 84 logements Ftouma Souda - Cité 60 logements Ftouma Souda - Cité 72 logements L.S.P Pos 08 AL
		Cité 700 Logements Pos 08
		Cité 275/1500 Logements Pos 08

4.4. Taux de fuites dans le Système d'AEP

4.4.1. Fuites enregistrées et réparées sur les réseaux d'adduction

Les services d'exploitation de l'unité ADE de Souk-Ahras, interviennent presque tous les jours sur les deux lignes d'adduction (Nappe de Taoura – SNIC et Ain Dalia – SNIC) pour réparer les fuites sur ces réseaux (photos 4.1 et 4.2).



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)

Entre 2010 à 2020 le nombre de fuites enregistrées et réparées sur le réseau d'adduction est diminué après la réhabilitation de la conduite d'adduction entre les réservoirs de la ville de Souk-Ahras et une partie de la conduite d'adduction de la nappe de Taoura et la station Ain Dalia (figure 4.7).

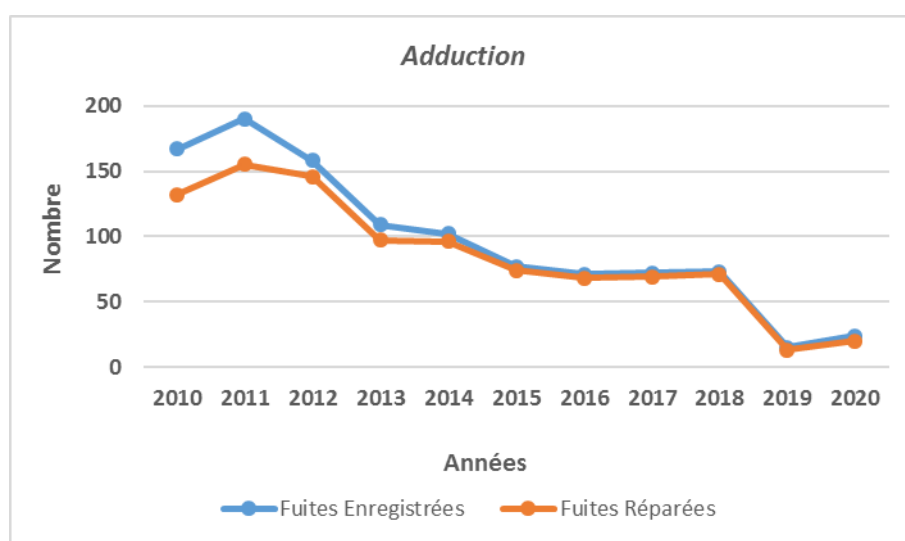


Figure 4.7. Le nombre de fuites enregistrées et réparées sur le réseau d'adduction

4.4.2. Fuites enregistrées et réparées sur les réseaux de distribution

Malgré les projets de réhabilitation de plusieurs kilomètres de conduites de distribution, mais le taux de pertes est toujours élevé (photo 4.3 et figure 4.8).



Photo 4.3. Fuite d'eau sur réseau de distribution

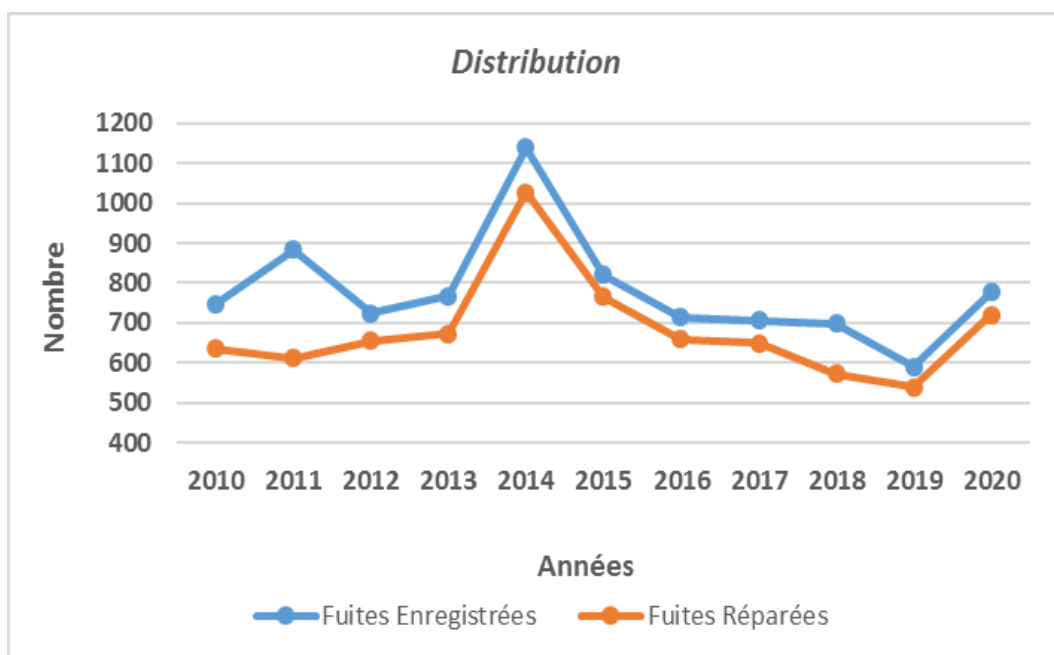


Figure 4.8. Le nombre de fuites enregistrées et réparées sur le réseau de distribution (ADE, 2021)

D'après la figure 4.8, le nombre de fuites réparées est resté toujours élevé malgré la réhabilitation de presque 70% du réseau de distribution de la ville de Souk-Ahras.

4.4.3. Fuites enregistrées et réparées sur les branchements

Même chose pour les fuites dans les branchements, le taux de fuites réparées et le taux des fuites enregistrées sont élevés sur les branchements individuels (figure 4.9).

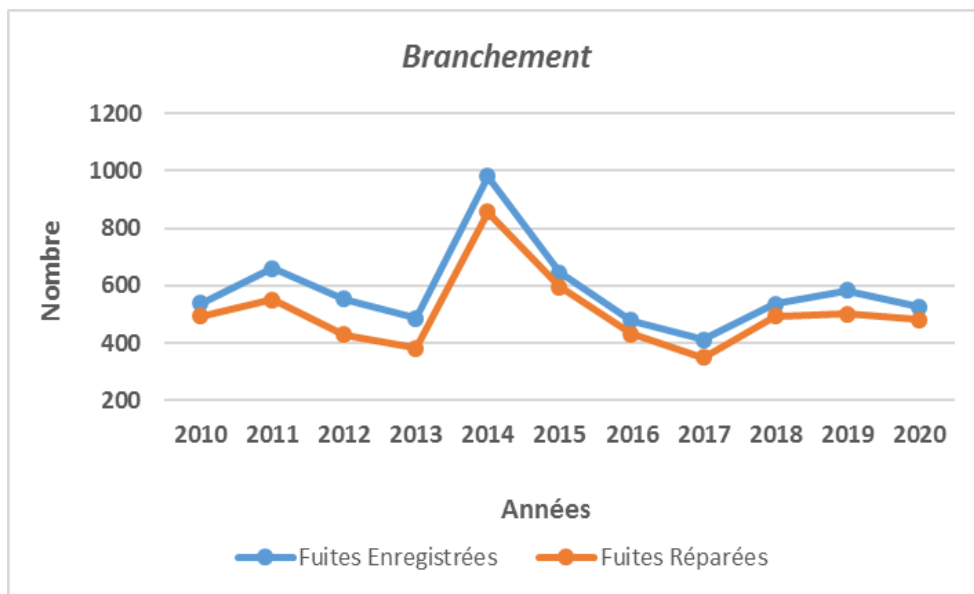


Figure 4.9. Le nombre de fuites enregistrées et réparées sur les branchements

Pour le cas des fuites réparées par les services d'entretien de l'ADE de Souk-Ahras entre les années 2010 – 2020 (figures 4.10 et 4.11), nous avons remarqué une forte augmentation pour l'année 2014. Cette augmentation est due aux travaux de réhabilitation parce que lors de pose de nouvelles conduites, à plusieurs reprises, les ouvriers touchent et cassent les anciennes conduites.

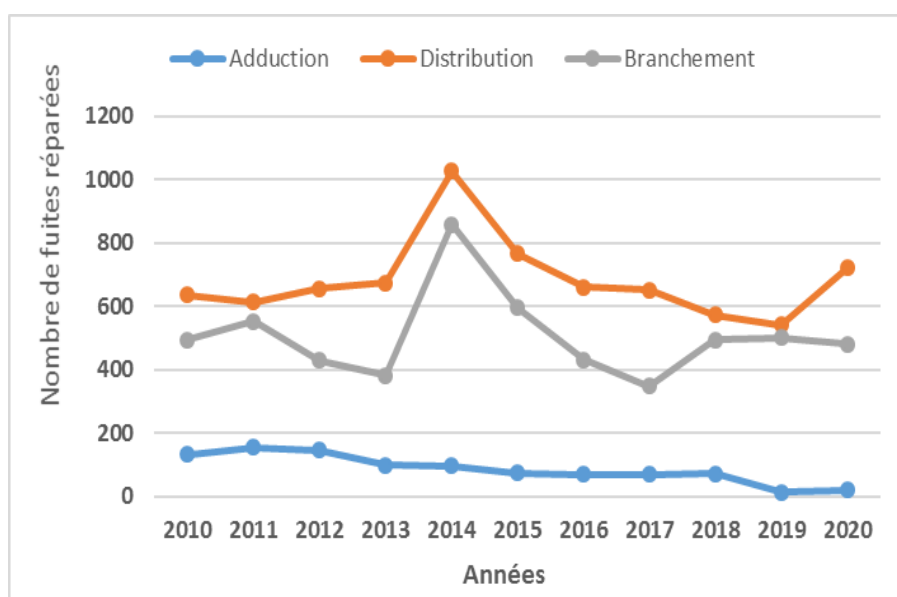


Figure 4.10. Le nombre de fuites réparées entre 2010 – 2020

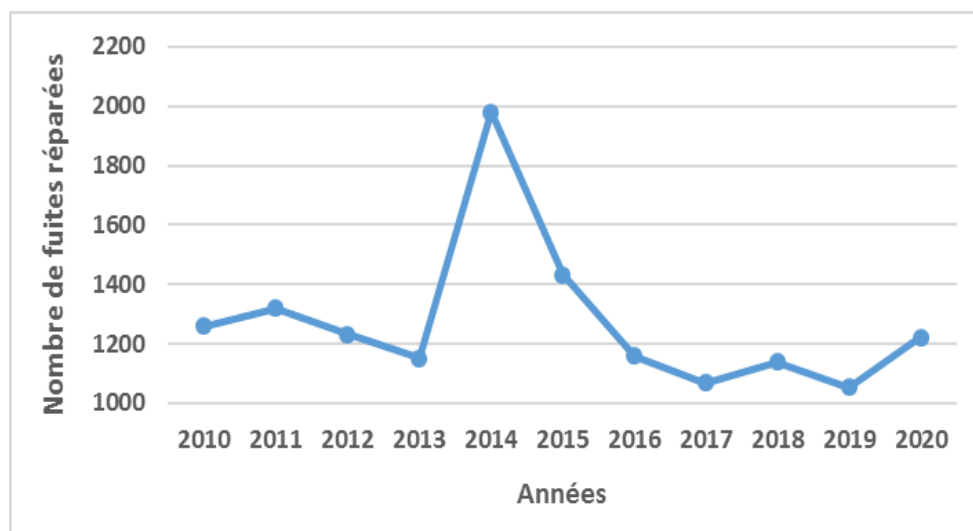


Figure 4.11. Cumule de nombre de fuites réparées entre 2010 – 2020

4.5. Volume d'eau non facturée

Pour calculer le volume des pertes en eau dans le système d'AEP, il faut d'abord analyser les trois volumes : Produit, Distribué et Facturé (figure 4.12).

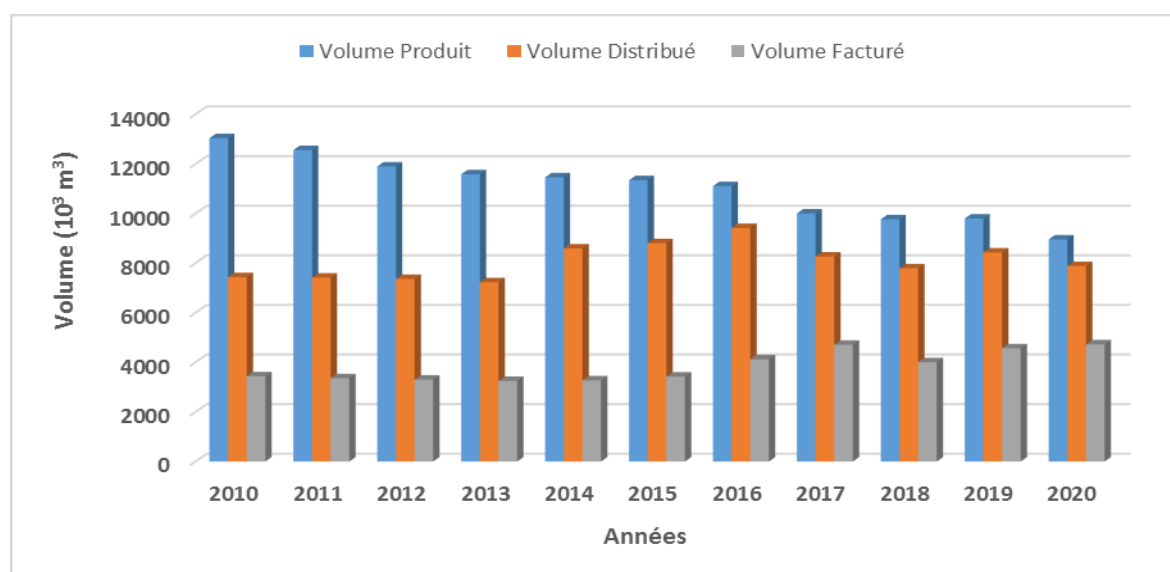


Figure 4.12. La différence entre les volumes pour les années 2010 – 2020

La figure 4.12 illustre qu'il y a une diminution des volumes produits pour les deux années 2017 et 2018 à cause du manque de la précipitation durant cette période, ce qui a introduit à une diminution pour le volume mise en distribution et le volume facturé. Ensuite, une autre analyse est effectuée en calculant les trois rendements suivants (figure 4.13).

$$R1 = \text{Volume Distribué} / \text{Volume Produit}$$

$$R2 = \text{Volume Facturé} / \text{Volume Distribué}$$

$$R3 = \text{Volume Facturé} / \text{Volume Produit}$$

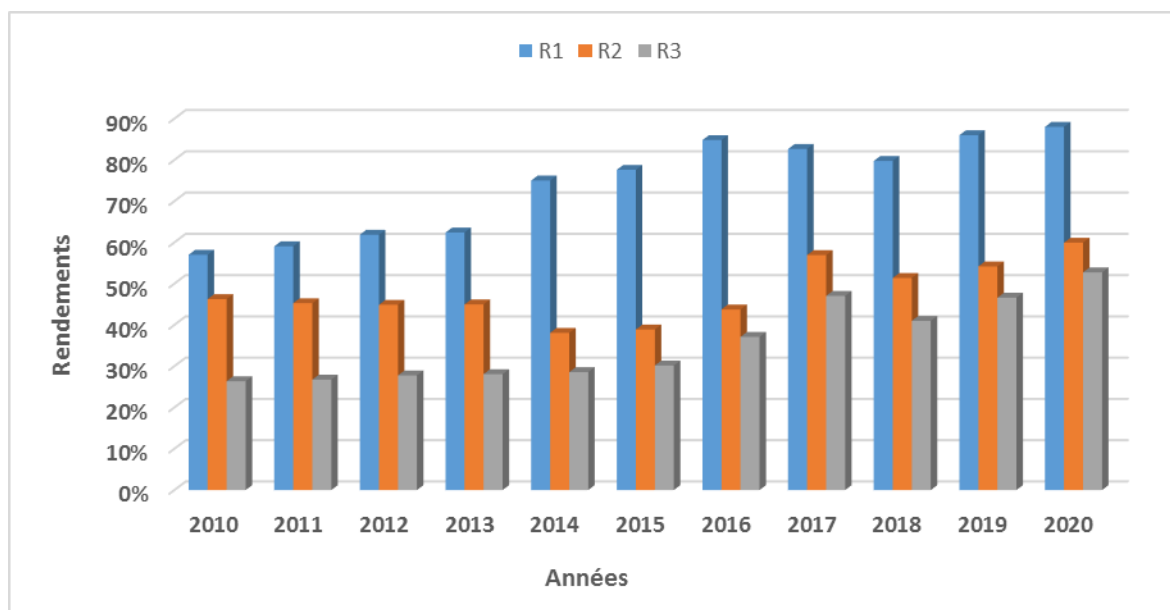


Figure 4.13. La différence entre les rendements pour les années 2010 – 2020

4.6. Secteur 26 Avril

Le secteur 26 Avril se situe dans la partie Nord - Nord Est de la ville de Souk-Ahras (Figure 4.14). Le site de 26 Avril héberge deux réservoirs ainsi qu'une station de reprise servant à acheminer l'eau des forages de Taoura arrivant par refoulement depuis la station PK108 en cas de défaillance du barrage. En exploitation normale, les réservoirs de 26 Avril sont alimentés par gravité depuis SNIC.

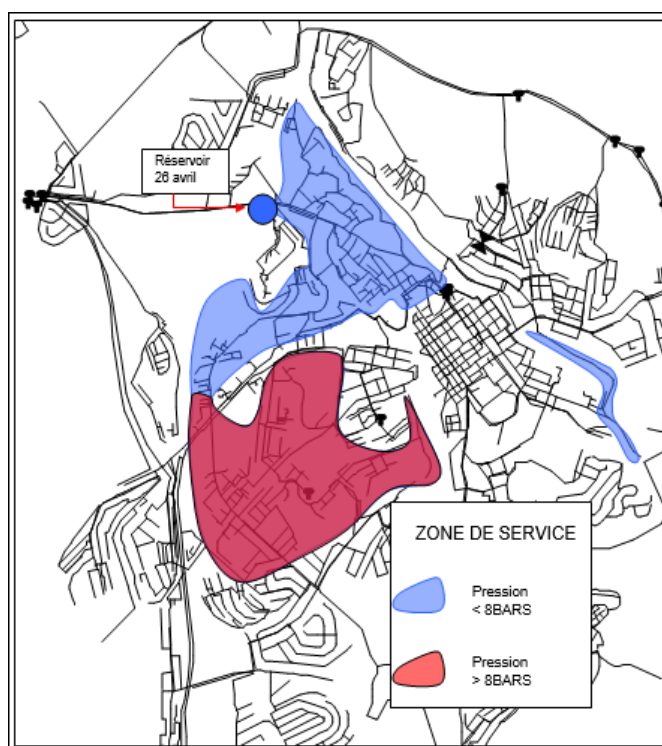


Figure 4.14. Localisation du secteur 26 Avril (BCEOM, 2009)

Le réseau de la distribution issue de ce secteur compte environ 20805 ml, comportant toutes les canalisations dont le diamètre est supérieur à DN 40 (ADE, 2021). Le secteur 26 Avril est décomposé en quatre sous-secteurs (tableau 4.4).

Tableau 4.4. Secteurs de distribution 26 Avril (source : BCEOM, 2009)					
N°	Sous-secteur	Linéaire (m)	Nombre abonnés	Volume distribué (m ³ /mois)	Fréquence de distribution
1	Cité 1700 Logements (Zone I, II, III, IV, V)	5875	1073	126394	Un jour sur deux
	Logt coté CNAS		109		
	Cité 64 logements		64		
	Cité 440 Logements		208		
	Cité 161 Logements		161		
	Cité Behidji Mansour		230		
	Bâtiment CNEP		382		
2	Route d'Annaba et Route des fermes Bâtiment clair soleil	5330	692 40	26668	Un jour sur deux
3	Lotissement 26 avril Rue A/Rahmene ben Salem Rue Hrireche A/Latif Cité Syporex	5010	144 514 607 30	140745	Un jour sur deux
4	Cité Kouicem abdelhak	4590	1556	114356	Un jour sur deux

Le sous-secteur 1700 logements se situe dans la zone de service du secteur 26 Avril (Figure 4.15).

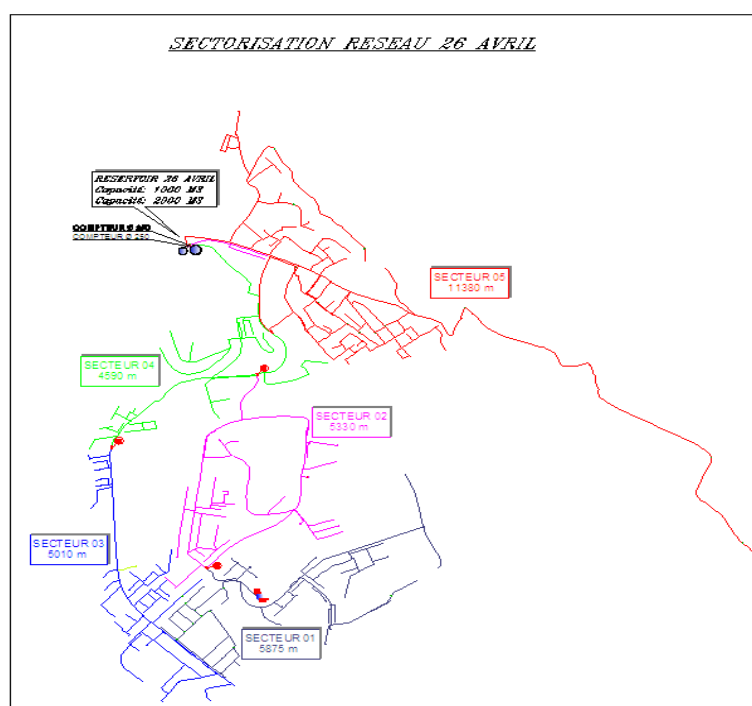


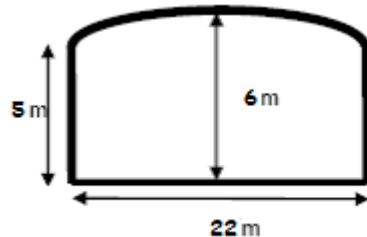
Figure 4.15. Plan de sectorisation du secteur 26 avril. (BCEOM, 2009)

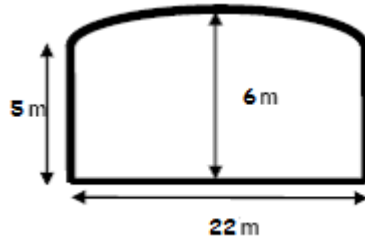
4.7. Réservoir 26 Avril

Le secteur 26 Avril 1956 est alimenté par 2 réservoirs de capacité globale de $2000\text{m}^3 + 1000\text{m}^3$ (Photo 4.4 ; tableau 4.5). Il est destiné à alimenter tous les quartiers (sous-secteurs) du secteur 26 Avril.



Photo 4.4. Réservoir 26 Avril (BCEOM, 2009)

Tableau 4.5. Fiche technique réservoirs 26 Avril				
Réservoirs 26 Avril			Localisation : Nord-Ouest	
				
Caractéristiques				
Capacité (m ³)	Type de cuve	Cote radié	Cote de trop plein	Année de construction
1000 2000	Cuves circulaires (semi-enterré)	767,32	772,4	1979

(suite) Tableau 4.5. Fiche technique réservoirs 26 Avril				
Réservoirs 26 Avril			Localisation : Nord-Ouest	
				
Voie d'accès	Clôture	Gardien	Etat de propreté	Grilles d'aération
oui	Bon état	oui	Mauvaise état	Bon état
Fonctionnement				
Origine de l'alimentation		Mode d'alimentation		Comptage
Réservoir SNIC		Gravitaire		non
PK 108		refoulement		

4.8. La cité 1700 logements

La Figure (4.16) présente la localisation de la Cité 1700 logements.



Figure 4.16. Localisation de la cité 1700 logements (Google Earth, 2022)

4.8.1.1. Réseau d'Adduction

Le site Hôpital héberge deux réservoirs qui sont alimentés par le stockage de SNIC (Figure 4.17). Le réseau d'adduction (Tableau 4.6)

Tableau 4.6. Réseau d'adduction du Secteur 26 Avril (source : ADE, 2021)			
Ligne d'adduction	Types de Matériaux	Diamètre (mm)	Longueur (m)
Réservoir SNIC - Réservoir 26 Avril	Amiante de ciment	300	1163,8
	Fonte	500	3348,93
	Acier	400	39,41
	Acier	500	98,21

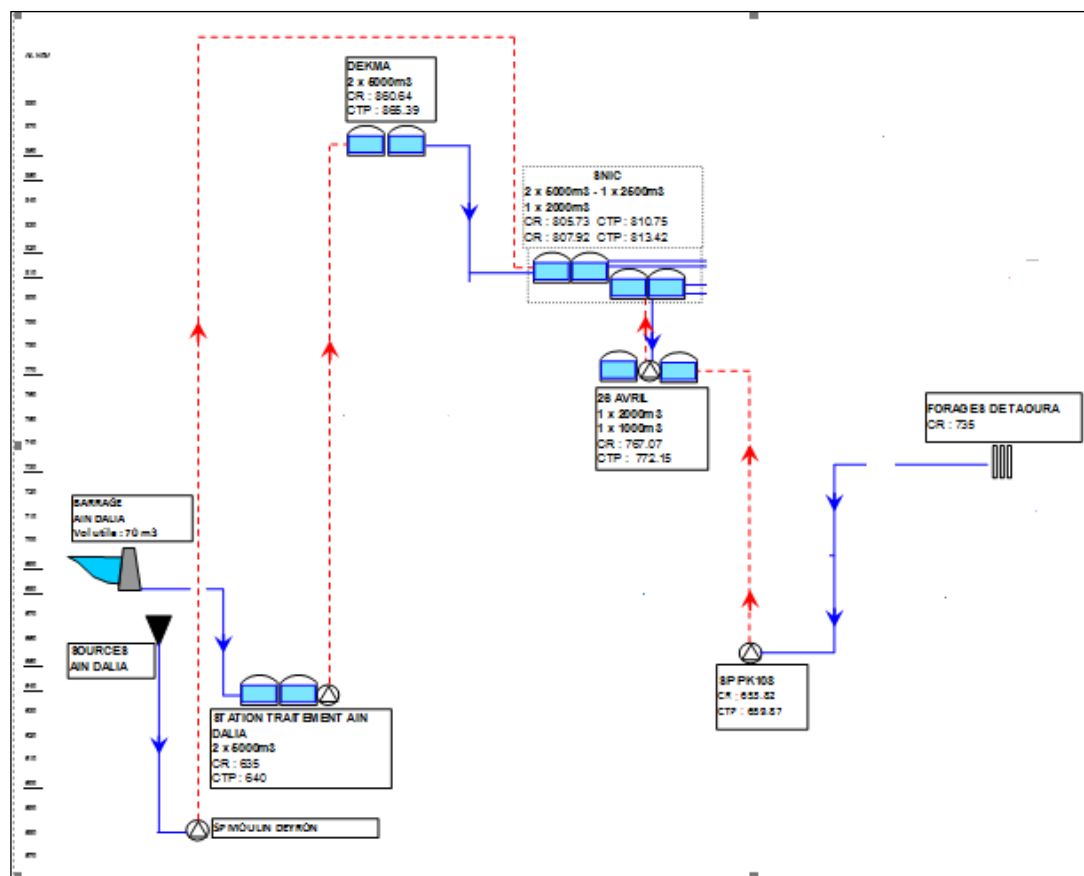


Figure 4.17. Ligne d'adduction Réservoir 26 Avril (BCEOM, 2009)

4.8.1.2. Réseau de distribution

Le réseau de distribution dessert environ 2510 abonnés (ADE, 2022). Avant le projet de la réhabilitation du réseau de distribution d'eau potable de ce quartier en 2012, le réseau a été constitué intégralement de PVC. Ces conduites ont été changées par des canalisations en

PEHD (Tableau 4.7). Le réseau de distribution du quartier 1700 logements à une longueur de 12860 m, il comprend 90 canalisation de différents matériaux et diamètres.

Le tableau ci-dessous décrit les mètres des différents diamètres et par matériaux.

Tableau 4.7. Différents diamètres du réseau de distribution de la cité 1700 logements (ADE, 2021)

Tableau 4.7: Longueur par matériaux et par diamètres						
Diamètres	Matériaux					Pourcentage
	PVC	PEHD	ACIER	FONTES	TOTAL	
300	-	-	2330	-	2330	19,39
250	100	-	-	-	100	0,68
200	0	1290	-	-	1290	8,93
160	0	587	-	-	587	4,07
110	2620	171	-	-	2791	25
90	755	481	100	-	1336	6,65
63	1623	2054	0	-	3677	24,86
40	0	614	135	-	749	0,44
TOTAL	5098	5197	2565	-	12860	
Pourcentage	60,12	9,34	29,3	-	100	

4.8.1.3. Fuites sur le réseau de distribution

Avant le programme de la réhabilitation, le réseau de distribution d'eau de la Cité 1700 logements a subi plusieurs interventions des équipes d'entretien de l'ADE pour réparer les fuites (photo 4.5).

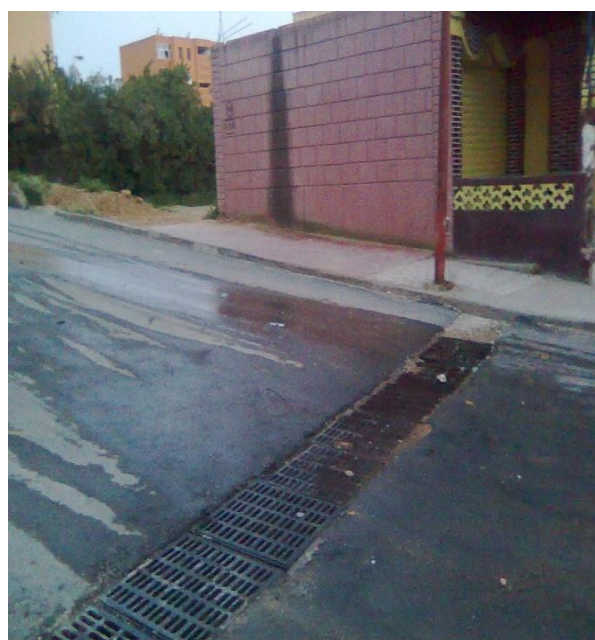




Photo 4.5. Fuites d'eau sur la conduite de distribution de la Cité 1700 logements

4.9. Conclusion

Les conditions diverses du réseau sont très favorable au développement et la mise en valeur d'un système d'aide à la décision pour la gestion du réseau et sa réhabilitation. C'est ainsi qu'une base importante a été assemblée et qui sera utilisé dans le développement et la validation de notre étude.

Chapitre 5

Résultats et discussions

Chapitre 5

Résultats et discussions

5.1. Introduction

Ce chapitre illustre le processus d'application de la méthodologie AHP concernant le problème de prise de décision pour la planification de la réhabilitation des réseaux de distribution d'eau potable pour le cas de la ville de Souk-Ahras (Algérie). Ensuite, les résultats relatifs à la comparaison par paires pour les éléments des trois niveaux sont présentés. Finalement, un programme de réhabilitation (niveau d'urgence) a été appliqué pour le cas de la cité 1700 logements (ville de Souk-Ahras) pour tester la performance de cet outil d'aide à la décision.

5.2. Application de la méthode AHP

5.2.1. Sélection des éléments d'évaluation

La méthode AHP commence par l'identification de la problématique et l'objectif du projet. Dans notre cas, l'objectif principal est de classer les indicateurs qui ont une grande influence sur la planification de la réhabilitation des réseaux de distribution d'eau potable. Ensuite, les éléments sont sélectionnés par les décideurs, gestionnaires des Services d'Eau Potable (SEP) et des experts. En conclusion, trois critères de décision (physique, fonctionnement, et environnement de la canalisation), dix-sept sous-critères d'évaluation, ainsi que, cinquante-six indicateurs ont pris en charge pour la prise de décision de la planification de la réhabilitation des Réseaux de Distribution d'Eau (RDE). Le choix des critères et des sous-critères est déjà démontré dans le chapitre 3 (Tableau 5.1).

Tableau 5.1. Choix des critères et sous-critères d'évaluation

Critères	Sous-critères	Symboles
Physique	Diamètres (mm)	I.1.1
	Types de Matériaux	I.1.2
	Longueur (m)	I.1.3
	L'âge de la canalisation (ans)	I.1.4
	Protection anti corrosive	I.1.5
	Joints	I.1.6
Fonctionnement	Pression (bars)	I.2.1
	Vitesse (l/s)	I.2.2
	Défaillances	I.2.3
	Qualité de l'eau potable	I.2.4
	Entretien de réseau	I.2.5
Environnement de la canalisation	Types de Sol	I.3.1
	Lit de pose (cm)	I.3.2
	Nappe phréatique	I.3.3
	Profondeur de la canalisation	I.3.4
	Trafic	I.3.5
	Gênes à cause d'autres réseaux	I.3.6

5.2.2. Elaboration de la structure hiérarchique

La structure hiérarchique permet d'identifier la contribution de chaque élément à la décision finale. Dans le cas de cette étude, quatre niveaux sont pris en compte dans le processus AHP : le premier niveau est consacré pour l'objectif d'évaluation, par contre, les trois autres niveaux sont attribués aux trois éléments (Critères, Sous-critères et Indicateurs). La structure hiérarchique développée dans cet article est définie dans la Figure 5.1. Pour le niveau des critères (Cr), trois critères de décision sont pris en compte : (Cr_1) physique, (Cr_2) fonctionnement et (Cr_3) environnement de la canalisation. Au niveau des sous-critères, au total 17 sous-critères (SC) ont été appliqués pour l'évaluation des critères du niveau supérieur, six sous-critères SC_1 - SC_6 ont été sélectionnés respectivement pour le critère Cr_1 , cinq sous-critères SC_7 - SC_{11} ont été choisis pour le critère Cr_2 et six sous-critères SC_{12} - SC_{17} ont été favorisés pour Cr_3 . Ensuite, deux à cinq Indicateurs (I) liés à chaque sous-critère sont retenus à partir de la littérature scientifique, l'expérience des experts et aux conditions locales. Par

exemple, pour le sous-critère «Types de matériaux» (SC_2), les indicateurs choisis sont : Amiante de ciment (AC) $I_{1.2.1}$, Polyvinyl Chloride (PVC) $I_{1.2.2}$, Polyéthylène haute densité (PEHD) $I_{1.2.3}$, Acier $I_{1.2.4}$, et Fonte $I_{1.2.5}$ respectivement.

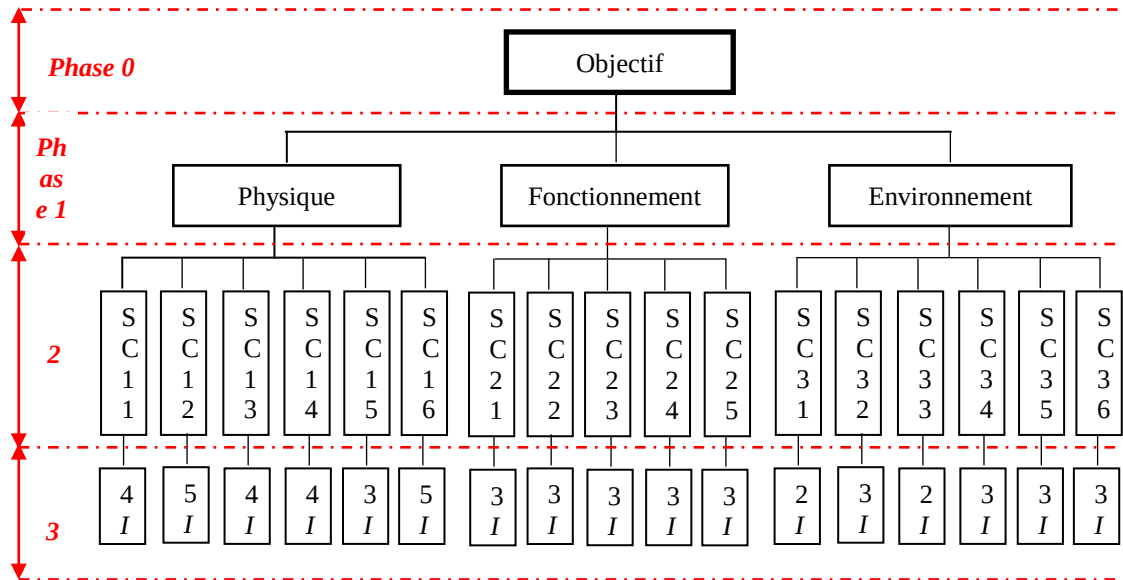


Figure 5.1. Représentation graphique de la structure hiérarchique proposée

5.2.3. Etablissement de la matrice de décision

Pour établir la matrice de décision, vingt-quatre experts (huit chercheurs universitaires qui ont publiés des articles scientifiques dans le domaine de la gestion de l'eau, huit décideurs de la direction des ressources en eau et huit gestionnaires des SEP de l'unité ADE de Souk-Ahras) ont été sélectionnés pour effectuer le jugement (comparaison par paire) selon l'échelle de comparaison de Saaty. Ces experts sont étaient choisis selon leurs expériences professionnelles et scientifiques (ils ont une vaste connaissance dans la gestion des RDE). A cet effet, les matrices de décision ont été développées pour les trois niveaux :

- La matrice **M1** représente l'évaluation des trois Critères de décision ;
- Les trois matrices **M2.1–M2.3** représentent les 17 Sous-critères d'évaluation ;
- Les matrices **M3.1–M3.17** représentent la performance des 56 Indicateurs.

Après avoir établi les matrices de décision, l'AHP sera appliquée pour calculer les poids relatifs à chaque niveau, et la cohérence des résultats sera vérifiée.

5.2.3.1 Comparaison par paire des critères

Pour effectuer les comparaisons par paire pour les trois critères, les résultats de jugements des 18 experts ont été répertoriés dans une seule matrice de décision [M1].

Ces experts ont été choisis en fonction de leurs expériences et de leurs contributions scientifiques. En outre, les 18 experts ont été sélectionnés pour couvrir différents profils :

- 6 décideurs (des responsables de la direction des ressources en eau),
- 6 gestionnaires de SEP (des responsable de l'ADE),
- 6 scientifiques (enseignants chercheurs).

Chaque expert fait son jugement en utilisant l'échelle de Saaty et délivre sa propre matrice de comparaison par paires (Tableau 5.2). Ensuite, le processus de l' AHP est appliqué pour cette matrice.

Tableau 5.2. Exemple d'un questionnaire pour les experts

		Objectif global																	
		☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Physique (Cr1)		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Fonctionnement (Cr2)
		☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Physique (Cr1)		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Environnement de la conduite (Cr3)
		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	
Fonctionnement (Cr2)		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Environnement de la conduite (Cr3)

$$M1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 5 \\ 2 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

Calcul du vecteur de priorité

- Calculer la somme de chaque colonne de la matrice [M1]

	Cr ₁	Cr ₂	Cr ₃
Cr ₁	1	0,50	5
Cr ₂	2,00	1	5
Cr ₃	0,20	0,2	1
Somme	3,20	1,7	11

- Diviser chaque élément de la matrice [M1] par le total de la colonne, et on obtiendra la matrice normalisée [B1]

$$B1 = \begin{bmatrix} 0,3125 & 0,2941 & 0,4545 \\ 0,6250 & 0,5882 & 0,4545 \\ 0,0625 & 0,1176 & 0,0909 \end{bmatrix}$$

- Calculer la moyenne de chaque ligne de la matrice [B1] pour avoir le vecteur du poids relatif {w₁}

$$w_1 = \begin{bmatrix} 0,354 \\ 0,556 \\ 0,090 \end{bmatrix}$$

La somme : $0,354 + 0,556 + 0,090 = 1,000$ (vérifiée)

Vérification du Ratio de Cohérence (CR)

- Calculer la valeur propre $\lambda_{\max}$

Pour calculer la valeur propre $\lambda_{\max}$, il faut d'abord calculer le vecteur $\{C\}$. Il est calculé à partir de l'équation 4 :

$$\{C\} = [M1] \times \{w_1\} \quad (\text{équation 4})$$

$$\{C\} = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 5 \\ 2 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,354 \\ 0,556 \\ 0,090 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,083 \\ 1,715 \\ 0,272 \end{bmatrix}$$

Ensuite, le calcul du vecteur propre $\{\lambda\}$ est effectué par l'équation 5 :

$$\{\lambda\} = \{C\} / \{w_1\} \quad (\text{équation 5})$$

$$\{\lambda\} = \begin{bmatrix} 1,083 \\ 1,715 \\ 0,272 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0,354 \\ 0,556 \\ 0,090 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,06 \\ 3,09 \\ 3,01 \end{bmatrix}$$

$\lambda_{\max}$ est la grande valeur du vecteur $\{\lambda\}$

$$\lambda_{\max} = 3,09$$

- Déterminer la valeur de l'Indice de Cohérence Aléatoire (RI)

D'après le tableau de RI, pour $n = 3 \rightarrow RI = 0,58$

- Calculer l'Indice de Cohérence (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0,045$$

- Calculer CR

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0,776$$

- Vérifier CR

La valeur de CR pour cette matrice est de 0,776 (7,76%), elle est inférieure à 10 %. Donc, la matrice est considérée comme cohérente.

Les résultats du calcul des poids relatifs de la matrice des critères $[M1]$ sont illustrés dans la figure 5.2, le critère « Fonctionnement » joue le rôle le plus important avec un poids relatif de

55,6% suivi du critère « Physique » (35,4%), et le critère « Environnement de la conduite » (9,0%).

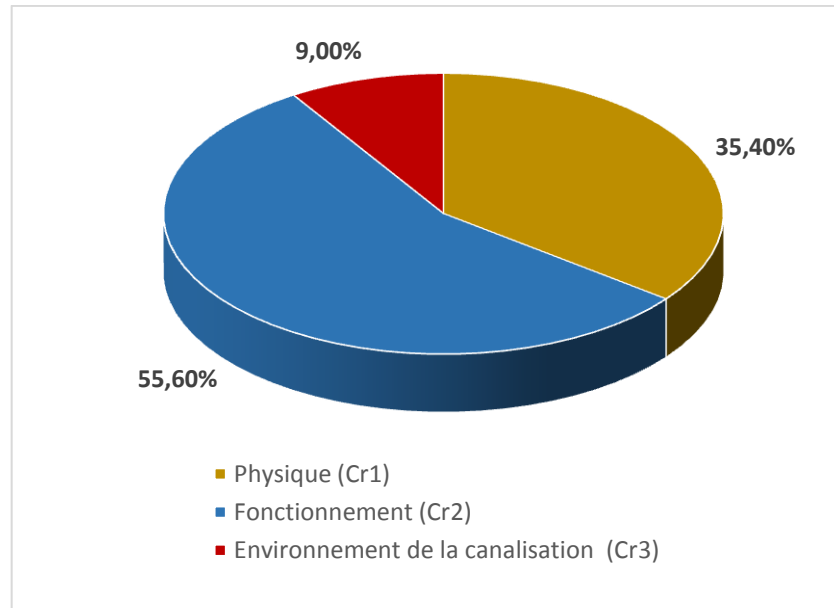


Figure 5.2. Attribution de poids relatifs au niveau des critères.

5.2.3.2 Comparaison par paire des Sous-Critères

Le processus de comparaison par paire des matrices des Sous-Critères ([M2.1], [M2.2] et [M2.3]) est effectué de la même manière que celui de la comparaison par paire de la matrice des critères [M1]. [M2.1], [M2.2] et [M2.3] représentent les trois matrices de comparaison par paires pour l'ensemble des 17 sous-critères. La vérification de la cohérence est réalisée de la même manière que pour la matrice de critères.

$$M2.1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 4 & 1/3 & 4 & 6 \\ 5 & 1 & 3 & 1/2 & 3 & 5 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1/4 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 4 & 1 & 5 & 9 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1/5 & 1 & 2 \\ 1/6 & 1/5 & 1/3 & 1/9 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad \{w_{2.1}\} = \begin{bmatrix} 0,182 \\ 0,265 \\ 0,089 \\ 0,367 \\ 0,062 \\ 0,035 \end{bmatrix}$$

CR = 9,84% < 10% → la cohérence est **vérifiée**

Les Sous-critères : âge de la canalisation (36,7%), types de matériaux (26,5%) et diamètres (18,2%) ont les poids relatifs les plus importants pour le critère « Physique » et le type des joints est le sous-critère le plus faible avec 3,5%.

$$M2.2 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 6 & 1/2 \\ 1 & 3 & 1 & 5 & 3 \\ 1/7 & 1/6 & 1/5 & 1 & 1/5 \\ 1/2 & 2 & 1/3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad \{w_{2.2}\} = \begin{bmatrix} 0,348 \\ 0,120 \\ 0,325 \\ 0,041 \\ 0,166 \end{bmatrix}$$

CR = 9,99% < 10% → la cohérence est vérifiée

La Pression (34,8%) et le nombre de défaillances (32,5%) sont les deux sous-critères qui ont une grande influence pour le critère « Fonctionnement ». D'après les jugements des experts et pour le cas de la ville de Souk-Ahras, le sous-critère « qualité de l'eau » n'a pas un grand effet sur le fonctionnement des RDE.

$$M2.3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 2 & 1/3 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 1 & 9 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/5 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 3 & 1 & 1/4 & 1 \\ 3 & 1 & 5 & 4 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/9 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad \{w_{2.3}\} = \begin{bmatrix} 0,185 \\ 0,265 \\ 0,074 \\ 0,099 \\ 0,319 \\ 0,058 \end{bmatrix}$$

CR = 8,83% < 10% → la cohérence est vérifiée

Les sous-critères : type de trafic (31,9%), lit de pose (26,5%) et type de sol (18,5%) jouent un rôle important pour le critère « Environnement de la canalisation ».

5.2.3.3 Comparaison par paire des indicateurs

Les poids relatifs des indicateurs sont calculés par rapport aux matrices M3.1 – M3.17. Le processus de comparaison par paires pour le cas de la couche Indicateur sont les mêmes que celui des Critère et Sous-Critères. A cet effet, les vecteurs de priorité sont calculés de la même manière que pour les autres niveaux.

$M3.1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/7 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/4 \\ 4 & 3 & 1 & 1/3 \\ 7 & 4 & 3 & 1 \end{bmatrix}$ $w_{3.1} = \begin{bmatrix} 0,062 \\ 0,134 \\ 0,259 \\ 0,545 \end{bmatrix}$	$M3.2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1/2 & 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$ $w_{3.2} = \begin{bmatrix} 0,353 \\ 0,328 \\ 0,155 \\ 0,111 \\ 0,053 \end{bmatrix}$
CR = 7,31% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 9,82% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/4 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1/3 & 1/4 \\ 4 & 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 4 & 3 & 1 \end{bmatrix}$ $w_{3.3} = \begin{bmatrix} 0,092 \\ 0,104 \\ 0,276 \\ 0,528 \end{bmatrix}$	$M3.4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 3 & 2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ $w_{3.4} = \begin{bmatrix} 0,098 \\ 0,186 \\ 0,277 \\ 0,439 \end{bmatrix}$

CR = 8,17% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 7,39% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.5 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/6 \\ 4 & 1 & 1/3 \\ 6 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.5} = \begin{bmatrix} 0,087 \\ 0,274 \\ 0,639 \end{bmatrix}$	$M3.6 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.6} = \begin{bmatrix} 0,369 \\ 0,354 \\ 0,135 \\ 0,096 \\ 0,046 \end{bmatrix}$
CR = 8,65% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 8,54% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.7 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 \\ 4 & 1 & 1/2 \\ 5 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.7} = \begin{bmatrix} 0,098 \\ 0,334 \\ 0,568 \end{bmatrix}$	$M3.8 = \begin{bmatrix} 1 & 1/6 & 1/9 \\ 6 & 1 & 1/3 \\ 9 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.8} = \begin{bmatrix} 0,060 \\ 0,282 \\ 0,658 \end{bmatrix}$
CR = 3,50% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 8,84% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.9 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/6 \\ 3 & 1 & 1/4 \\ 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.9} = \begin{bmatrix} 0,094 \\ 0,221 \\ 0,685 \end{bmatrix}$	$M3.10 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/5 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.10} = \begin{bmatrix} 0,261 \\ 0,106 \\ 0,633 \end{bmatrix}$
CR = 9,43% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 6,20% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.11 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.11} = \begin{bmatrix} 0,106 \\ 0,261 \\ 0,633 \end{bmatrix}$	$M3.12 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.12} = \begin{bmatrix} 0,333 \\ 0,667 \end{bmatrix}$
CR = 6,20% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 0% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.13 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.13} = \begin{bmatrix} 0,589 \\ 0,252 \\ 0,159 \end{bmatrix}$	$M3.14 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.14} = \begin{bmatrix} 0,750 \\ 0,250 \end{bmatrix}$
CR = 8,13% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 0% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.15 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.15} = \begin{bmatrix} 0,633 \\ 0,261 \\ 0,106 \end{bmatrix}$	$M3.16 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 4 \\ 1/7 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.16} = \begin{bmatrix} 0,656 \\ 0,265 \\ 0,079 \end{bmatrix}$
CR = 6,20% < 10% → la cohérence est vérifiée	CR = 5,37% < 10% → la cohérence est vérifiée
$M3.17 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 5 \\ 2 & 1 & 6 \\ 1/5 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} \quad w_{3.17} = \begin{bmatrix} 0,343 \\ 0,575 \\ 0,082 \end{bmatrix}$	
CR = 4,16% < 10% → la cohérence est vérifiée	

5.2.3.4 Calcul des poids globaux

Le poids global des indicateurs est calculé par la multiplication de son vecteur de priorité local par le poids local correspondant du critère et sous-critères. Les poids globaux des indicateurs sont synthétisés pour établir les priorités globales pour la sélection des indicateurs

qui ont une grande influence sur le dysfonctionnement des conduites d'eau potable. Les résultats des poids globaux des indicateurs sont illustrés dans la figure 5.3.

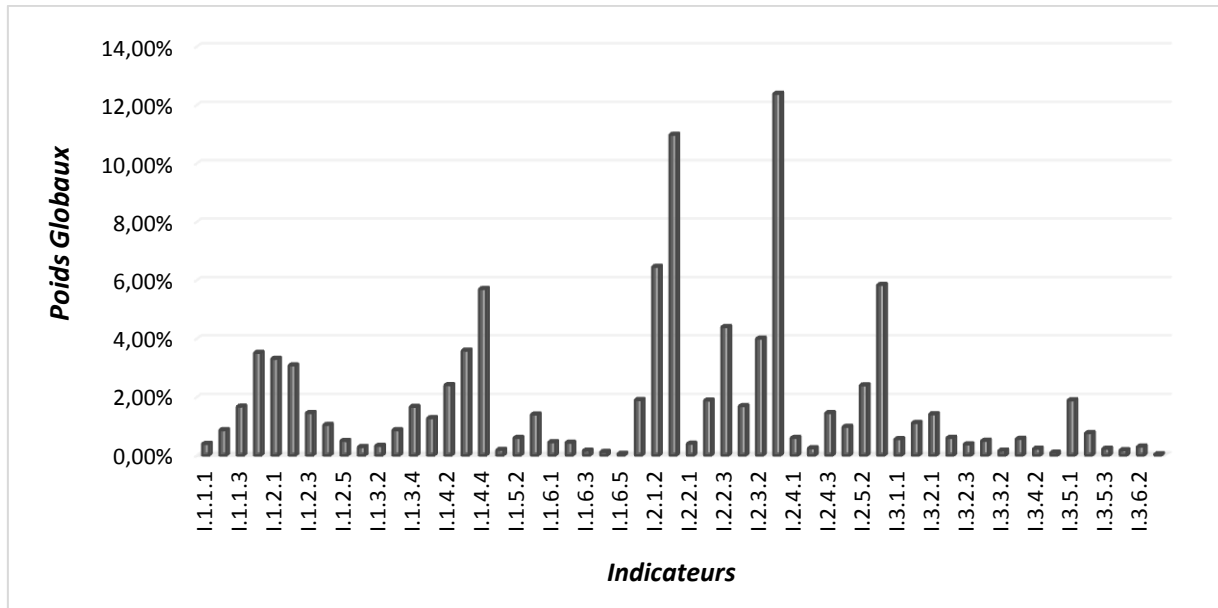


Figure 5.3. Poids globaux des indicateurs.

5.3. Calcul du niveau d'urgence

Avant de prendre une décision finale, il faut calculer le niveau d'urgence pour permettre de classer les canalisations qui vont être réhabilitées à court, moyen et long terme. Pour effectuer cette tâche, le modèle doit être appliqué sur un cas réel avec des données réelles. Le quartier 1700 logements (ville de Souk-Ahras) a été choisi suite aux nombres élevés de réparation des fuites dans les dernières années.

Le réseau de distribution du quartier 1700 logements à une longueur de 12860 m, il comprend 90 canalisation de différents matériaux (figure 5.4) et diamètres (figure 5.5).

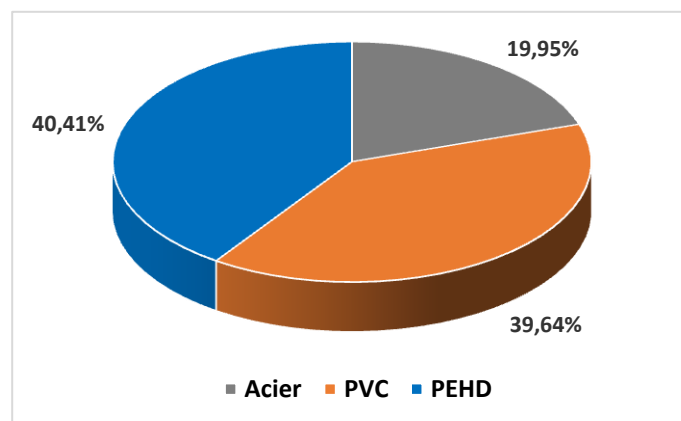


Figure 5.4. Types de Matériaux.

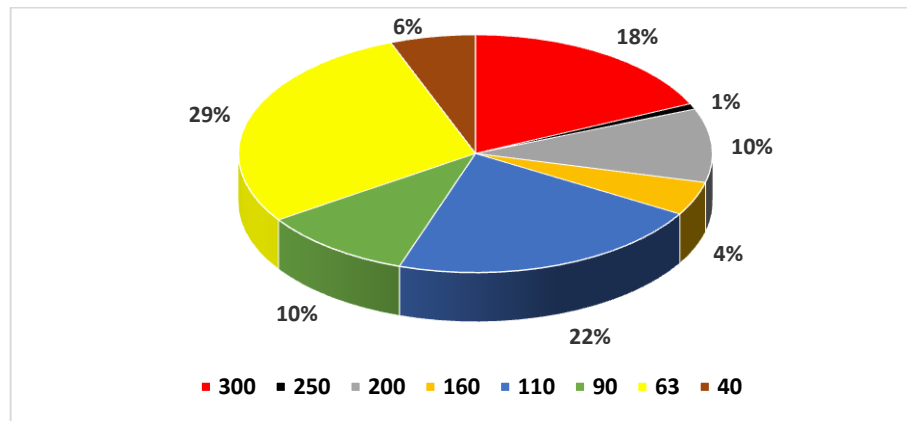


Figure 5.5. Différents diamètres des pipes.

Après avoir calculé le poids global de chaque indicateur par la méthode AHP, il est nécessaire de classer et cartographier les tronçons par ordre d'importance (ordre de priorité) pour la planification de la réhabilitation des RDE. Cependant, cette tâche permet d'avoir un tableau contenant les résultats liés à chaque conduite du réseau de notre cas d'étude en additionnant toutes les valeurs des indicateurs sélectionnés (Tableau 5.3).

Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	Profondeur	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P1	300	Acier	915	40	Non	Soudés	7	2	4	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	Absent	Absente	0,8	R. Principale	Travaux de voiries	
	0,0167	0,0105	0,0167	0,0359	0,0140	0,0006	0,1098	0,0440	0,1238	0,0024	0,0584	0,0056	0,0141	0,0017	0,0056	0,0189	0,0030	0,4816
P1.1	300	Acier	1215	40	Non	Soudés	6,9	2	6	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	Absent	Absente	0,8	R. Principale	Réparation	
	0,0167	0,0105	0,0167	0,0359	0,0140	0,0006	0,1098	0,0440	0,1238	0,0024	0,0584	0,0056	0,0141	0,0017	0,0023	0,0189	0,0004	0,4757
P1.1.1	63	PVC	180	40	Non	Collés	6,9	1	1	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Principale	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0400	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0189	0,0004	0,3601
P1.1.1.1	63	PVC	123	40	Non	Collés	6,9	1	1	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0400	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,3515
P1.1.1.2	63	PVC	54	40	Non	Collés	6,9	1	0	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0169	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,3280
P1.1.2	110	PVC	90	40	Non	Collés	6,9	1	1	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0400	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,3532
P1.1.2.1	110	PVC	132	40	Non	Collés	6,9	1	1	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0400	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,3536
P1.1.2.2	90	PVC	50	40	Non	Collés	6,9	1	0	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0169	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,3254
P1.1.2.3	63	PVC	80	40	Non	Collés	6,9	1	0	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0169	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,3280
P1.1.2.4	63	PVC	120	40	Non	Collés	6,9	1	1	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,1098	0,0188	0,0400	0,0024	0,0584	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,3515

(Suite) Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	Profondeur	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P1.1.3	110	PVC	335	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0087	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2761
P1.1.4	110	PVC	252	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2707
P1.1.5	110	PVC	177	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2740
P1.1.5.1	63	PVC	44	40	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0023	0,0076	0,0030	0,2451
P1.1.5.2	63	PVC	63	40	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,2484
P1.1.5.3	90	PVC	106	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2693
P1.1.5.4	90	PVC	100	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2693
P1.1.6	110	PVC	159	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2740
P1.1.6.1	63	PVC	78	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2689
P1.1.6.2	63	PVC	56	40	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2458

Remarque : Le reste du tableau est présenté dans l'annexe.

Ensuite, le niveau d'urgence attaché à chaque conduite a été calculé (Fig. 5.6). Les valeurs des niveaux d'urgence obtenues se varient entre 0.1261 et 0.4816. Par la suite, les canalisations ont été groupées dans quatre classes de niveaux d'urgence :

- 1^{er} niveau : niveau d'urgence $> 0,3000$
- 2^e niveau : $0,2300 < \text{niveau d'urgence} \leq 0,3000$
- 3^e niveau : $0,1500 < \text{niveau d'urgence} \leq 0,2300$
- 4^e niveau : $\text{niveau d'urgence} \leq 0,1500$

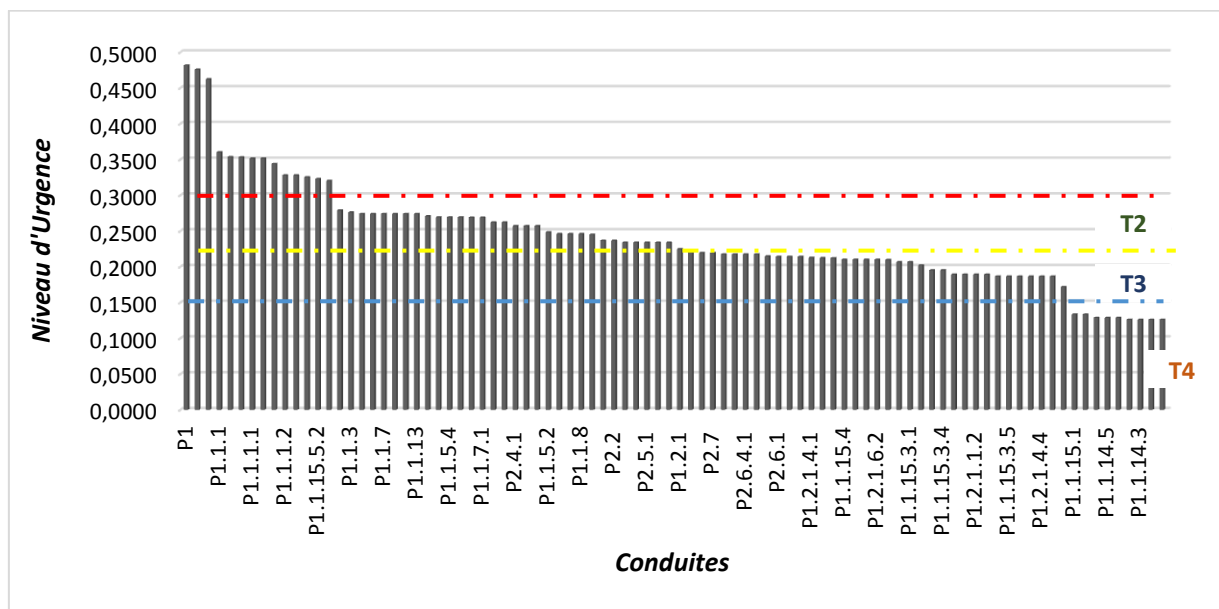


Figure 5.6. Variation du niveau d'urgence.

La phase finale est de classer les canalisations en fonction des quatre groupes de temps (par exemple, le premier niveau égal à T1), ceci va permettre de construire un programme de réhabilitation. Comme résultat de cette étape : 14 conduites nécessitent une réhabilitation avant 5 ans (T1), 31 conduites entre 5 – 10 ans (T2), 36 conduites entre 10 – 15 ans (T3) et 9 conduites après 15ans (T4). Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 5.7.

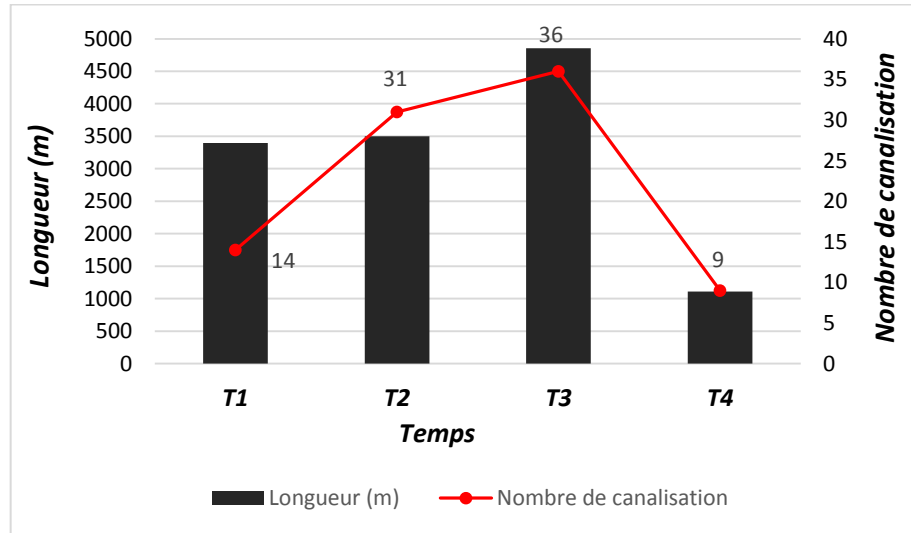


Figure 5.7. Histogramme de canalisation à réhabiliter par rapport au temps

Le schéma d'établissement du programme de réhabilitation est présenté dans la figure 5.8, avec :

- Dans la première période ($T1 \leq 5\text{ans}$) : la longueur des conduites qui doivent être changée égale à 339 m. Dans cette période, les conduites en acier vont être remplacées par la fonte et le PVC par le PEHD, et aussi, un régulateur de pression doit être installé pour diminuer la pression de ce secteur ;
- Deuxième période ($5 < T2 \leq 10\text{ans}$) : dans cette période, 3501m de conduite en PVC vont changer en PEHD ;
- Troisième période ($10 < T3 \leq 15\text{ans}$) : dans la troisième étape, 4854m de conduite auront l'objectif d'une réhabilitation ;
- Quatrième période ($T4 > 15\text{ans}$) : dans la dernière phase, 1111m de conduite auront l'objectif d'une réhabilitation.

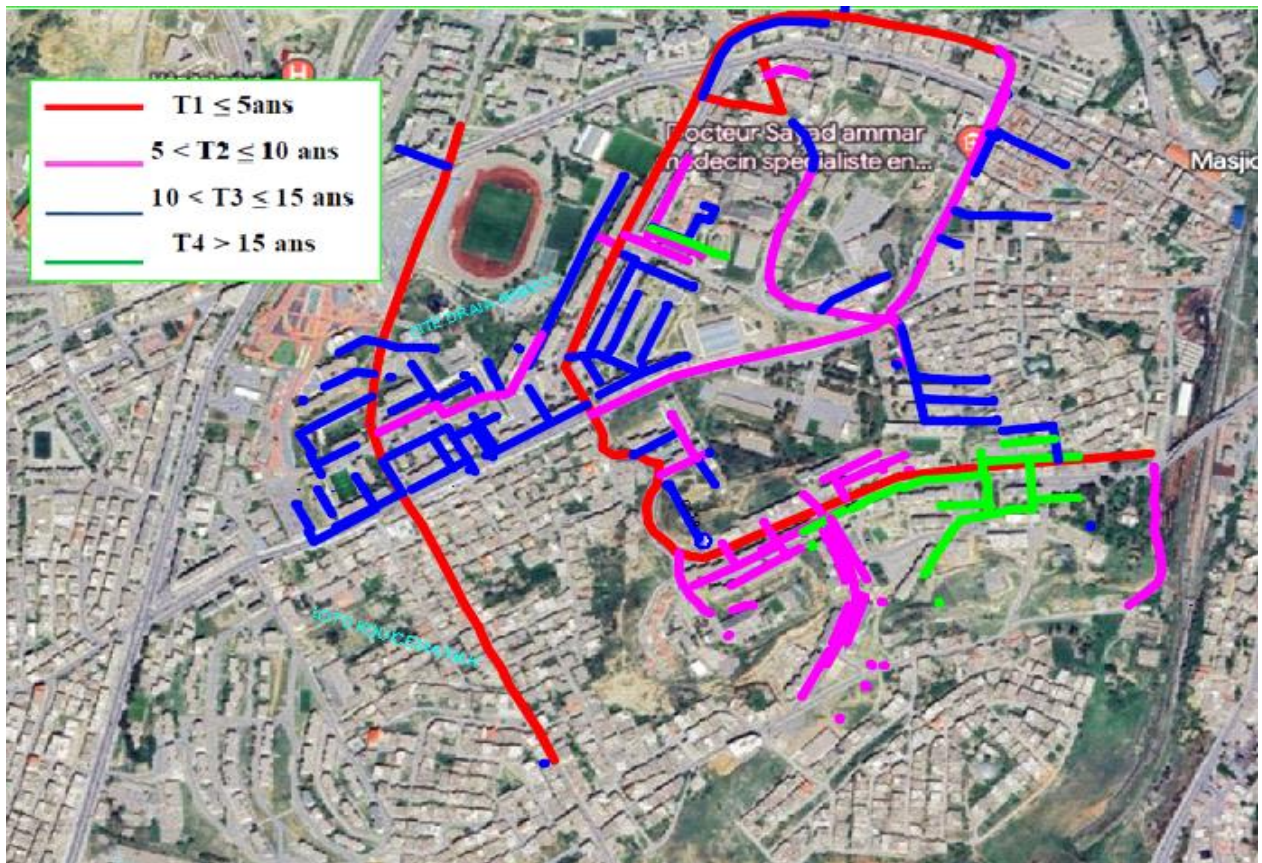


Figure 5.8. Interprétation graphique d'un programme de réhabilitation

5.4. Conclusion

Le critère « Fonctionnement » joue le rôle le plus important avec un poids relatif de 55,6% suivi du critère « Physique » (35,4%), et le critère « Environnement de la conduite » (9,0%). Les Sous-critères : âge de la canalisation (36,7%), types de matériaux (26,5%) et diamètres (18,2%) ont les poids relatifs les plus importants pour le critère « Physique » et le type des joints est le sous-critère le plus faible avec 3,5%. La Pression (34,8%) et le nombre de défaillances (32,5%) sont les deux sous-critères qui ont une grande influence pour le critère « Fonctionnement ». D'après les jugements des experts et pour le cas de la ville de Souk-Ahras, le sous-critère « qualité de l'eau » n'a pas un grand effet sur le fonctionnement des RDE. Les sous-critères : type de trafic (31,9%), lit de pose (26,5%) et type de sol (18,5%) jouent un rôle important pour le critère « Environnement de la canalisation ».

Avant de prendre une décision finale, il faut calculer le niveau d'urgence pour permettre de classer les canalisations qui vont être réhabilitées à court, moyen et long terme. Pour effectuer cette tâche, le modèle doit être appliqué sur un cas réel avec des données réelles. Le quartier 1700 logements (ville de Souk-Ahras) a été choisi suite aux nombres élevés de réparation des

fuites dans les dernières années. Le réseau de distribution du quartier 1700 logements à une longueur de 12860 m, il comprend 90 canalisations de différents matériaux et diamètres.

Ensuite, le niveau d'urgence attaché à chaque conduite a été calculé. Les valeurs des niveaux d'urgence obtenues se varient entre 0.1261 et 0.4816. La phase finale est de classer les canalisations en fonction des quatre groupes de temps (par exemple, le premier niveau égal à T1), ceci va permettre de construire un programme de réhabilitation. Comme résultat de cette étape : 14 conduites nécessitent une réhabilitation avant 5 ans (T1), 31 conduites entre 5 – 10 ans (T2), 36 conduites entre 10 – 15 ans (T3) et 9 conduites après 15ans (T4). (Tableau 5.4).

Tableau 5.4 Canalisation à réhabiliter par rapport au temps

pape	Diamètres	Types de Matériaux	longueur	nombre1	T1 > 15	nombre2	10 < T2 ≤ 15	nombre3	5 < T 3 ≤ 10	nombre4	T4 ≤ 5	Totale
P1	300	Acier	915	1	0,4816	0	0	0	0	0	0	1
P1.1	300	Acier	1215	1	0,4757	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.1	63	PVC	180	1	0,3601	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.1.1	63	PVC	123	1	0,3515	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.1.2	63	PVC	54	1	0,3280	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.2	110	PVC	90	1	0,3532	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.2.1	110	PVC	132	1	0,3536	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.2.2	90	PVC	50	1	0,3254	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.2.3	63	PVC	80	1	0,3280	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.2.4	63	PVC	120	1	0,3515	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.15.5	90	Acier	100	1	0,3439	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.15.5.1	40	Acier	65	1	0,3204	0	0	0	0	0	0	1
P1.1.15.5.2	40	Acier	70	1	0,3230	0	0	0	0	0	0	1
P1.2	300	Acier	200	1	0,4623	0	0	0	0	0	0	1
Longueur Totale			3394	14		0		0		0		14

Remarque : Le reste du tableau est présenté dans l'annexe.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion

Le réseau de distribution d'eau potable (RDE) est un patrimoine très spécifique, présente des caractéristiques techniques et socio-économiques propres à eux. Avec le temps, le vieillissement des canalisations et l'augmentation des taux de pertes en eau peuvent solliciter la réhabilitation des RDE existants.

La planification de la réhabilitation des réseaux de RDE est un problème complexe qui doit être résolu par une prise de décision multicritères (MCDM). Plusieurs chercheurs ont suggéré que la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) est l'approche la plus utilisée parmi les autres méthodes de MCDM, parce qu'elle peut traiter des valeurs qualitatives et quantitatives en même temps. A cet effet, dans le cadre de cette recherche, l'AHP a été conçu et testé pour évaluer la planification de la réhabilitation des RDE. L'AHP a été utilisé pour attribuer des poids relatifs à chaque élément (critères, sous-critères et indicateurs) de la structure hiérarchique sur la base de jugements de dix-huit experts. Après la vérification de la cohérence de toutes les matrices de décision, les poids globaux de tous les indicateurs sont calculés.

Le présent travail décrit un outil d'aide à la décision, basé sur la méthode AHP, qui vise à aider les décideurs et les gestionnaires des SEP de classer les indicateurs qui ont une grande influence sur le dysfonctionnement des réseaux de distribution d'eau. L'outil vise à fournir un moyen lui permettant de mettre en place des programmes de réhabilitation, en prenant en compte l'ensemble des paramètres caractérisant le réseau d'eau potable. Compte tenu des différentes difficultés découvrir par le gestionnaire du réseau d'AEP, nous avons appliqué la méthode hiérarchique multicritère pour aider le décideur à affiner son processus de décision. Une décomposition du problème dans une structure hiérarchique des éléments a été nécessaire. Dans le cas de cette étude, quatre niveaux sont pris en compte dans le processus AHP : le premier niveau est consacré pour l'objectif d'évaluation, par contre, les trois autres niveaux sont attribués aux trois éléments (Critères, Sous-critères et Indicateurs).

Le niveau d'urgence comme paramètre nous permettant de classer les conduites dans les programmes de réhabilitation à court, à moyen ou à long terme. en prenant en compte les différents critères caractérisant le réseau d'AEP.

. Perspectives

Enfin, Nous espérons pouvoir étendre les résultats obtenus dans notre zone d'étude à l'échelle de la ville, ce qui nous donne une large vision au système décisionnel pour bien précise les seuils d'intervalles du programme de la réhabilitation.

Leur application a toutefois montré qu'elles nécessitaient encore des développements des critères liées aux :

- Évaluer les critères de performances d'étude et réalisation ;
- Évaluer les critères de performance du contrôle technique ;
- Moderniser la gestion de service d'AEP notamment par l'application des nouvelles technologies ;
- L'intégration multisectorielle entre eau potable, assainissement, électricité et gaz.

Références bibliographiques

- [1]. ADE, (2021). Rapport Annuel d'Exploitation de l'Unité de Distribution ADE Souk-Ahras.
- [2]. ADE, (2022). Rapport Annuel d'Exploitation de l'Unité de Distribution ADE Souk-Ahras.
- [3]. AFNOR, (1981). NF X60-100. Inventaire de départ d'un contrat de maintenance et expertise de l'état des biens durable à usage industriel et professionnel, paris, 1981.
- [4]. AFNOR, (1996). EN 752-1. Réseaux d'évacuation et d'assainissement 0 l'extérieure des bâtiments, partie 1 : généralités et définitions, classe B 34, code : R6X.
- [5]. Ajuste C., Bernard J M., Celerie J L. (2004). Réhabilitation et remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale Octobre 1994, AGHTM, 12p.
- [6]. Alexandre O., WereyC., et Elnaboulsi J. (1994). Optimisation des échéances de renouvellement. Colloque sur le renouvellement des réseaux d'eau potable, Lyon, 20-21 Octobre 1994, AGHTM, 153p.
- [7]. Andreou S.A., Marks D.H., et Clark R.M. (1987). A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: A-Theory, B-Applications, Journal of Advances in Water resources, March 1987, vol 10, pp. 2 – 20.
- [8]. Arnoux P. (1998). Modélisation du vieillissement d'un réseau d'eau potable en fonte et application aux stratégie du renouvellement Thèse de doctorat : ENGEES, 138 p.
- [9]. Ayadi, D. (2010). Optimisation multicritère de la fiabilité : application du modèle de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz. Thèse de doctorat, Université d'Angers.
- [10]. BCEOM, (2009). 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.
- [11]. Berland J.M., et Juery C. (2001). Inventaire et scénario de renouvellement du patrimoine d'infrastructures des services publics d'eau et d'assainissement. Etude conduite par l'Office International de l'Eau, Synthèse, mai 2001.
- [12]. Blindu I., (2004). Thèse de doctorat : « Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydraulique ».
- [13]. Boukhari S., Djebbar Y., et Abida H. (2008). Prix des services de l'eau en Algérie, un outil de gestion durable, 13th IWRA World Water Congress. 1 – 4 Septembre, Montpellier, France, 412 p.
- [14]. Boukhari, S., Djebbar, Y., Guedri, A., & Guebail, A.K. (2011). The impact of actual water pricing in Algeria on the environmental dimension of sustainable development. J. Mater. Environ. Sci., 2(S1), 427–432.
- [15]. Boukhari, S. (2017). La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Thèse de Doctorat en sciences, Option Hydraulique .Université d'Annaba.
- [16]. Boukhari, S., Djebbar, Y., Amarchi, H., & Sohani, A. (2018). Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services: the case of Algeria. Water Science and Technology: Water Supply, 18(4), 1282–1293.

- [17]. Boukhari, S., & de Miras, C. (2019). Performance économique des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie, cas de Souk-Ahras. *Revue des Sciences de l'Eau* 32(1), 53. Economic performance of drinking water and sanitation services in Algeria, Souk-Ahras case. *Journal of Water Science* 32(1): 53. <https://doi.org/10.7202/1059880ar>.
- [18]. Boukhari, S., Pinto, F. S., Abida, H., Djebbar, Y., & de Miras, C. (2020). Economic analysis of drinking water services, case of the city of Souk-Ahras (Algeria). *Water Practice and Technology*. doi:10.2166/wpt.2019.082.
- [19]. 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.
- [20]. Brans, J.P. & Mareschal, B. (1992). PROMETHEE V MCDM Problems with Additional Segmentation Constraints. *INFOR*, Vol. 30, No. 2, 1992, pp. 85-96
- [21]. Brans, J.P. & Mareschal, B. (1995). The PROMCALC and GAIA decision support system for MCDA. *Decision Support Systems* 12, 297-310.
- [22]. 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.
- [23]. Brans, J.P. and Vincke, P. (1985) A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria. Decision-Making). *Management Science*, 31, 647-656.
- [24]. Birère, FG. (2000). *Distribution et collecte des eaux*. presses internationales polytechnique, deuxième édition, 2000.
- [25]. 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
- [26]. Clark R M., Goodrich JA. (1989). Developping a database on infrastructural needs, *journal of american water works association* , july 1989, pp.81-87.
- [27]. Clark RM, Stafford CL, Godrich JA, water distribution systems a spatial and cost evaluation, *Journal of water resources planing and management*, October 1982, vol 108, pp 243-256.
- [28]. Costa, (1996) Costa, C. A. B. E. (1996). Les problématiques de l'aide à la décision : vers l'enrichissement de la trilogie choix-tri-rangement. *RAIRO-Operations Research*, 30(2):191–216.
- [29]. Dos Santos, P.H., Neves, S.M., Sant'Anna, D.O., de Oliveira, C.H., & Carvalho, H.D. (2019). The analytic hierarchy process supporting decision making for sustainable development: An overview of applications. *Journal of cleaner production*, 212, 119-138.
- [30]. Dos Santos Amorim, J.M.B, Bezera, S.D.T.M, Silva, M.M,² & de Sousa, L. C. O. (2020). Multicriteria decision support for selection of alternatives directed to integrated urban water management. *Water Resources Management*, 34(13), 4253-4269.
- [31]. Dubis N, *Appréciation de la qualité de l'eau par le consommateur*, TSM-L'EAU, octobre 1987, pp 451-456.

- [32]. Eseinbes P. (1994). Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable. Thèse ENGEES, France, 158 p.
- [33]. Farley, M., & Trow, S. (2003). Losses in water distribution networks. IWA publishing.
- [34]. Flageollet JC, Les mouvement de terrain et leur préventions, Masson, Paris,1989.
- [35]. FNDAE, HS 10. Fondation National pour le Développement des Adductions d'Eau hors série n°10, « Le renouvellement des réseaux d'eau potable », Guide pour l'élaboration d'un programme de renouvellement, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 1994.
- [36]. FNDAE, HS 12. Fondation National pour le Développement des Adductions d'Eau hors série n°12, « La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux», rédigé par Celerier J. et Faby J.A et mise à jour par Loiseau G et Juery C. Pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et des Affaires Rurales, 1998.
- [37]. Hajibabaei, M., Nazif, S., & Sitzenfrie. R. (2019). Improving the Performance of Water Distribution Networks Based on the Value Index in the System Dynamics Framework. Water, 11(12), 2445.
- [38]. Hajkowicz, S., & Collins, K., (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. Water Resour. Manag. 21 (9), 1553–1566.
- [39]. Halpern O, Pascal O, Le renouvellement des réseaux urbains de distribution d'eau, Colloque organisé par l'ENPC, 1988, pp.108-116.
- [40]. Hamou B, les réseau de distribution . Centre d'assistance technique et de documentation,1993.
- [41]. 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.
- [42]. Hwang, C.L. & Yoon, K. (1981). Multiple criteria decision making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems,
- [43]. Jacquet-Lagrèze, E., Roy, B. et al. (1980). Aide à la décision multicritère et systèmes relationnels de préférences. Cahier du LAMSADE 34.
- [44]. Karnib A, formulation et résolution d'un problème sous contraintes dans une opération d'aménagement des réseaux. Mémoire de DEA, Université de Lille 1 - Université d'Atrois, 1993
- [45]. Kleiner Y, Rajani B, comprehensive review of stuctural deterioration of water mains, statistical models. Urban Water n3, pp 131-150, 2001.
- [46]. Lalonde B., 1991. L'eau et les collectivités locales. édition du moniteur.
- [47]. Lai, E., Lundie, S., & Ashbolt, N. J. (2008). Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems. Urban water journal, 5(4), 315-327.
- [48]. Le Gauffre P., et Eisenbeis P. (2004). Gestion patrimoniale de l'infrastructure : de nouveaux outils d'aide à la décision, Dix-septièmes entretiens Jacques cartier. Colloque«eau potable et technologie environnement : enjeux internationaux», Centre eau, terre et environnement – Institut national de la recherche scientifique. Québec 4-5 Octobre.

- [49]. Le Gauffre P, E bounader, J malandain, S bennis , la conduite du duagnostique des infrastructures urbaines de l'eau et de l'assainissement. Proc, les nouvelles infrastructures urbaines á l'heure du développement durable 9éme du Centre Jaques Cartier, Montérial, 12p, 1996
- [50]. Le Guen A. (1999). Matériaux utilisés pour les canalisation AEP : influence sur la qualité de l'eau », Synthèse bibliographique, ENGR EF.
- [51]. Male JW, Moore IC, EE. MOYER. Détection des fuites et réparation de ces fuites sur un réseau d'eau potable. Revue Distribution de l'eau Collectivités locales n°1 pp 28-34,1983.
- [52]. Lévine, P. et Pomerol, J.-C. (1990). Systèmes interactifs" aide à la décision et systèmes experts. Hermès.
- [53]. Malandin J, Modélisation de l'état de santé des réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de la maintenance . Etude du patrimoine de lagglomération de Lyon. Thèse de l'INSA de Lyon,223p, 1999.
- [54]. Mammeri, M. (2013). Une approche d'aide multicritère à la décision pour l'évaluation du confort dans les trains : construction d'un modèle d'évaluation. Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine-Paris IX.
- [55]. Mareschal Be, Brans, J.P. Geometrical representations for MCDA, European Journal of Operational Research, 1988, vol. 34, issue 1, 69-77.
- [56]. Marks DH, Andreou S.A, Jeffry L, Park C, Zaslavsky A. Statistical models for water main failures , Water Engineering research Laboratory, USEPA,108P.
- [57]. Martin, (1999). Comment créer, gérer et faire évoluer un réseau d'eau potable à l'aide d'un SIG. Projet de fin d'étude, université d'Artois – université d'alicante.
- [58]. Marzouk N. (2005). Thèse de doctorat: « Méthodologie de détection et localisation des fuites dans un réseau d'eau potable dans les petites et moyennes collectivités ».
- [59]. Maystre, L. Y., Pictet, J. et Simos, J. (1994). Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale, volume 8. PPUR presses polytechniques.
- [60]. Mintzberg, H. (1979). The structuring of organization : A synthesi sof the research. Prentice-Hall.
- [61]. Mousseau, V. (1993). Problèmes liés à l'évaluation de l'importance elative des critères en aide multicritère à la décision: Réflexions théoriques,expérimentations et implémentations informatiques. Thèse de doctorat, Paris 9.
- [62]. O'day D.K, (1982). Organising and Analysing Leak and Break Data for Making Water Main Replacement Decisions“, Journal AW W A, vol. 74 n°11, pp. 589-596.
- [63]. O'day D.K., Weiss R., Chiavari S., Blair D., (1989). Water main evaluation for rehabilitation / replacement, Guidance manual of AWWA Research Foundation, 182 p.

- [64]. Ostfold et Al, (2002). Reliability simulation of water distribution systems – single and multiquelity .urban water n°4, pp 53-61.
- [65]. PDAU, (2007). Rapport finale étude de révision de PDAU, ville de Souk-Ahras
- [66]. Phillipe Vinck, "L'aide multicritère à la décision", 1er Ed, Ed de l'université de Bruxelles, Belgique, 1989, p103
- [67]. Prasad, R. K. (2021). Identification of Critical Pipes for Water Distribution Network Rehabilitation. Water Resources Management, 35(15), 5187-5204.
- [68]. Pohekar, S. et Ramachandran, M. (2006). Multi-criteria evaluation of cooking devices with special reference to utility of parabolic solar cooker (PSC) in India. Energy, 31(8):1215–1227.
- [69]. Rahman, R. A., Romali, N. S., Sufian, S. S., & Seman, M. A. (2020). Affecting Factors in Rehabilitating Water Distribution Networks. In RILEM Spring Convention and Conference (pp. 179-187). Springer, Cham.
- [70]. Roy, B. (1985). Méthodologie multicritère d" aide à la décision. Economica.
- [71]. Roy, B. et Bouyssou, D. (1993). Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas. Economica.
- [72]. Roy, B. (2013). Multicriteria methodology for decision aiding, volume 12. Springer Science & Business Media.
- [73]. Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process; McGraw-Hill: New York, USA.
- [74]. Saaty T.L. (1984). Décider face à la complexité. Une approche analytique multicritère d'aide à la décision ». Collection Université-Entreprise, 231 p.
- [75]. 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.
- [76]. Shamir U., Howard C. (1979). An analytic approach to scheduling pipe replacement, Journal AWWA, vol 71, n°5, pp.248-258.
- [77]. Skipworth P.,Engelhardt M., Cashman A., Savic D., Engelhardt M., Saul A Walters G. (2002).Whole life costing for water distribution network management.London(UK).Thomas telford.2003.pp 2003.
- [78]. SNIP, (1985). Stroitelinie Normi i Pravila (SNIP) « Vodosnabjenie. Narujnie seti soorujenia », SNIP 2.04.02-84, Moscou.
- [79]. Tsoukiàs, A. (2008). From decision theory to decision aiding methodology. European Journal of Operational Research, 187(1):pp :138–161.
- [80]. Zedgui, (1993). Diagnostic et etude de défaillances des réseaux d'eau potable des syndicats de kronthal et de kochersberg. Memoire de fin d'étude ,ENGES de Strasbourg 72P.

Annexes

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P1.1.7	110	PVC	170	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2740
P1.1.7.1	90	PVC	86	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2689
P1.1.7.2	63	PVC	45	40	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2458
P1.1.8	63	PVC	69	40	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2458
P1.1.9	250	PVC	100	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0167	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2787
P1.1.10	63	PVC	109	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2693
P1.1.11	110	PVC	168	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2740
P1.1.12	110	PVC	175	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2740
P1.1.13	110	PVC	120	40	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0359	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2740
P1.1.14	200	PEHD	480	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0145	0,0087	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,1333

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P1.1.14.1	63	PEHD	66	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1261
P1.1.14.2	63	PEHD	84	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1287
P1.1.14.3	63	PEHD	75	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1261
P1.1.14.4	63	PEHD	88	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1261
P1.1.14.5	63	PEHD	93	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1287
P1.1.15	160	PEHD	587	8	Non	T. Fusions	3	0,4	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0145	0,0087	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0040	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2020
P1.1.15.1	110	PEHD	49	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0087	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1335
P1.1.15.1.1	63	PEHD	96	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1261
P1.1.15.1.2	63	PEHD	80	8	Non	T. Fusions	1,8	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0190	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1287
P1.1.15.2	90	PEHD	100	8	Non	T. Fusions	3	0,4	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0040	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1952

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gènes à cause d'autres réseaux	Somme
P1.1.15.2.1	63	PEHD	36	8	Non	T. Fusions	3	0,4	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0040	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1717
P1.1.15.3	90	PEHD	195	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2067
P1.1.15.3.1	40	PEHD	126	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2067
P1.1.15.3.2	40	PEHD	65	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1865
P1.1.15.3.3	40	PEHD	34	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1891
P1.1.15.3.4	40	PEHD	260	8	Non	T. Fusions	3	0,4	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0040	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1952
P1.1.15.3.5	40	PEHD	58	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1865
P1.1.15.3.6	40	PEHD	71	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1891
P1.1.15.4	63	PEHD	233	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2100
P1.1.15.5	90	Acier	100	40	Non	Soudés	6,9	1	1	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	Absent	Absente	0,8	R. Principale	Réparation	
	0,0039	0,0105	0,0033	0,0359	0,0140	0,0006	0,1098	0,0188	0,0400	0,0024	0,0584	0,0056	0,0141	0,0017	0,0056	0,0189	0,0004	0,3439

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P1.1.15.5.1	40	Acier	65	40	Non	Soudés	6,9	1	0	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	Absent	Absente	0,8	R. Principale	Réparation	
	0,0039	0,0105	0,0029	0,0359	0,0140	0,0006	0,1098	0,0188	0,0169	0,0024	0,0584	0,0056	0,0141	0,0017	0,0056	0,0189	0,0004	0,3204
P1.1.15.5.2	40	Acier	70	40	Non	Soudés	6,9	1	0	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	Absent	Absente	0,8	R. Principale	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0105	0,0029	0,0359	0,0140	0,0006	0,1098	0,0188	0,0169	0,0024	0,0584	0,0056	0,0141	0,0017	0,0056	0,0189	0,0030	0,3230
P1.2	300	Acier	200	40	Non	Soudés	6,9	2	4	Non agressive	Mauvais	Non corrosif	Absent	Absente	0,8	R. Principale	Réparation	
	0,0167	0,0105	0,0033	0,0359	0,0140	0,0006	0,1098	0,0440	0,1238	0,0024	0,0584	0,0056	0,0141	0,0017	0,0023	0,0189	0,0004	0,4623
P1.2.1	200	PEHD	810	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0145	0,0167	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2248
P1.2.1.1	63	PEHD	79	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1865
P1.2.1.1.1	63	PEHD	105	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2100
P1.2.1.1.2	63	PEHD	60	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1891
P1.2.1.2	110	PEHD	122	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2148
P1.2.1.3	63	PEHD	30	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1865
P1.2.1.4	90	PEHD	25	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,1891

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P1.2.1.4.1	63	PEHD	135	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,2126
P1.2.1.4.2	63	PEHD	97	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,2123
P1.2.1.4.3	63	PEHD	95	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2097
P1.2.1.4.4	63	PEHD	94	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1865
P1.2.1.5	90	PEHD	102	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2100
P1.2.1.6	90	PEHD	59	8	Non	T. Fusions	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0029	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,1865
P1.2.1.6.1	63	PEHD	408	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0087	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2121
P1.2.1.6.2	63	PEHD	100	8	Non	T. Fusions	3	1	1	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0145	0,0033	0,0128	0,0140	0,0012	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2100
P2.1	63	PVC	63	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,2365
P2.2	63	PVC	66	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Travaux de voiries	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0030	0,2365

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P2.3	63	PVC	69	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2340
P2.4	110	PVC	173	25	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2622
P2.4.1	90	PVC	58	25	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2571
P2.4.2	90	PVC	46	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2340
P2.5	110	PVC	286	25	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2622
P2.5.1	90	PVC	67	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2340
P2.5.1.1	63	PVC	65	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2340
P2.5.1.2	63	PVC	70	25	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2571
P2.5.2	63	PVC	73	25	Non	Collés	3	1	1	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0400	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2571
P2.5.3	90	PVC	53	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Moyen	Non corrosif	≤ 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0240	0,0056	0,0060	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2340

Suite Tableau 5.3. Exemple de calcul du niveau d'urgence.

Pipes	D	Types de Matériaux	L	Age	Protection anti corrosive	Joints	P	V	Déf	Qualité de l'eau potable	Entretien de réseau	Types de Sol	Lit de pose	Nappe phréatique	profon	Trafic	Gênes à cause d'autres réseaux	Somme
P2.6	110	PVC	168	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2193
P2.6.1	63	PVC	47	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2142
P2.6.2	63	PVC	46	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2175
P2.6.3	110	PVC	62	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2222
P2.6.4	90	PVC	90	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2175
P2.6.4.1	63	PVC	48	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2175
P2.6.4.2	63	PVC	55	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2142
P2.7	110	PVC	153	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0087	0,0308	0,0033	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2193
P2.7.1	90	PVC	54	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0056	0,0076	0,0004	0,2175
P2.7.2	90	PVC	45	25	Non	Collés	3	1	0	Non agressive	Bon	Non corrosif	> 10	Absente	0,8	R. Secondaire	Réparation	
	0,0039	0,0308	0,0029	0,0241	0,0140	0,0046	0,0645	0,0188	0,0169	0,0024	0,0098	0,0056	0,0038	0,0017	0,0023	0,0076	0,0004	0,2142

Canalisation à réhabiliter par rapport au temps												
pape	Diamètres	Types de Matériaux	longueur	nombre1	T1 > 15	nombre2	10 < T2 ≤ 15	nombre3	5 < T3 ≤ 10	nombre4	T4 ≤ 5	Totale
P1.1.3	110	PVC	335	0	0,0000	1	0,2761	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.4	110	PVC	252	0	0,0000	1	0,2707	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.5	110	PVC	177	0	0,0000	1	0,2740	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.5.1	63	PVC	44	0	0,0000	1	0,2451	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.5.2	63	PVC	63	0	0,0000	1	0,2484	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.5.3	90	PVC	106	0	0,0000	1	0,2693	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.5.4	90	PVC	100	0	0,0000	1	0,2693	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.6	110	PVC	159	0	0,0000	1	0,2740	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.6.1	63	PVC	78	0	0,0000	1	0,2689	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.6.2	63	PVC	56	0	0,0000	1	0,2458	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.7	110	PVC	170	0	0,0000	1	0,2740	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.7.1	90	PVC	86	0	0,0000	1	0,2689	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.7.2	63	PVC	45	0	0,0000	1	0,2458	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.8	63	PVC	69	0	0,0000	1	0,2458	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.9	250	PVC	100	0	0,0000	1	0,2787	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.10	63	PVC	109	0	0,0000	1	0,2693	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.11	110	PVC	168	0	0,0000	1	0,2740	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.12	110	PVC	175	0	0,0000	1	0,2740	0	0,0000	0	0,0000	1
P1.1.13	110	PVC	120	0	0,0000	1	0,2740	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.1	63	PVC	63	0	0,0000	1	0,2365	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.2	63	PVC	66	0	0,0000	1	0,2365	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.3	63	PVC	69	0	0,0000	1	0,2340	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.4	110	PVC	173	0	0,0000	1	0,2622	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.4.1	90	PVC	58	0	0,0000	1	0,2571	0	0,0000	0	0,0000	1

(Suite) Tableau 5.4 Canalisation à réhabiliter par rapport au temps												
pape	Diamètres	Types de Matériaux	longueur	nombre1	T1 > 15	nombre2	10 < T2 ≤ 15	nombre3	5 < T3 ≤ 10	nombre4	T4 ≤ 5	Totale
P2.4.2	90	PVC	46	0	0,0000	1	0,2340	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.5	110	PVC	286	0	0,0000	1	0,2622	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.5.1	90	PVC	67	0	0,0000	1	0,2340	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.5.1.1	63	PVC	65	0	0,0000	1	0,2340	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.5.1.2	63	PVC	70	0	0,0000	1	0,2571	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.5.2	63	PVC	73	0	0,0000	1	0,2571	0	0,0000	0	0,0000	1
P2.5.3	90	PVC	53	0	0,0000	1	0,2340	0	0,0000	0	0,0000	1
Longueur Totale			3501	0		31		0		0		31

Canalisation à réhabiliter par rapport au temps												
pape	Diamètres	Types de Matériaux	longueur	nombre1	T1 > 15	nombre2	10 < T2 ≤ 15	nombre3	5 < T3 ≤ 10	nombre4	T4 ≤ 5	Totale
P1.1.14	200	PEHD	480	0	0	0	0	0	0	1	0,1333	1
P1.1.14.1	63	PEHD	66	0	0	0	0	0	0	1	0,1261	1
P1.1.14.2	63	PEHD	84	0	0	0	0	0	0	1	0,1287	1
P1.1.14.3	63	PEHD	75	0	0	0	0	0	0	1	0,1261	1
P1.1.14.4	63	PEHD	88	0	0	0	0	0	0	1	0,1261	1
P1.1.14.5	63	PEHD	93	0	0	0	0	0	0	1	0,1287	1
P1.1.15.1	110	PEHD	49	0	0	0	0	0	0	1	0,1335	1
P1.1.15.1.1	63	PEHD	96	0	0	0	0	0	0	1	0,1261	1
P1.1.15.1.2	63	PEHD	80	0	0	0	0	0	0	1	0,1287	1
Longueur Totale			1111	0		0		0		9		9

(Suite) Tableau 5.4 Canalisation à réhabiliter par rapport au temps												
pape	Diamètres	Types de Matériaux	longueur	nombre1	T1 > 15	nombre2	10 < T2 ≤ 15	nombre3	5 < T 3 ≤ 10	nombre4	T4 ≤ 5	Totale
P1.1.15	160	PEHD	587	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2020	0	0,0000	1
P1.1.15.2	90	PEHD	100	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1952	0	0,0000	1
P1.1.15.2.1	63	PEHD	36	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1717	0	0,0000	1
P1.1.15.3	90	PEHD	195	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2067	0	0,0000	1
P1.1.15.3.1	40	PEHD	126	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2067	0	0,0000	1
P1.1.15.3.2	40	PEHD	65	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1865	0	0,0000	1
P1.1.15.3.3	40	PEHD	34	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1891	0	0,0000	1
P1.1.15.3.4	40	PEHD	260	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1952	0	0,0000	1
P1.1.15.3.5	40	PEHD	58	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1865	0	0,0000	1
P1.1.15.3.6	40	PEHD	71	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1891	0	0,0000	1
P1.1.15.4	63	PEHD	233	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2100	0	0,0000	1
P1.2.1	200	PEHD	810	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2248	0	0,0000	1
P1.2.1.1	63	PEHD	79	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1865	0	0,0000	1
P1.2.1.1.1	63	PEHD	105	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2100	0	0,0000	1
P1.2.1.1.2	63	PEHD	60	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1891	0	0,0000	1
P1.2.1.2	110	PEHD	122	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2148	0	0,0000	1
P1.2.1.3	63	PEHD	30	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1865	0	0,0000	1
P1.2.1.4	90	PEHD	25	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1891	0	0,0000	1
P1.2.1.4.1	63	PEHD	135	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2126	0	0,0000	1
P1.2.1.4.2	63	PEHD	97	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2123	0	0,0000	1
P1.2.1.4.3	63	PEHD	95	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2097	0	0,0000	1
P1.2.1.4.4	63	PEHD	94	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1865	0	0,0000	1
P1.2.1.5	90	PEHD	102	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2100	0	0,0000	1

(Suite) Tableau 5.4 Canalisation à réhabiliter par rapport au temps												
pape	Diamètres	Types de Matériaux	longueur	nombre1	T1 > 15	nombre2	10 < T2 ≤ 15	nombre3	5 < T 3 ≤ 10	nombre4	T4 ≤ 5	Totale
P1.2.1.6	90	PEHD	59	0	0,0000	0	0,0000	1	0,1865	0	0,0000	1
P1.2.1.6.1	63	PEHD	408	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2121	0	0,0000	1
P1.2.1.6.2	63	PEHD	100	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2100	0	0,0000	1
P2.6	110	PVC	168	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2193	0	0,0000	1
P2.6.1	63	PVC	47	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2142	0	0,0000	1
P2.6.2	63	PVC	46	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2175	0	0,0000	1
P2.6.3	110	PVC	62	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2222	0	0,0000	1
P2.6.4	90	PVC	90	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2175	0	0,0000	1
P2.6.4.1	63	PVC	48	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2175	0	0,0000	1
P2.6.4.2	63	PVC	55	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2142	0	0,0000	1
P2.7	110	PVC	153	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2193	0	0,0000	1
P2.7.1	90	PVC	54	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2175	0	0,0000	1
P2.7.2	90	PVC	45	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2142	0	0,0000	1
Longueur Totale			4854	0		0		36		0		36