



Faculté de Technologie
Département d'**Hydraulique**
Laboratoire de recherche d'Hydraulique appliqué et Environnement

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

OUADI MERABET Amine

NACERI Wahiba

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

Option : **Hydraulique Urbaine**

INTITULE :

CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN SYSTÈME D'AIDE A L'EVALUATION STRUCTURAL D'UN RESEAU D'ASSAINISEMENT EN ALGERIE

Soutenu le **08 /07 /2019** devant le jury composé de :

- Président : **M^r BEDJOU H.**
- Promoteur : **M^r BENZERRA A.**
- Co- Promotrice : **M^{lle} IGROUFA M.**
- Examineur : **M^r HAMCHAOUI S.**

Remerciements

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

Un remerciement tout particulier à nos chers parents respectifs de leurs sacrifices consentis pour notre éducation et formation.

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

Nos remerciements s'adressent également à tous les ingénieurs de l'Office Nationale des Eaux de l'unité de Bejaia : M^r ATMANIOU Mourad, M^r BOURASSE Hakim pour la facilité d'accès aux données.

Nos remerciements s'adressent également à tous les ingénieurs de l'Office Nationale des Eaux de l'unité de Bouira : M^r ZENNOUDI Smail, M^r FENRI Essaid, M^{me} AISSA Sara.

Nous sommes conscients de l'honneur que nous a fait M^r BEDJOU Abdel hamid en étant président du jury, M^r HAMCHAOUI Samir d'avoir accepté d'examiner ce travail.

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

Dédicace

A toi ma très chère maman, je dédie ce mémoire qui traduit un long travail que j'ai mis à terme pour toi et grâce à toi. C'est vous qui m'avez appris à avoir confiance en moi et à aller toujours de l'avant dans mes études. Vous m'avez aidé en ouvrant toutes les portes du bien et en me protégeant de tout mal.

Aujourd'hui Maman, tu n'es plus là pour voir la réalisation de mon travail. Tu es partie tout en pensant à moi, mais tu es présente en moi, dans mon cœur et dans chacune de ces pages.

Aujourd'hui, si je suis arrivé à ce stade, c'est grâce à Dieu et à vous en suivant tout tes conseils qui sont restés gravés dans ma mémoire à jamais.

Merci maman pour tout, et là où vous êtes J'espère que vous vous reposez en paix.

A mes deux adorables et agréables parents, les guide de ma vie, le symbole de tendresse.

A mon très cher papa et ma chère deuxième mère. Avec toute mon admiration, mon amour et ma tendresse un très grand merci, pour vôtres sacrifices et vôtres soutiens, je vous aime beaucoup.

A mon adorable frère Oussama.

A ma grande sœur et sa petite fille israa et son mari Mohammed.

A V.S, la S2, groupe BKM et mes amis Rida, Adel, Nadjib

, Amar, Walid, les zdanden, Ayoub et Lyes.

A ma binôme Wahiba

Ainsi qu'à toutes les personnes qui me sont chers.

Dédicaces Wahiba

Je dédie ce mémoire a...

A ma très chère mère Nouara et mon très cher père Achour

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

A ma très chère sœur Amel et son mari

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

A mes grandes chères grands-mères

Heppou Dahbia, Yaya Sadia.

A mes très chers oncles et leurs épouses

3emmi Moustapha, 3emmi Djamel, 3emmi Hocine, khali Hocine et khalti Ouardia, khalti Malika, khali Boussad et khalti Fazia, khali Mouloude et khalti Laila.

A mes très chères tantes et leurs époux

3emti Ouardia, 3emti Malika, khalti Karima, khalti Linda, khalti Rabiha, A tous mes cousins et cousines.

A mon très cher neveu

Ishak

A mon très cher

Sofiane

A mes très chères

Zizih, Wissam, Kanza, Akila, Nada, Lydia, Lysa.

A toi mon binôme Amine et toute ta famille

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

A mes copines et mes amis.

SOMMAIRE

Introduction générale	01
Chapitre I : Aperçu general sur les reseaux d'assainissement.	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Histor de l'assainissement.....	03
I.3. Définition d'un réseau d'assainissement.....	04
I.4. L'objectif de l'assainissement.....	04
I.5. La nature des rejets.....	04
I.6. Les effluents et leur impact sur la structure des conduites d'assainissement.....	04
I.6.1. Les effluents d'assainissement.....	04
I.6.2. L'impact sur la structure des conduites d'assainissement.....	05
I.7. Les différents types des réseaux d'assainissement.....	05
I.7.1. Le réseau séparatif.....	06
I.7.2. Le réseau unitaire.....	06
I.7.3. Le réseau pseudo-séparatif.....	08
I.8. Les éléments constitutifs du réseau d'égout.....	09
I.8.1. Les ouvrages principaux.....	09
I.8.1.1. Les canalisations.....	09
I.8.1.2. Les joints.....	13
I.8.2. Les ouvrages annexes.....	14
I.8.2.1. Branchements.....	14
I.8.2.2. Fossés.....	14
I.8.2.3. Caniveaux.....	14
I.8.2.4. Bouches d'égout.....	15
I.8.2.5. Les regards.....	15
I.8.2.6. Les déversoirs d'orage.....	17
I.9. Conclusion.....	18
Chapitre II : Problématique de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement.	
II.1. Introduction.....	19
II.2. Définition de dégradation.....	19
II.3. Etats de dégradation.....	20
II.4. Conditions qui déterminent le comportement des équipements.....	20
II.4.1. La construction initiale du réseau.....	20

II.4.2. L'âge du réseau.....	20
II.4.3. L'usage du réseau	20
II.4.4. L'entretien du réseau	20
II.5. Types de dégradation des réseaux d'assainissement	21
II.5.1. Dégradation hydraulique.....	21
II.5.2. Dégradation structurale	21
II.6.3. Dégradation environnementale	21
II.6. Facteurs de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement	22
II.6.1. Liés à la construction	22
II.6.2. Externes locaux	22
II.6.3. Autres facteurs	22
II.7. Principales causes de dégradation des réseaux d'assainissement.....	22
II.7.1. Risques structurels	23
II.7.1.1. Les charges statiques et dynamiques.....	23
II.7.1.2. Maintenance	23
II.7.1.3. Construction	23
II.8. Les défaillances des réseaux d'assainissement	23
II.8.1. La défaillance structurelle des réseaux d'assainissement	24
II.9. Les défaillances structurelles des réseaux d'assainissement et leurs conséquences	24
II.9.1. Les cassures	25
II.9.2. Les déformations.....	25
II.9.3. Les défauts d'étanchéité.....	26
II.9.4. Les dégradations de parements	26
II.10. Types d'intervention sur un réseau.....	27
II.10.1. Action d'entretien	27

II.10.1.1. Nettoyage hydraulique	28
II.10.1.2. Curages journaliers.....	29
II.10.1.3. Désodorisation.....	29
II.10.1.4. Colmatage par injection.....	29
II.10.2. Action d'auscultation structurale	29
II.10.2.1. L'auscultation géométrique	29
II.10.2.2. L'auscultation géophysique	29
II.10.2.3. L'auscultation physico-chimique.....	30
II.10.2.4. L'auscultation visuelle	30
II.10.3. Action de maintenance.....	30
II.10.3.1. La maintenance préventive.....	30
II.10.3.1. La maintenance corrective.....	31
II.10.4. Action de réhabilitation.....	31
II.10.5. Lutte contre la corrosion de l'H ₂ S.....	31
II.11. Méthodes d'auscultations et de réhabilitations d'un réseau d'assainissement	32
II.11.1. Techniques pour les collecteurs non visitables	32
II.11.1.1. Procédés non destructifs.....	32
II.11.1.2. Procédés destructifs.....	33
II.11.2. Techniques pour les collecteurs visitables	34
II.12. Les dégradations gérées par les interventions de l'ONA	34
II.12.1. Les dommages rencontrés sur les regards en Algérie	34
II.12.2. Types d'interventions réalisés par l'ONA	34
II.13. Conclusion.....	35
 Chapitre III : Présentation des méthodes AHP et Logique floue.	
III.1. Introduction	36
III.2. Méthode AHP.....	36

III.2.1. Principe général de la méthode AHP	36
III.2.1.1. Décomposer le problème en une structure hiérarchique	37
III.2.1.2. Les combinaisons binaires	37
III.2.1.3. Définition des poids des critères pour chaque alternative par FAHP	38
III.2.4. Limites de la méthode AHP	40
III.2.5. Avantages et Inconvénients de la méthode AHP	40
III.2.5.1. Avantages	40
III.2.5.2. Inconvénients	40
III.3. La logique floue.....	41
III.3.1. Historique sur la logique floue	41
III.3.2. Définition de la logique floue	41
III.3.3. Variables linguistiques et ensembles flous	41
III.3.4. Sous-ensemble flous et fonction d'appartenance	42
III.3.5. Opérateurs en logique floue.....	44
III.3.6. Structure générale d'un modèle flou.....	45
III.3.6.1. Fuzzification.....	45
III.3.6.2. Implication et Agrégation	45
III.3.6.3. Defuzzification.....	45
III.3.8. Avantages et Inconvénients de la logique floue	46
III.3.8.1. Avantages.....	46
III.3.8.2. Inconvénients	46
III.4. Critiques sur les méthodes utilisées	47
III.5. Conclusion.....	48
Chapitre IV: Application de la methodologie sur le reseau d'assainissement de la ville de Béjaia.	
IV.1. Introduction	49

IV.2. Présentation de la ville Bejaia	49
IV.2.1. Situation géographique	49
IV.2.2. Situation climatique.....	50
IV.2.2.1. Les précipitations	50
IV.2.2.2. Les Températures.....	50
IV.3. Définition et évolution des facteurs influant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement.....	52
IV.3.1. Facteurs structuraux.....	52
IV.3.1.1. Fissure	52
IV.3.1.2. Effondrement	52
IV.3.1.3. Contre pente.....	52
IV.3.1.4. Dégradation de surface	52
IV.3.1.5. Déplacement d'assemblage.....	52
IV.3.1.6. Courbure	52
IV.3.2. Facteurs opérationnels	53
IV.3.2.1. Dépôts	53
IV.3.2.2. Pénétration des racines.....	53
IV.3.2.3. Branchements illicites.....	53
IV.3.3. Facteurs de réhabilitation	53
IV.3.3.1. Remplacement	53
IV.3.3.2. Rénovation	53
IV.3.3.3. Réparation.....	53
IV.4. Application de la méthode FAHP	54
IV.4.1. Elaboration de la structure hiérarchique.....	54
IV.4.2. Les combinaisons binaires.....	55
IV.4.3. Attribution du poids aux différents facteurs.....	58

IV.4.4. vérification de la consistance.....	64
IV.4.5. Calcul de la performance	67
IV.5. Application de la logique floue	70
IV.5.1. Choix des entrées et des sorties dans le « Concepteur de la logique floue (<i>fuzzy logic designer</i>) »	70
IV.5.2. Création des fonctions d'appartenance dans « l'Editeur de la fonction d'appartenance (Membership Function Editor) ».....	70
IV.5.3. Choix de la règle ou des règles correspondantes au système dans « l'Editeur de règle (<i>Rule Editor</i>) »	74
IV.5.4. Introduction des valeurs de performances des l'entrées réelles dans «L'observateur de règles (<i>Rule Viewer</i>) ».....	75
IV.6. Interprétation des résultats	76
IV.7. Conclusion	77
Conclusion générale et perspective	78
Bibliographie.....	80

LISTE DES FIGURES

Fig I.1	Grand égout dans la Rome antique.....	03
Fig I.2	Schéma d'un réseau séparatif.....	06
Fig I.3	schéma d'un réseau unitaire.....	07
Fig I.4	Schéma explicatif d'un réseau unitaire.....	07
Fig I.5	Schéma d'un réseau pseudo-séparatif.....	08
Fig I.6	Conduites en béton non armé.....	10
Fig I.7	Conduites en béton armé.....	11
Fig I.8	Conduites en amiante-ciment.....	11
Fig I.9	Conduites en PVC.....	12
Fig I.10	Type des joints.....	13
Fig I.11	caniveau.....	14
Fig I.12	Bouche d'égout.....	15
Fig I.13	Regard de visite.....	16
Fig I.14	Déversoir d'orage.....	17
Fig II.1	Dégradation structurelle d'une conduite d'assainissement.....	19
Fig II.2	Mouvements relatifs lèvres d'une fissure.....	25
Fig II.3	Déformation de conduite.....	25
Fig II.4	Exfiltration de conduite.....	26
Fig II.5	Dégradation de parement.....	26
Fig II.6	Cycle de vie d'une infrastructure.....	27
Fig II.7	Camion hydro-cureur.....	28
Fig II.8	Curage manuel d'un regard font par les agents d'ONA.....	29
Fig II.9	Caméra télécopie.....	30
Fig II.10	La technique de tubage.....	33
Fig II.11	La technique de micro-tunnelier.....	33
Fig II.12	La technique du l'éclate tuyau.....	34
Fig III.1	La structure hiérarchique de la méthode AHP.....	37
Fig III.2	Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou.....	42
Fig III.3	Fonction d'appartenance de forme triangulaire.....	42
Fig III.4	Fonction d'appartenance de la forme cloche.....	43
Fig III.5	Fonction d'appartenance de forme trapézoïdale.....	43
Fig III.6	Fonction d'appartenance singleton.....	44
Fig III.7	Structure générale d'un modèle flou.....	46
Fig IV.1	Photo aérienne du chef- lieux.....	50
Fig IV.2	La structure hiérarchique des facteurs qui influent la dégradation structurelle des réseaux d'assainissement.....	54
Fig IV.3	choix des entrés et des sorties du système d'inférence floue.....	70
Fig IV.4	Fonction d'appartenance concernant « Fissure ».....	71
Fig IV.5	Fonction d'appartenance concernant « Effondrement ».....	71
Fig IV.6	Fonction d'appartenance concernant « Contre pente ».....	71
Fig IV.7	Fonction d'appartenance concernant « Dégradation de surface ».....	71
Fig IV.8	Fonction d'appartenance concernant « Déplacement d'assemblage ».....	72
Fig IV.9	Fonction d'appartenance concernant « Courbure ».....	72
Fig IV.10	Fonction d'appartenance concernant « Dépôts ».....	72
Fig IV.11	Fonction d'appartenance concernant « Pénétration de racines ».....	72
Fig IV.12	Fonction d'appartenance concernant « branchements illicites ».....	73
Fig IV.13	Fonction d'appartenance concernant « remplacement ».....	73

Fig IV.14	Fonction d'appartenance concernant « Rénovation ».....	73
Fig IV.15	Fonction d'appartenance concernant « Réparation ».....	73
Fig IV.16.	Fonction d'appartenance concernant « DSC ».....	74
Fig IV.17	Fenêtre de l'éditeur de règles qui définit le comportement du système d'inférence floue.....	75
Fig IV.18.	Fenêtre principale de l'observateur de règles du système d'inférence flou....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.2	Autres cassures pouvant survenir au niveau des réseaux.....	25
Tableau III.1	Echelle de Saaty.....	37
Tableau III.2	Transformation des chiffres AHP en FAHP.....	38
Tableau III.3	Les valeurs du Random Index RI.....	40
Tableau III.4	Comparaison entre les deux méthodes (FAHP et Logique floue).....	47
Tableau IV.1	Pluie moyenne mensuelle de la station de Bejaia.....	50
Tableau IV.2	Température moyenne mensuelle de la station de Bejaia.....	51
Tableau IV.3	Matrice de comparaison par paire des facteurs structuraux.....	55
Tableau IV.4	Matrice de comparaison par paire des facteurs opérationnels.....	55
Tableau IV.5	Matrice de comparaison par paire des facteurs de réhabilitation.....	55
Tableau IV.6	Matrice de comparaison par paire des facteurs de dégradation structurelle des conduites.....	56
Tableau IV.7	Matrice de comparaison par paire des facteurs structuraux (FAHP).....	56
Tableau IV.8	Matrice de comparaison par paire des facteurs opérationnels (FAHP)...	56
Tableau IV.9	Matrice de comparaison par paire des facteurs de réhabilitation (FAHP).....	56
Tableau IV.10	Matrice de comparaison par paire des facteurs de dégradation structurelle des conduites (FAHP).....	57
Tableau IV.11	Matrice de comparaison par paire des facteurs structuraux (FAHP).....	57
Tableau IV.12	Matrice de comparaison par paire des facteurs opérationnels (FAHP)...	57
Tableau IV.13	Matrice de comparaison par paire des facteurs de réhabilitation (FAHP).....	58
Tableau IV.14	Matrice de comparaison par paire des facteurs de dégradation structurelle des conduites (FAHP).....	58
Tableau IV.15	Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs structuraux.....	59
Tableau IV.16	Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs opérationnels...	59
Tableau IV.17	Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs de réhabilitation.....	60
Tableau IV.18	Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs de dégradation structurelle des conduites.....	60
Tableau IV.19	Matrice du poids flou des facteurs structuraux.....	61

Tableau IV.20	Matrice du poids flou des facteurs opérationnels.....	61
Tableau IV.21	Matrice du poids flou des facteurs de réhabilitation.....	62
Tableau IV.22	Matrice du poids flou des facteurs de dégradation structurelle des conduites.....	62
Tableau IV.23	Matrice du poids normalisé des facteurs structuraux.....	63
Tableau IV.24	Matrice du poids normalisé des facteurs opérationnels.....	63
Tableau IV.25	Matrice du poids normalisé des facteurs de réhabilitation.....	64
Tableau IV.26	Matrice du poids normalisé des facteurs de la dégradation structurelle des conduites.....	64
Tableau IV.27	Les performances partielles des facteurs influant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement.....	68
Tableau IV.28	La performance des facteurs structuraux.....	68
Tableau IV.29	La performance des facteurs opérationnels.....	68
Tableau IV.30	La performance des facteurs de réhabilitations.....	69

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AHP	Analyse Hiérarchique Processus
CI	Indice de Consistance
COA	Centre Of Area
CR	Rapport de Cohérence
DSC	Dégradation Structurale des Conduites
EU	Eaux Usées
FAHP	Analyse Hiérarchique Processus floue
H2S	Hydroxydes de Soufre
JC	Jésus-Christ.
ONA	Office Nationale d'Assainissement
PEHD	Polyéthylène Haute Densité.
PVC	Conduites en Polychlorure de Vinyle.
RAU	Réseau d'Assainissement Urbain.
RI	Indice de consistance aléatoire
STEP	Station d'épuration.
V.R.D	Voiries et Réseaux Divers.

LISTE DES SYMBOLES

A_1	Matrice de comparaison.
A_2	Vecteur de poids normalisé.
i	Dimensionnement de la matrice.
n	Nombre d'éléments a comparé.
P_i	performance partielle.
P_{FS}	Performance des Facteurs Structuraux.
P_{FO}	Performance des Facteurs Opérationnels.
P_{FR}	Performance des Facteurs de Réhabilitation.
P_F	Performance « Fissure ».
P_E	Performance « Effondrement ».
P_{CP}	Performance « Contre pente ».
P_{DS}	Performance « Dégradation de surface ».
P_{DA}	Performance « Déplacement d'assemblage ».
P_C	Performance « Courbure ».
P_D	Performance « Dépôt ».
P_{PR}	Performance « Pénétration de racines ».
P_{BI}	Performance « Branchement illicites ».
P_{R1}	Performance « Remplacement ».
P_{R2}	Performance « Rénovation ».
P_{R3}	Performance « Réparation ».
P_{DSC}	Performance de Dégradation Structurale des Conduites.
r_i	La moyenne géométrique floue.
W_i	Poids flou.
W'_i	Poids normalisé.

***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ces dernières années, les gestionnaires de l'Office National de l'Assainissement ONA commencent à s'inquiéter sur l'état de dégradation de leurs réseaux d'assainissement. Cette inquiétude se manifeste par une situation complexe, variante selon les villes du pays. Elle apparait à travers plusieurs paramètres : mauvais état structurel des ouvrages, fuites des eaux usées, effondrement des collecteurs,... etc. Cette difficulté de gestion revient essentiellement à la diversité des matériaux composant les conduites d'assainissement, à sa longueur totale et à sa liaison avec d'autres réseaux publics (eau potable, gaz, électricité...etc.) (BEDJOU et *al*, 2018). En effet, le manque de réglementation, de financement insuffisant, de déperdition de compétences humaines et le manque d'une méthodologie structurée et d'informations à tous les niveaux rendent la résolution de ces problèmes de plus en plus difficile (BENZERRA et *al*, 2012 ; BOUKHARI et *al*, 2017 ; HAMCHAOUI et *al*, 2015). Le constat réalisé par ces chercheurs est très alarmant. En effet, l'état de dégradation prend des allures accélérées en vue des dysfonctionnements observés lors de chaque précipitation.

Cependant, le problème de la dégradation va au-delà de ces difficultés de nature physique. Il se trouve dans le fait que les capacités réelles des équipements semblent ne pas être compatibles avec de l'augmentation : de la population urbaine, des espaces imperméables et des nouvelles exigences de la politique de développement durable. En effet, cette stratégie cherche la mise en œuvre d'un panel d'objectifs de gestion de la qualité de service rendu aux usagers.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude. En fait, nous nous intéressons plus particulièrement aux dégradations structurelles qui touchent les conduites d'assainissement, notamment aux différents facteurs qui peuvent être à l'origine de l'accélération de ce processus.

Plusieurs chercheurs scientifiques se sont intéressés à l'identification de critères contribuant à la dégradation structurelle. Mais au niveau national, très peu de travaux ont été consacrés à cette problématique. Pour cela, nous allons nous intéresser précisément à l'élaboration d'un système d'aide à l'évaluation structurale des conduites d'assainissement urbain de la ville de Bejaïa. Elle est basée sur l'identification des facteurs de dégradation associés à des fonctions de performance. Cette tâche doit respecter les spécificités locales de la région, tout en prenant en compte la disponibilité des données nécessaires à l'étude.

Pour mener à bien cette démarche, l'étude est présentée en quatre chapitres. Le premier chapitre présente un aperçu général sur le réseau d'assainissement, ses caractéristiques ainsi que les différents éléments qui le constituent.

Le deuxième chapitre traite la problématique de la dégradation structurelle des réseaux d'assainissement urbains. Dans un premier temps, nous allons exposer les facteurs et les causes principales de l'apparition et de l'évolution de ce phénomène et les risques qu'elle peut engendrer. Par la suite, nous allons développer les différentes actions menées sur le réseau

afin de remédier à ce problème. En dernière partie, nous allons donner un petit aperçu sur la dégradation structurelle en Algérie et le type d'interventions réalisées par l'ONA.

Concernant le troisième chapitre, il sera l'objet de présentation de deux méthodes d'aide à la décision: la méthode *Fuzzy* AHP et la logique floue. La FAHP est le résultat de la combinaison entre la méthode AHP et la logique floue. Une section entièrement consacrée à la critique de ces méthodes est présentée en fin de chapitre.

Enfin, le quatrième chapitre concerne la mise en application des deux méthodes FAHP et la logique floue sur un cas réel, la ville de Bejaïa. Enfin, nous terminons par l'évaluation de la performance de la gestion structurelle de l'ONA. Une interprétation des résultats est effectuée en conséquence.

PARTIE I

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I

Aperçu général sur les réseaux d'assainissement

I.1. Introduction

L'assainissement désigne l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement des eaux usées et pluviales avant leurs rejet dans le milieu naturel.

L'assainissement des eaux est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. L'absence ou la dégradation des systèmes d'assainissement est une cause importante de naissance des dégâts dans les centres urbains.

Dans ce présent chapitre, on va essayer d'abord, de définir le réseau et le système d'assainissement et de décrire leurs composants les plus pertinents, pour l'analyse du phénomène de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement et de donner les bases d'information nécessaires à notre recherche.

I.2. Histoire de l'assainissement

Au VI^e siècle av. J.-C., Rome était déjà pourvu d'un grand collecteur récupérant les eaux usées de la ville pour les jeter dans le Tibre (fleuve italien qui se jette dans la mer Tyrrhénienne). Cette construction resta malheureusement une exception historique qui ne fut pas amenée à se généraliser.

En effet, dès le Moyen-âge, les systèmes d'évacuation des eaux sales mis au point par les Romains ne sont plus utilisés. Conséquence de cet abandon, la mode du « tout à la rue » commence à se démocratiser dans les grandes villes. C'est par ailleurs, cette absence d'évacuation des eaux usées qui favorisa la transmission du bacille de la Peste en 1348, causant la mort de près de 1/3 de la population française.

C'est en 1854 que l'ingénieur hydrologue Eugène Belgrand, sous les ordres du Préfet Haussmann, mit en place un réseau d'égout pour acheminer les effluents vers la Seine en aval. En 1894, la réglementation en vigueur contraignit les immeubles parisiens à déverser eaux pluviales et usées dans les canalisations nouvellement créées. Celles-ci se chargeant alors de les transporter, dans un réseau dit « unitaire », jusqu'à l'aval de la Seine. Le tout-à-l'égout était né¹.



Fig I.1. Grand égout dans la Rome antique. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

¹ Site : <http://www.le-blog-du-syage.org/une-petite-histoire-de-l-assainissement/>, publié 23 mars 2016.

I.3. Définition d'un réseau d'assainissement

D'après (BENGASSEM, 2001), les réseaux d'assainissement urbains (RAU) sont constitués d'un ensemble d'ouvrages hydrauliques comprenant des conduites, des regards, des puisards, des stations de pompage, des bassins de rétention et de différents ouvrages de contrôle. Leur mission se résume la collecte et l'évacuation adéquate des eaux usées et pluviales vers une station de traitement ou vers un lieu de déversement approprié.

I.4. L'objectif de l'assainissement

L'objectif de l'assainissement est de collecter les eaux usées et les eaux pluviales et de les faire diriger sous l'effet de la gravité vers :

- Un cours d'eau naturel ;
- Une station de traitement et d'épuration (STEP).

Dans le but de :

- Protéger la santé publique et la préserver ;
- Protéger l'environnement contre les rejets des eaux usées ;
- Lutter contre les inondations.

I.5. La nature des rejets

Généralement, il existe deux types de rejets :

- Eaux usées altérées par l'utilisation humaine (domestique ou industrielle) ;
- Eaux pluviales et de ruissellement.

Le rejet des eaux d'assainissement contient différentes substances polluantes et beaucoup de matière organique, ce qui provoque de graves conséquences sur l'hygiène publique et le milieu naturel. Dans ce qui suit, nous allons synthétiser quelques impacts des effluents d'assainissement sur l'environnement.

I.6. Les effluents et leur impact sur la structure des conduites d'assainissement

I.6.1. Les effluents d'assainissement

Il existe trois catégories d'effluents d'assainissement :

a) Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères (qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques,... etc) ; et en eaux vannes (il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux).

b) Les eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte.

Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

c) Les eaux pluviales et de ruissellement

Ces eaux peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit unitaire, les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement délestage de ce mélange très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

I.6.2. L'impact sur la structure des conduites d'assainissement

L'érosion à l'intrados de l'ouvrage se manifeste par entraînement de disparition de matériau réduisant l'épaisseur de la conduite.

La corrosion (attaque chimique à partir de l'effluent) intervient généralement sur la partie baignée de la conduite, mais elle peut aussi se manifester dans la partie non baignée de la conduite (attaque acide due à la production d'H₂S).

Pour les conduites en béton ou fibre ciment, le liant est attaqué, ce qui entraîne le déchaussement des granulats, la corrosion des armatures et la décompression des fibres. L'abrasion intervient principalement dans la partie baignée par l'effluent.

L'érosion est un phénomène évolutif qui peut atteindre toute l'épaisseur de la conduite et conduire à sa ruine.

I.7. Les différents types des réseaux d'assainissement

Les systèmes d'évacuation des eaux désignent l'ensemble des conduites et des appareillages permettent l'évacuation des eaux captées par le réseau d'assainissement.

Selon la nature des effluents transportés par le réseau (les eaux usées domestiques, industrielles ou les eaux pluviales et de ruissellement), on distingue :

I.7.1. Le réseau séparatif consiste à effectuer un réseau d'évacuation des eaux usées domestiques (eaux de vannes et eaux ménagères) et avec des réserves, certains effluents industriels. Par ailleurs, l'évacuation de toutes les eaux pluviales est assurée par un autre réseau.

I.7.1.1. Domaine d'utilisation : le système séparatif est celui adopté par un grand nombre de petites et moyennes agglomérations. On l'adopte également lorsque le réseau d'égouts existant dans la ville centre doit répondre l'extension nécessitée par les zones résidentielles ou industrielles en voie de création. (SATIN et al, 2006)

I.7.1.2. Avantages :

- Il assure à la station d'épuration un fonctionnement régulier parce que les eaux à traiter nécessitent des débits faibles et réguliers ;
- Diminution des sections des collecteurs ;
- Éviter le risque de débordement des eaux usées dans le milieu naturel ;
- Adapter à une population relativement dispersée.

I.7.1.3. Inconvénients :

- Encombrement important du sous-sol ;
- Coût d'investissement élevé ;
- Risque important d'erreur de branchement.

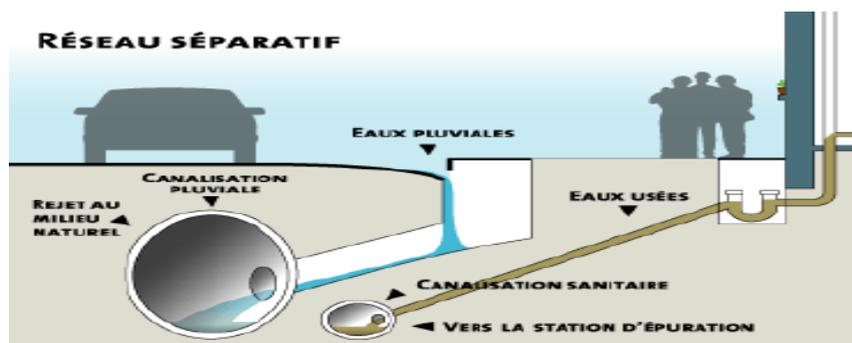


Fig I.2. Schéma d'un réseau séparatif. (BEGGAS et LIHIU, 2014)

I.7.2. Le réseau unitaire appelé aussi « tout-à-l'égout », est un système dont l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales est assurée par un seul réseau. Lorsque la capacité de la station d'épuration (STEP) est dépassée, le surplus de ces eaux usées est rejeté directement par des déversoirs d'orage.

I.7.2.1. Domaine d'utilisation : le système unitaire s'impose de fait lorsqu'il n'y a plus de possibilité de concevoir économiquement un réseau séparatif et une reprise de branchement particulière. Il serait également souhaitable lorsque l'urbanisation d'un secteur est en perpétuelle transformation. (SATIN et al, 2006)

I.7.2.2. Avantages :

- Le système unitaire présente l'avantage de la simplicité de création ;
- Encombrement réduit de sous-sols ;
- Pas de risque d'inversion de branchement ;
- Le coût d'investissement réduit.

I.7.2.3. Inconvénients :

- Débit à la STEP est très variable ;
- Apport de sable important à la STEP ;
- Le rejet direct vers le milieu récepteur du mélange (des eaux usées et eaux pluviales) au droit des déversoirs d'orage ;
- Réduction de rendement de la STEP en raison de la variabilité de la qualité des effluents reçus.

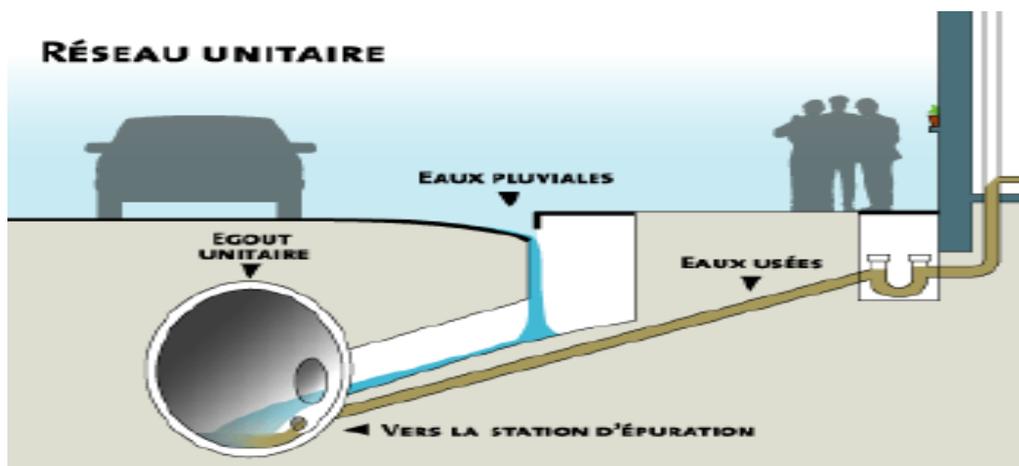


Fig I.3. schéma d'un réseau unitaire. (BEGGAS et LIHIU, 2014)

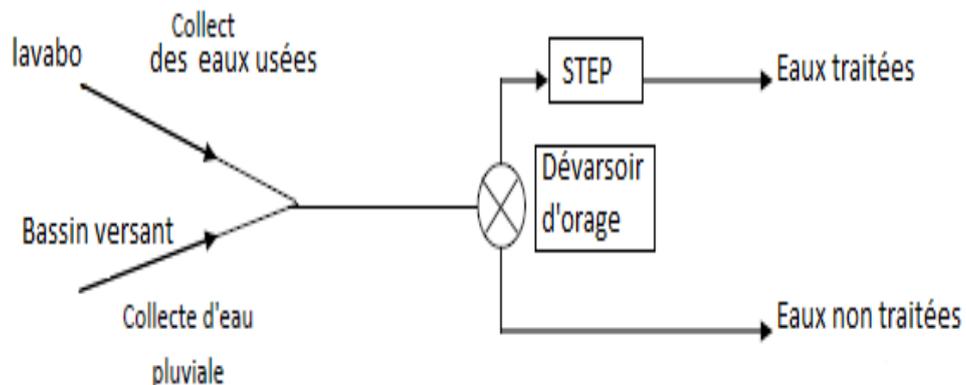


Fig I.4. Schéma explicatif d'un réseau unitaire. (GHODBANE, 2016)

I.7.3. Le réseau pseudo-séparatif le système pseudo-séparatif, actuellement peu préconisé dans la conception d'un nouvel équipement, est un système dans lequel on devise les apports d'eaux pluviales en deux parties :

- La première provenant uniquement des surfaces de voirie, qui s'écoule par les ouvrages particuliers déjà conçus pour cet objet par les services de la voirie municipale : caniveaux, aqueducs, fausses avec évacuation directe dans la nature ;
- La deuxième provenant des toitures et cours intérieures qui sont raccordées au réseau d'assainissement, à l'aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques. On regroupe ainsi les évacuations des eaux d'un même immeuble.

I.7.3.1. Domaine d'utilisation : ce système a été retenu dans de nombreuses zones suburbaines où les habitations sont relativement proches les unes des autres. Ce sont, par exemple, des centres d'agglomérations implantées en secteur rural. (SATIN et al, 2006)

I.7.3.2. Avantages :

- Le problème des faux branchements est éliminé ;
- La plus grande partie des eaux pluviales étant acheminées en de hors de l'agglomération, ce qui nous donne des collecteurs traversant la ville de moindre dimension.

I.7.3.3. Inconvénient :

- Le fonctionnement de la STEP est perturbé, la charge polluante est variable en qualité et en quantité.

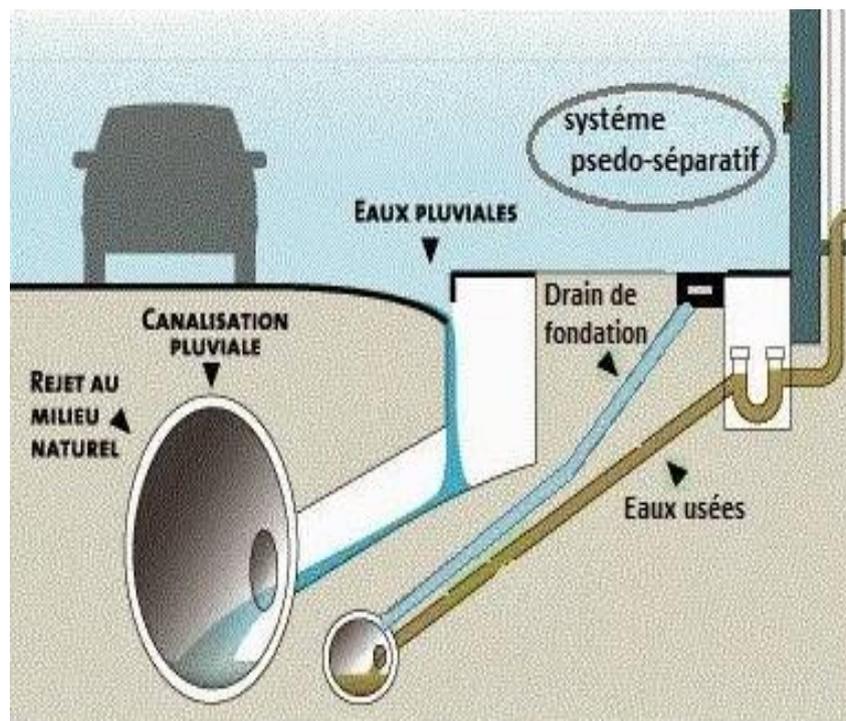


Fig I.5. Schéma d'un réseau pseudo-séparatif. (BEGGAS et LIHIU, 2014)

I.8. Les éléments constitutifs du réseau d'égout

D'après (BOUKHOBZA, 2016), un réseau d'assainissement a pour fonction la collecte des eaux usées et pluviales, et pour objectif la protection du milieu naturel ; il constitue un équipement public essentiel. Il doit être parfaitement étanche, même en cas de mouvement de terrain ; il assure l'écoulement rapide des eaux usées ou des eaux pluviales, et doit avoir un degré très élevé de durabilité.

Les ouvrages d'assainissement comprennent des ouvrages principaux et des ouvrages annexes. (SATIN et al, 2006)

- Les ouvrages principaux qui correspondent au développement de l'ensemble du réseau jusqu'à l'entrée des effluents dans la station d'épuration, ou l'évacuation de ces derniers hors des agglomérations.
- Les ouvrages annexes qui constituent toutes les constructions et les installations ayant pour but de permettre l'exploitation rationnelle et correcte du réseau (bouches d'égout, regards, déversoirs d'orage... etc.).

I.8.1. Les ouvrages principaux

Les ouvrages principaux correspondent aux ouvrages d'évacuation des effluents vers le point de rejet ou vers la station d'épuration ; ils comprennent les conduites et les joints. (BOUKHOBZA, 2016)

I.8.1.1. Les canalisations

Elles se présentent sous plusieurs formes cylindriques préfabriquées en usine, et sont désignées par leurs diamètres intérieurs, dis diamètres nominaux exprimés en millimètre ; ou ovoïdes préfabriqués désignés par leur hauteur exprimée en centimètre. (BOUKHOBZA, 2016)

Ces tuyaux se présentent par tronçons de diamètre croissant de l'amont vers l'aval ; suivant la grandeur de leur section, on les classe ainsi :

- Collecteur primaire, pour les grands diamètres supérieurs à 0.80 m ;
- Collecteur secondaire, pour les diamètres moyens compris entre 0.30 et 0.80 m ;
- Collecteurs tertiaires, pour les conduites inférieures à 0.30 m.

On réserve l'appellation de « collecteurs visitables » aux grands diamètres ou aux sections spéciales. (SATIN et al, 2006)

a. Type de canalisations

Il existe plusieurs types de conduites qui sont différentes suivant leur matériau et leur destination :

- Conduites en béton non armé ;
- Conduites en béton armé ;
- Conduites en amiante-ciment;
- Conduites en grés;
- Conduites en polychlorure de vinyle (PVC) non plastifié ;
- Conduites en fonte.

➤ *Conduites en béton non armé*

Les tuyaux en béton non armé sont fabriqués mécaniquement par un procédé assurant une compacité élevée du béton (compression radiale, vibration, centrifugation... etc.). La longueur utile ne doit pas dépasser 2,50 m. (SATIN et al, 2006)



Fig I.6. Conduites en béton non armé. (BEGGAS et LIHIU, 2014)

➤ *Conduites en béton armé*

Les tuyaux en béton armé sont fabriqués mécaniquement assurant une compacité élevée du béton (centrifugation, compression radiale, vibration... etc.). Pour pouvoir d'être « armé », un tuyau doit comporter deux séries d'armatures :

- Des barres droites appelées « génératrices » ;
- Des spires en hélice continuant, d'un pas régulier maximal de 15 cm. (SATIN et al, 2006)



Fig I.7. Conduites en béton armé. (BECK, 2008)

➤ *Conduites en amiante-ciment*

L'amiante est un matériau à texture fibreuse (silicate de magnésium, sodium, fer) que l'on mélange au ciment ; on obtient alors un matériau composite que l'on désigne par l'expression « fibres-ciments ».



Fig I.8. Conduites en amiante-ciment. (BEGGAS et LIHIU, 2014)

➤ *Conduites en grès*

Le grès servant à la fabrication des tuyaux est obtenu à parties égales d'argile et de sable argileux cuits entre 1200 °C à 1300 °C. Le matériau obtenu est très imperméable. Il est inattaquable par les agents chimiques, sauf l'acide fluorhydrique (HF). L'utilisation de ce type de canalisation est recommandée dans la zone industrielle. Les parois intérieures très lisses permettent une très faible perte de charge et la longueur minimale utile des tuyaux est de 1 m.

➤ *Conduite en PVC*

Le tuyau en PVC s'utilise principalement pour les évacuations des eaux usées où il a supplanté le plomb. Ces tubes sont d'un usage pratique par leur légèreté et leur relative facilité à mettre en œuvre. Les caractéristiques du (PVC) sont :

- Matière plastifiée de synthèse polychlorure de vinyle (CH₂-CHCL) ;
- Imperméable ;
- Facilite du transport et du branchement ;

- Légère de poids ;
- Résistance aux gaz chimiques ;
- Capacité hydraulique maximale ;
- Étanchéité ;
- Résistance mécanique aux chocs, à l'abrasion et à la corrosion ;
- Recyclable. (BEGGAS et LIHIOU, 2014)



Fig I.9. Conduites en PVC.

➤ *Conduites en fonte*

D'après (GHODBANE, 2016), les conduites en fonte sont rarement utilisées en assainissement, sauf dans le cas où on traverse des terrains hydrominéraux.

b. Choix du matériau constitutif des canalisations

Le choix du matériau constitutif des canalisations doit se faire en tenant compte d'un certain nombre de critères technico-économiques. Ces critères sont principalement :

- La pente de terrain ;
- La nature du sous-sol traversé ;
- La nature des effluents évacués dans le réseau ;
- Le volume de ces effluents ;
- Les charges mécaniques exercées sur l'étendue de chaque section de réseau ;
- Le souci de respecter l'environnement.

Alors, diverses solutions sont possibles, et il faut choisir, pour chaque cas, le matériau offrant le meilleur compromis entre la fiabilité et les coûts. (SATIN et al, 2006)

I.8.1.2 Les joints

D'après (NEGADI, 2016), le choix judicieux des assemblages est lié à la qualité du joint. Ce dernier est fonction de la nature des eaux et de leur adaptation vis-à-vis de la stabilité du sol et fonction de la nature des tuyaux et de leurs caractéristiques (diamètre, épaisseur).

Pour les tuyaux en béton armé, on a différents types de joints à utiliser :

➤ **Joint type « ROCLA »**

Il est valable pour toutes les conduites et assurant une bonne étanchéité contrent les eaux véhiculées et les eaux externes.

➤ **Joint « torique »**

Il est utilisé pour des diamètres variantes entre 700 et 900 mm, pour les sols faibles. Il assure une bonne étanchéité pour les faibles pressions.

➤ **Joint à demi-emboîtement**

Il est utilisé dans les terrains stables, avec des pressions faibles, il est à éviter pour des terrains à forte pente.

➤ **Joint à collet**

Utilisé pour des terrains à faibles pentes et si la pression augmente, le joint ne résiste pas à la charge due à l'eau.

➤ **Joint plastique**

À présence des bitumes il assure une bonne étanchéité même si la conduite est en charge, ne pas utiliser pour les sols qui tassent.

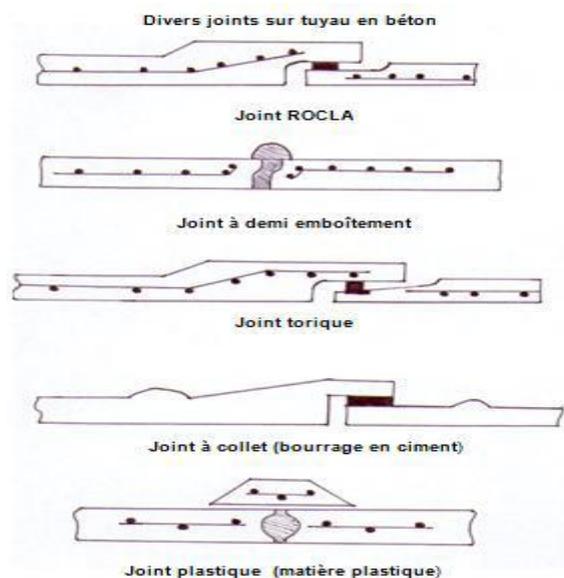


Fig I.10. Type des joints. (NEGADI, 2016)

I.8.2. Les ouvrages annexes

Les ouvrages annexes sont les ouvrages courants indispensables, nous les trouvons aussi bien en amont ou le long des réseaux. Ils assurent généralement la fonction de recette des effluents ou d'accès au réseau.

I.8.2.1. Branchements

Leur rôle est de collecter les eaux usées et les eaux pluviales d'immeubles. Un branchement comprend trois parties essentielles :

- Un regard de façade qui doit être disposé en bordure de la voie publique et au plus près de la façade de la propriété raccordée pour permettre un accès facile aux personnels chargés de l'exploitation et du contrôle du bon fonctionnement du réseau ;
- Des canalisations de branchement qui sont de préférence raccordées sous un angle de 45 ° ou 60 ° par rapport à l'axe général du réseau public ;
- Les dispositifs de raccordement de la canalisation de branchement qui sont liés à la nature et aux dimensions du réseau public. (BEGGAS et LIHIOU, 2014)

I.8.2.2. Fossés

Les fossés sont destinés à recueillir les eaux provenant des chaussées en milieu rural. Ils sont soumis à un entretien périodique, afin de les débarrasser des produits décantés qui peuvent s'y accumuler et provoquer, notamment, des odeurs de fermentation.

I.8.2.3. Caniveaux

Ce sont des accessoires de la voirie, destinés à la collecte des eaux pluviales provenant de la chaussée et éventuellement du trottoir, et au transport de ces eaux jusqu'aux bouches à avaloir ou bouches à grille.



Fig I.11. caniveau

I.8.2.4. Bouches d'égout

Les bouches d'égout sont destinées à collecter les eaux en surface (pluviale et de lavage des chaussées).

On les trouve :

Soit au point bas des caniveaux, soit sous le trottoir. La distance entre deux Bouches d'égout est en moyenne de 50 m, la section d'entrée est en fonction de l'écartement entre les deux bouts afin d'absorber le flot d'orage venant de l'amont. (BEGGAS et LIHIOU, 2014)



Fig I.12. Bouche d'égout. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

I.8.2.5. Les regards

Les regards sont des ouvrages d'accès au réseau, sont en fait des fenêtres par lesquelles le personnel d'entretien pénètre pour assurer le service et la surveillance du réseau.

La distance entre deux regards est variable

- 35 à 50 m en terrain accidenté.
- 50 à 80 m en terrain plat.

Sur les canalisations les regards doivent être installés

- À chaque changement de direction ;
- À chaque jonction de canalisation ;
- Aux points de chute ;
- À chaque changement de pente ;
- À chaque changement de diamètre. (BEGGAS et LIHIOU, 2014)

On peut avoir plusieurs types à savoir :

a) Les regards de chasse

Quand les pentes et les débits sont insuffisants. On dispose en tête de réseau un réservoir de chasse, qui assure le curage de réseau sur certaines longueurs.

Le volume du réservoir de chasse est estimé au dixième (1/10), du volume de la conduite.

b) Les regards de visite

Les regards d'accès sont des éléments constitutifs essentiels à tous les types de réseau d'égout car ils permettent:

- Pour les ouvrages visitables, l'accès des personnels pour les travaux d'entretien et de curage.
- Pour les ouvrages non visitables, l'accès à ceux-ci par des engins de curage ou par les caméras.



Fig I.13. Regard de visite. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

c) Les regards de jonction

Ces regards forment le point d'unification de deux collecteurs de même diamètre ou non. Ils sont construits de telle façon à savoir :

- Une aération des collecteurs en jonction ;
- Les dénivelées entre les radiers des collecteurs.

d) Regard simple

Pour raccordement des collecteurs de mêmes diamètres ou de diamètre différents.

e) Regard latéral

Il est utilisé en cas d'encombrement du Voirie et Réseau divers (V.R.D) ou des collecteurs de diamètre important.

f) Regard double

Ils sont utilisés pour le système séparatif. Une partie est préservée à l'évacuation des eaux usées et l'autre pour les eaux pluviales.

g) *Regard de chute*

Ce sont des regards analogues aux regards de visite, seulement la chute est plus importante, ce type de regard est prévu lorsque les canalisations sont disposées en forte pente, ce qui entraîne des vitesses très importantes, la chute des effluents dans ces regards permet de briser la vitesse d'écoulement. (BEGGAS et LIHIOU, 2014)

I.8.2.6. *Les déversoirs d'orage*

D'après (SATIN et al, 2006), un déversoir d'orage est un orifice, généralement de forme rectangulaire, établie sur le cours d'un écoulement à nappe libre. Sa fonction est d'évacuer les pointes exceptionnelles de débit d'orage vers un milieu récepteur, en d'autres termes, il est prévu pour soulager le réseau sanitaire en période d'orage.

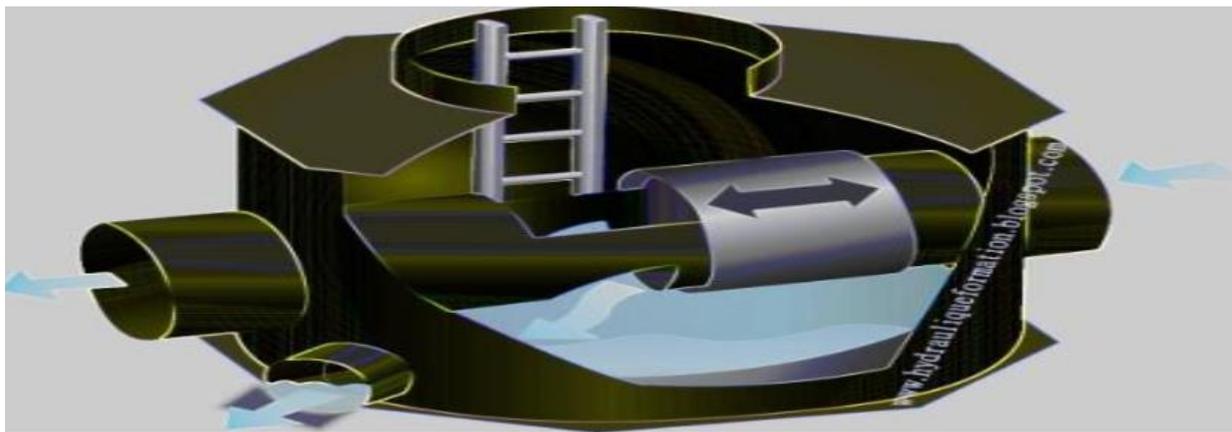


Fig I.14. Déversoir d'orage. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

a) *Emplacement des déversoirs d'orage*

Ils sont placés :

- Avant la station d'épuration pour la régularisation du débit ;
- Au milieu du réseau pour réduire les diamètres des collecteurs, ou décharger un collecteur avant leurs projections, il faut voir :
 - Le milieu récepteur et son équilibre après le rejet des effluents dont il faut établir un degré de dilution en fonction du pouvoir auto épurateur du milieu récepteur ;
 - La capacité et les surfaces des ouvrages de la station d'épuration pour éviter les surcharges et le mauvais fonctionnement ;
 - La topographie du site et la variation des pentes.

b) *Type des déversoirs*

On distingue de différents types des déversoirs selon la pente, l'écoulement, la position de la STEP.

- Les déversoirs à seuil latéral ;
- Les déversoirs à seuil frontal ;
- Les déversoirs avec ouverture du radier ;
- Les déversoirs siphoniques ;

- Les déversoirs automatiques ;
- Les déversoirs à barrage gonflable. (BEGGAS et LIHIOU, 2014)

I.9. Conclusion

Une bonne gestion structurelle d'un système quelconque, nécessite une bonne connaissance des éléments qui le composent. En effet, dans ce premier chapitre, nous avons fait un tour d'horizons sur les différentes notions de base, les composantes principales et les accessoires associées aux réseaux d'assainissement urbain.

Cependant, une bonne exploitation d'un réseau d'assainissement exige de faire un bon choix des conduites ainsi que d'autres ouvrages, en fonction : de la topographie du terrain, la nature des effluents transportés et les exigences normatives respectueuses de la santé publique et de l'environnement.

CHAPITRE II

Problématique de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement

II.1. Introduction

Les éléments qui constituent un réseau d'assainissement, sont soumis à des sollicitations en continu qui les détériorent peu à peu. La structure du réseau peut être usée et même en mauvais état sans être reconnue comme dégradée, tant que l'écart entre la performance fonctionnelle de l'ouvrage et ses finalités n'existe pas.

En assainissement, le terme dégradation est couramment utilisé pour caractériser le mauvais état des équipements (réseaux), ou des ouvrages. Mais, qu'est-ce qui détermine, en fait, le caractère dégradé d'un réseau d'assainissement ?

Dans ce chapitre, on porte sur l'étude de la problématique de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement. On va essayer de définir le concept de dégradation et de développer un schéma d'analyse théorique de ce phénomène sur une base des critères de bonne performance du réseau que nous allons établir.

Au premier temps, nous allons essayer d'identifier les facteurs et les causes du problème de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement. Au deuxième temps, nous allons essayer d'approfondir la question des techniques de réhabilitation en tant que remède à ce type de phénomène. A la fin, nous allons définir les dégradations qui touchent la structure des réseaux d'assainissement et les interventions faites par le service d'ONA en Algérie.

II.2. Définition de dégradation

Un réseau d'assainissement est dit dégradé lorsqu'il est incapable d'assurer les conditions nécessaires à la réalisation des objectifs qui lui sont assignés. La dégradation est quantifiée par l'écart existant entre l'état réel (performance actuelle) et l'état prévu (performance optimale). (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)



Fig II.1. Dégradation structurelle d'une conduite d'assainissement. (MECHRI et al, 2010)

II.3. Etats de dégradation

D'après (TRIANTA-LLOU, 2008), l'état de dégradation d'un ouvrage d'assainissement ne s'identifie pas à l'accumulation d'un certain nombre d'anomalies, mais il se réfère au dysfonctionnement des équipements et il caractérise, précisément, l'écart existant entre les finalités associées au réseau et sa performance réelle.

Le déclenchement d'un état de dégradation signifie, autrement dit, que la performance fonctionnelle de l'ouvrage devient désormais incompatible avec le rôle du système d'assainissement. Cette situation dépend, bien sûr, des conditions socio-économiques reconnues comme étant déterminantes des objectifs de gestion de système d'assainissement. Les gestionnaires se soucient souvent de l'état de son patrimoine sans que la dégradation soit reconnue explicitement. En effet, tant que l'écart entre la performance fonctionnelle des ouvrages et ses finalités n'existe pas, la dégradation reste implicite.

II.4. Conditions qui déterminent le comportement des équipements

Il existe quatre types principaux de conditions qui déterminent le comportement des équipements :

II.4.1. La construction initiale du réseau concerne la qualité des matériaux qui composent les équipements, les conditions de leur construction et de leur pose. Elle influe considérablement sur l'évolution de la structure des ouvrages en conditionnant l'adéquation ou non de la structure vis-à-vis des contraintes exercées.

II.4.2. L'âge du réseau se reflète sur l'état de vieillissement de son matériel et sur les techniques utilisées pour l'installation initiale des canalisations. En effet, l'âge de l'ouvrage, en définissant le moment de sa construction, détermine aussi les moyens utilisés pour son installation.

II.4.3. L'usage du réseau le mode d'usage du réseau dépend de la nature des effluents déversés dans les canalisations, de même que des charges exercées sur les parois externes des canalisations. La nature des effluents est liée à la fonction d'utilisation des équipements. Elle est définie par les mœurs des habitants et du contrôle des usagers par les agents exploitants du service. En outre, les contraintes exercées à l'extérieur des canalisations dépendent de la nature du milieu environnant (acidité du sol, rôle du trafic, présence d'autres services au voisinage du réseau).

II.4.4. L'entretien du réseau représente le souci du service d'assainissement pour conserver les équipements en bon état ; un niveau satisfaisant d'entretien pouvant, en effet, prévenir ou retarder le processus de la détérioration. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

II.5. Types de dégradation des réseaux d'assainissement

D'après (ENNAOURI, 2010), la dégradation d'un réseau d'égout peut être définie comme étant son incapacité à évacuer les eaux sanitaires et pluviales sans surcharge hydraulique, avec un certain impact sur l'environnement et la conservation de la bonne intégrité structurelle. Il est à noter qu'il y a trois types de dégradation :

II.5.1. Dégradation hydraulique

C'est l'incapacité de l'égout à transporter le débit de conception sans dommages à la propriété. Un tronçon est dit défaillant quand il n'est plus capable d'évacuer adéquatement le débit de design pluvial et sanitaire. De plus, il suffit parfois qu'un tronçon soit défaillant pour juger le dysfonctionnement de l'ensemble du réseau. En effet, une surcharge observée au niveau d'une conduite peut être causée par elle-même et/ou par autres conduites en aval. Cette dégradation se manifeste par les inondations suite à l'augmentation des débits de ruissellement, l'augmentation de la rugosité par usure ou excentricité des joints et la présence d'obstacles et de sédiments par manque d'entretien.

II.5.2. Dégradation structurelle

Elle représente en général le mauvais état physique d'un tronçon de conduite. Le réseau d'égout est compté parmi les infrastructures souterraines, se mettant en contact d'une façon permanente avec le milieu environnant. L'état du sol représente l'assise de la conduite. En effet, il lui sert de soutien latéral. La sollicitation des charges statiques permanentes et les charges dynamiques, liées au trafic routier, fait aussi partie du milieu environnant.

L'ensemble de ces facteurs associés au vieillissement du réseau et la qualité de la maintenance représentent les causes principales de la dégradation structurelle. Cette dernière peut ainsi perturber la stabilité du réseau et son fonctionnement et occasionner éventuellement des problèmes d'infiltration et d'exfiltration.

II.6.3. Dégradation environnementale

La dégradation environnementale la plus commune est le déversement des eaux unitaires par les déversoirs d'orage en temps de pluie. Il se manifeste quand la fréquence annuelle des déversements (sans traitement) dépasse largement la valeur prévue.

Dans notre étude, nous nous intéressons particulièrement à la dégradation structurelle des réseaux d'assainissement.

II.6. Facteurs de dégradation structurelle des réseaux d'assainissement

Plusieurs facteurs influant la dégradation structurelle des réseaux d'assainissement, on trouve des facteurs :

II.6.1. Liés à la construction

- Méthode de pose;
- Qualité de la pose;
- Diamètre du collecteur;
- Profondeur du collecteur;
- Lit de pose;
- Matériau du collecteur;
- Type de joint et matériau du joint;
- Longueur unitaire de collecteur;
- Branchement.

II.6.2. Externes locaux

- Activité de surface;
- Type de surface (chargement);
- Trafic de surface;
- Casse de collecteur d'eau potable / fuite;
- Mouvement du sol;
- Autres réseaux enterrés et travaux relatifs;
- Niveau de la nappe;
- Infiltration / Exfiltration
- Type de sol / matériau de remblai;
- Racines.

II.6.3. Autres facteurs

- Caractéristiques de l'effluent;
- Utilisation de méthodes de maintenance inadaptées;
- Âge du patrimoine;
- Présence de rats. (DAVIES et al, 2001)

II.7. Principales causes de dégradation des réseaux d'assainissement

Les gestionnaires de systèmes d'assainissement se trouvent trop souvent face à des réseaux qui vieillissent mal du fait :

- D'une étude de conception insuffisante (sous dimensionnement, pentes et profondeurs insuffisantes) ;
- D'une mauvaise qualité de réalisation et de pose (défaut de pente, d'étanchéité, de choix de matériaux de remblaiement, de la confection du lit de pose, de compactage,... etc.) ;
- D'un choix de matériaux inadapté ;
- De mauvaises conditions d'exploitation et un manque d'entretien.

L'environnement des canalisations génère un certain nombre de risques de dégradation qui peuvent être liés :

- Aux terrains (risques géotechniques et hydrogéologiques) ;
- A l'effluent transporté (risques hydrauliques) ;
- A l'ouvrage lui-même (risques structurels) ;
- Au milieu environnant (risques d'impacts).

Dans notre recherche, nous nous intéressons uniquement aux risques de dégradation liés à l'ouvrage lui-même (risques structurels).

II.7.1. Risques structurels

II.7.1.1. Les charges statiques et dynamiques

Une canalisation est d'autant plus sensible aux charges dynamiques qu'elle est plus proche de la surface et aux charges statiques qu'elle en est plus éloignée.

II.7.1.2. Maintenance

D'après (BERLAND, 2004), l'observation régulière et sérieuse des conduites est une condition impérative pour la prévention de sa dégradation et de ses dysfonctionnements. La négligence en matière d'entretien constitue un facteur de risque aggravant.

II.7.1.3. Construction

Une mauvaise conception et des mauvaises conditions de mise en œuvre constituent un facteur de risque aggravant.

La vulnérabilité des ouvrages est fortement accrue par :

- L'inadaptation des techniques d'exécution ;
- La mauvaise maîtrise de ces techniques ;
- La rencontre d'aléas géologiques, pour lesquels les techniques d'exécution et la structure ont été mal adaptées. (BERLAND, 2004)

II.8. Les défaillances des réseaux d'assainissement

D'après (BENGASSEM, 2001), les défaillances des RAU sont dues aux différents facteurs tels que le vieillissement, l'expansion de l'urbanisation, l'usure, le défaut de conception ou de construction, la mauvaise ou parfois même le manque de gestion ainsi que les changements de condition de rejet.

Les défaillances peuvent être classifiées en deux catégories :

- a) Fonctionnelles ou hydrauliques qui sont nuisibles à l'évacuation adéquate des eaux et affectent directement la performance hydraulique ;
- b) Structurelles qui résultent de l'affaiblissement de la structure sous l'action de l'environnement où elle se trouve.

Ces deux types de défaillance sont étroitement liés. Selon la position de la nappe, par exemple, une défaillance structurelle peut favoriser l'infiltration ou l'exfiltration d'eau, ce qui entraîne des conséquences graves et diverses sur le fonctionnement du réseau.

II.8.1. La défaillance structurelle des réseaux d'assainissement

Le fait que le RAU soit une infrastructure souterraine, induit un contact permanent et des influences entre les ouvrages enterrés (conduites, collecteur, intercepteur, émissaire ... etc.) et le milieu environnant. L'état du sol entourant la conduite est d'une importance fondamentale, la stabilité d'une conduite dépend en grande partie du soutien latéral fourni par le sol. La sollicitation des charges statiques qui sont appliquées sur la conduite en permanence et les charges dynamiques, liées au trafic routier ou ferroviaire, fait aussi partie du milieu environnant. Tous ces facteurs jumelés au vieillissement du réseau et à la qualité de maintenance sont les principales causes des défaillances structurelles.

Les mécanismes associés au vieillissement sont nombreux et variés. Parmi ceux qui sont habituellement visibles et plus fréquents, on cite: l'usure, la corrosion, la mauvaise assise. Par contre, d'autres tels que le vieillissement naturel des matériaux, sont difficiles à détecter de façon systématique. Les causes de ces mécanismes de vieillissement sont principalement liées à l'environnement des structures, elles peuvent être des surcharges fréquentes ou des régimes hydrauliques transitoires.

Les défaillances structurelles sont repérées généralement par des techniques d'auscultation. Elles sont causées généralement par:

- Les petites fissures (mauvaise assises, charges verticales excessives ... etc.);
- Les joints non étanches;
- L'interférence avec d'autres structures;
- L'excavation de tranchée à proximité.

Une dégradation structurelle, de son côté, influence la stabilité de la structure du réseau et, par conséquent, le fonctionnement du réseau. Elle peut aussi occasionner des problèmes d'infiltration et d'exfiltration. (BENGASSEM, 2001)

II.9. Les défaillances structurelles des réseaux d'assainissement et leurs conséquences

Les conséquences de défaillances structurelles des réseaux d'assainissement peuvent être classées en cinq familles distinctes, classées en ordre décroissant par rapport aux risques structurels potentiels qui s'y rattachent et donc par rapport aux besoins de restructuration qu'elles engendrent. Il s'agit :

- Des cassures.
- Des déformations.
- Des défauts d'étanchéité.
- Des anomalies ponctuelles.
- Les dégradations de parements.

II.9.1. Les cassures

Les cassures sont l'une des familles de dégradations les plus liées à des risques structurels. Leurs conséquences sur l'intégrité de la structure des conduites sont lourdes et elles sont à l'origine de dysfonctionnements comme :

- D'une part, la perturbation des écoulements ;
- D'autre part, les entrées d'eaux parasites de nappe et des fuites d'effluent. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

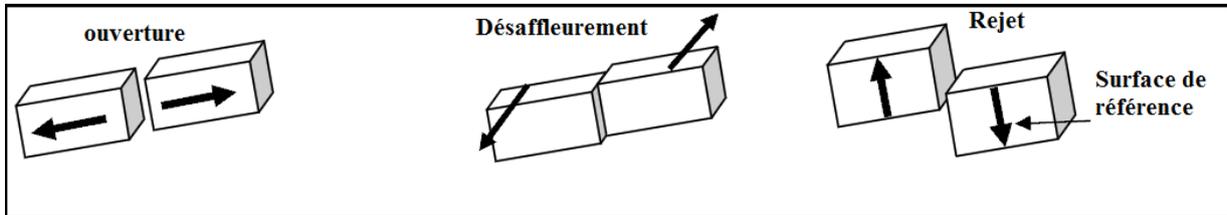


Fig II.2. Mouvements relatifs lèvres d'une fissure. (BERLAND, 2004)

Tableau II.1. Autres cassures pouvant survenir au niveau des réseaux. (JEAN-MARC BERLAND, 2004)

Nom	Définition description	Caractéristiques	Conséquences
Effondrement	Un effondrement est une rupture localisée d'une partie de la conduite désolidarisée du reste de la structure. Un effondrement donne lieu, en général, à la création d'une cavité béante dans la structure de la conduite.	Lorsque l'effondrement affecte la voûte de la conduite, la chute des matériaux concernés, pendants ou tombés, obstrue partiellement ou totalement l'ouvrage.	–Un effondrement traduit la ruine de la conduite. Les infiltrations et exfiltrations sont abondantes et donnent lieu à d'importants phénomènes d'entraînement des fines et de décompression des terrains adjacents.

II.9.2. Les déformations

Les déformations relèvent, comme les cassures, d'une famille de dégradations liées à des risques structurels. Elles sont à l'origine de désordres fonctionnels : perturbation des écoulements, infiltrations / exfiltrations.

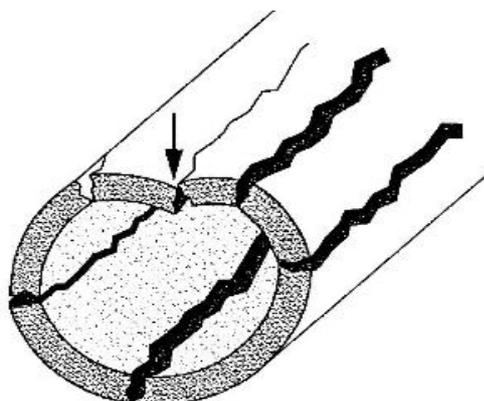


Fig II.3. Déformation de conduite. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

II.9.3. Les défauts d'étanchéité

L'autre famille de défaillances pouvant être constatée au niveau des réseaux d'assainissement est constituée par les défauts d'étanchéité. Ces dégradations peuvent être liées aux cassures et aux déformations et sont à l'origine de dysfonctionnements essentiellement hydrauliques.

- **Infiltration** : Introduction d'eaux parasites dans l'ouvrage par suite d'un défaut d'étanchéité.
- **Exfiltration** : L'exfiltration est une perte d'effluent à travers l'ouvrage par suite d'un défaut d'étanchéité.

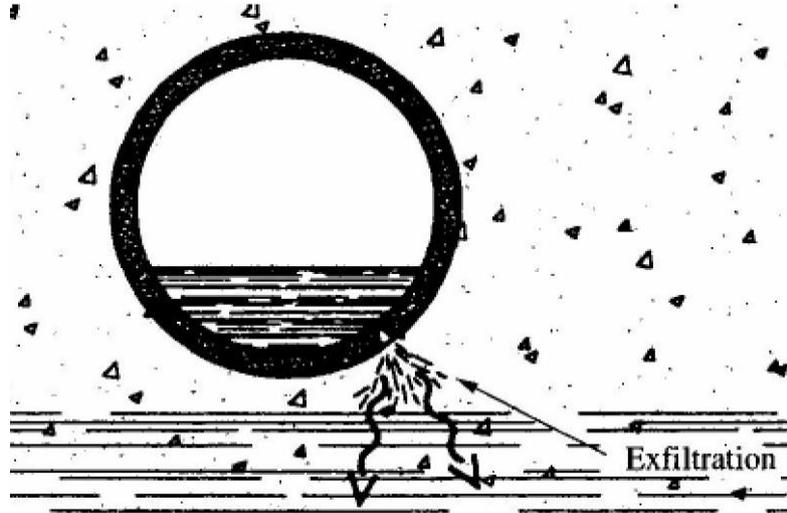


Fig II.4. Exfiltration de conduite. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

II.9.4. Les dégradations de parements

Les dégradations superficielles constituent une famille de désordres sans caractère de gravité immédiate mais qui peuvent s'amplifier et justifier, de ce fait, une démarche de réhabilitation. Les dégradations de parement tel que le décolllement d'enduit et le dé-jointement ne concernent que les ouvrages en maçonnerie. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)



Fig II.5. Dégradation de parement. (BOUKHOBZA, 2016)

II.10. Types d'intervention sur un réseau

D'après (ENNAOURI, 2010), pour maintenir le réseau d'égout dans un état acceptable selon la qualité du service souhaité, il faut intervenir durant la durée de vie de l'ouvrage. Cette intervention peut se déterminer par des actions d'entretien, de maintenance (préventive ou corrective) ou de réhabilitation. L'entretien (nettoyage des conduites, enlèvement des débris, curage, ... etc.) est un ensemble d'interventions primordiales, qui doivent se faire périodiquement pour limiter la progression de certaines dégradations.

La maintenance préventive permet de s'assurer en permanence de la performance fonctionnelle prévue du réseau. Par contre, la maintenance corrective consiste à prévoir et évaluer les risques en utilisant des moyens de diagnostics approfondis (inspection par caméra, prises de mesure de débit, ... etc.).

La réhabilitation d'un réseau d'égout est définie comme étant une modification physique du système ou son mode d'opération pour atteindre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Améliorer la performance structurale ;
- Améliorer la performance hydraulique ;
- Améliorer la performance environnementale ;
- Réduire les coûts d'exploitation et d'entretien ;
- Prolonger la durée de vie utile des équipements.

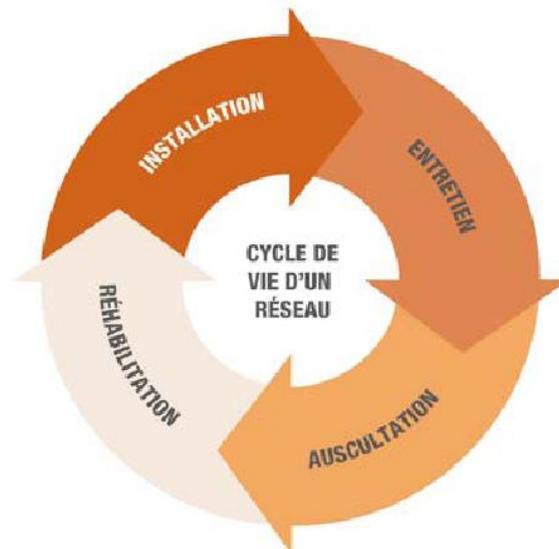


Fig II.6. Cycle de vie d'une infrastructure. (BENOIT et DESBIENS, 2012)

II.10.1. Action d'entretien

Comme pour tout système, les opérations d'entretien sont nécessaires pour son bon fonctionnement. Nous définissons donc l'entretien d'un RAU comme étant l'ensemble d'actions périodiques qui ont pour objectif d'anticiper les dégradations importantes et d'assurer en permanence les conditions nécessaires au bon fonctionnement du réseau. (BENGASSEM, 2001)

II.10.1.1. Nettoyage hydraulique

Le nettoyage périodique des réseaux d'égouts permet d'assurer leur bon fonctionnement et de détecter des anomalies. En effet, la présence de sable ou de gravier peut constituer un indice de défauts structuraux (bris, joints ouverts ou décalés,... etc.). Plusieurs méthodes de nettoyage sont disponibles et chacune nécessite des précautions particulières, selon l'état du réseau.

Les méthodes de nettoyage hydraulique exigent des mesures de précaution afin que la pression d'eau n'endommage pas la conduite fragilisée ni ne soit à l'origine d'inondations de biens publics ou privés desservis par les conduites.

Nettoyage par jets d'eau à haute pression. Cette méthode de nettoyage dirige un jet d'eau haute vitesse en direction de la paroi de la canalisation, à divers angles, pour déloger les corps étrangers de la canalisation. Cette technique peut être assez efficace pour éliminer l'accumulation de graisse ou de débris. Le matériel de nettoyage à haute pression comprend un réservoir d'alimentation en eau, une pompe à haute pression, un moteur auxiliaire, une lance, un touret commandé par un moteur avec réglage de vitesse et commande de direction, des tuyères interchangeables et l'outillage accessoire. Ce matériel de base est monté sur un camion ou sur une remorque. (BENOIT et DESBIENS, 2012)



Fig II.7. Camion hydro-cureur

II.10.1.2. Curages journaliers

Le curage est l'opération consistant à extraire et exporter les sédiments qui se sont accumulés par décantation sous l'eau.

Pour éviter les dépôts de boue et les fermentations et de pouvoir envoyer l'effluent frais à la station d'épuration ; la solution idéale est le curage journalier des canalisations d'égout. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)



Fig II.8. Curage manuel d'un regard font par les agents d'ONA.

II.10.1.3. Désodorisation

Le réseau d'égouts est un milieu favorable à la formation de bactéries qui dégagent des mauvaises odeurs, pour y remédier il faut bien aérer le réseau. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

II.10.1.4. Colmatage par injection

Le colmatage par injection est utilisé pour sceller des fissures et autres défauts causant des infiltrations dans les conduites gravitaires d'égout. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

II.10.2. Action d'auscultation structurale

D'après (BENGASSEM, 2001), la réussite du diagnostic de l'état d'un RAU dépend directement de la qualité de l'information recueillie lors de l'auscultation. Cette qualité est affinée par l'organisation d'un programme d'inspection plus ou moins sophistiqué. Les obstructions de collecteurs (racines, coffrage et autres objets divers), les affaissements de chaussées au-dessus d'un collecteur, les tampons défectueux ou manquants sont autant de problèmes qui peuvent être repérés par une simple inspection visuelle ou par caméra télévisuelle. D'autres techniques d'auscultation plus sophistiquées sont utilisées pour détecter des défauts internes. De ces techniques on cite : l'induction électromagnétique, les géo-radars et les détecteurs acoustiques. Ces techniques sont utiles pour déterminer l'état ou l'emplacement des conduites. Généralement, une description est faite à chaque point singulier où se situe le défaut. Les principaux moyens d'auscultation disponibles pour les RAU peuvent être regroupés en cinq familles principales :

II.10.2.1. L'auscultation géométrique

Elle consiste à comparer la géométrie réelle de la canalisation à une référence standard afin d'identifier les déformations éventuelles;

II.10.2.2. L'auscultation géophysique

Elle consiste à détecter la présence des cavités et identifier la nature géologique du sol avoisinant la conduite (l'encaissant) en utilisant la géomatique.

II.10.2.3. L'auscultation physico-chimique

Elle consiste à suivre dans le temps certains paramètres physico-chimiques propres à la canalisation tels que le pH au niveau de la surface interne, la pénétration du matériau, l'étanchéité, la perméabilité, ainsi que la mesure des concentrations des éléments chimiques agressifs du sol et de l'effluent ;

II.10.2.4. L'auscultation visuelle

Consiste à relever les défauts visibles par inspection visuelle ou par caméra vidéo. Ces inspections permettent, généralement, de mettre à jour l'information sur les conduites, de relever toutes les caractéristiques, de répertorier et de qualifier les dégradations et les anomalies apparentes.

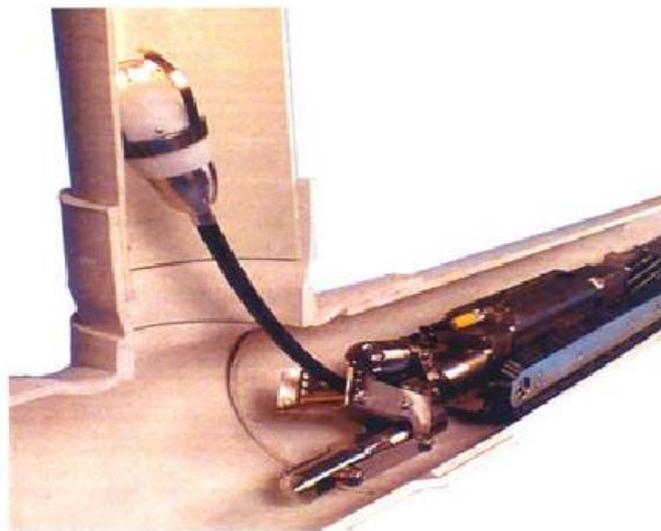


Fig II.9. Caméra télécopie. (BENOIT et DESBIENS, 2012)

II.10.3. Action de maintenance

La maintenance peut englober deux actions, qui sont la maintenance préventive et corrective :

II.10.3.1. La maintenance préventive toutes mesures entreprises pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'évacuation et d'assainissement existant, quand elles sont menacées. (BERLAND, 2004)

➤ Actions préventives

- Visite de l'ensemble des réseaux ;
- Etablissement d'un programme de curage en fonction des zones à risques d'engorgement ;
- Campagnes périodiques de curage des ouvrages annexes : avaloirs, grilles d'engouffrement des eaux pluviales, postes de relèvements, chambres à sable, ouvrages divers ;
- Recherche constante des solutions techniques les mieux adaptées, planification rigoureuse.

Ces interventions sont effectuées par des véhicules équipés de matériels mixtes : pompage et hydro-curage.

II.10.3.1. La maintenance corrective toutes mesures entreprises pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'évacuation et d'assainissement existant, quand elles sont perturbées. (BERLAND, 2004)

➤ **Actions correctives**

- Interventions 24 heures sur 24 sur simple appel téléphonique pour désengorger les réseaux afin de rétablir au plus vite l'écoulement ;
- Un réseau d'agences de proximité disposant de véhicules adaptés à chaque intervention.

II.10.4. Action de réhabilitation

La réhabilitation d'un RAU est définie comme étant toute intervention qui vise à améliorer la performance du système existant incluant la réparation, la rénovation, le renouvellement, le remplacement, le renfort et la gestion des eaux de ruissellement.

➤ **La réhabilitation structurale**

Les techniques de réhabilitation structurale sont celles qui permettent de réhabiliter une conduite dont la structure est défaillante. Elles consistent à solidifier une section ou l'ensemble de la conduite en lui redonnant sa résistance initiale. Dans certains cas, la technique de réhabilitation sert également à améliorer la capacité hydraulique en plus de la capacité structurale. (HOCINE et KAID SLIMANE, 2017)

II.10.5. Lutte contre la corrosion de l'H₂S

D'après (BEGGAS et LIHIU, 2014), les eaux d'égout du fait même de leur composition constituent un milieu favorable au développement bactérien, ce dernier étant du type soit aérobie (avec présence d'oxygène dissous) soit anaérobie (absence d'oxygène dissous). La fermentation anaérobie est une cause de dégagement de mauvaises odeurs (hydrogène sulfuré) et de corrosion (action de l'acide sulfurique formé par l'oxygène biochimique des sulfures avec l'oxygène atmosphérique).

Or, dans le cas de canalisations sous pression, celle-ci sont le siège de fermentations anaérobies, lors de la remise en contact des effluents avec l'atmosphère, il peut y avoir des émanations importantes d'hydrogène sulfuré engendrant une nuisance importante.

Cette nuisance peut être pallié en maintenant une certaine teneur en oxygène pur dans les eaux usées le point d'injection se situant en amont de la station de relevage.

II.11. Méthodes d'auscultations et de réhabilitations d'un réseau d'assainissement

La réhabilitation c'est toute mesure entreprise pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'évacuation et d'assainissement urbain. Les techniques de réhabilitations sont nombreuses. Leur choix est en fonction des caractéristiques du réseau (nature, matériau, section,...), de la nature, de l'importance et de la fréquence des désordres de structure, d'étanchéité et/ou d'écoulement. Outre ces critères techniques, le procédé choisi devra également tenir compte de critères économiques, sociaux et environnementaux. Le choix des techniques à mettre en œuvre dépend avant tout des informations dont on dispose pour analyser les causes du sinistre ou des dysfonctionnements.

Cependant, la technique utilisée doit garantir une qualité de réhabilitation qui doit être comparée avec l'ouvrage neuf.

II.11.1. Techniques pour les collecteurs non visitables

Les techniques pour la réhabilitation des collecteurs non visitable sont au nombre de sept. Ponctuelles ou continues, elles sont réalisées sans ouverture de tranchée et sont, selon les procédés, non destructifs ou destructifs. Ces techniques sont les suivants :

II.11.1.1. Procédés non destructifs

- **Robots multifonctions** : les robots multifonctions ou automates sont indispensables dès lors que nous travaillons dans les canalisations non visitables. Ils permettent le rétablissement hydraulique, de colmatage des fissures, la consolidation de la canalisation ainsi que la mise en œuvre des diverses autres techniques de réhabilitation.
- **Injections ponctuelles d'étanchement** : l'étanchement ponctuel est réalisé par injection sous pression de résines (en particulier époxy), qui doivent être impérativement stables dans les temps. L'opération est menée sous contrôle vidéo et sans dérivation des effluents. (SATIN et al, 2006)
- **Le chemisage continu** : consiste à insérer à l'intérieur de la conduite dégradée une enveloppe souple constituée d'une armature souple fortement imbibée d'une résine sans laisser subsister l'espace annulaire. (YAHIAOUI, 2000)
- **Le tubage** : consiste à mettre en place par tractage ou poussage dans la canalisation existante une nouvelle conduite d'un diamètre inférieur. L'assemblage des éléments se fait par collage, thermo-soudage ou emboîtement. (BOUKHOBZA, 2016)

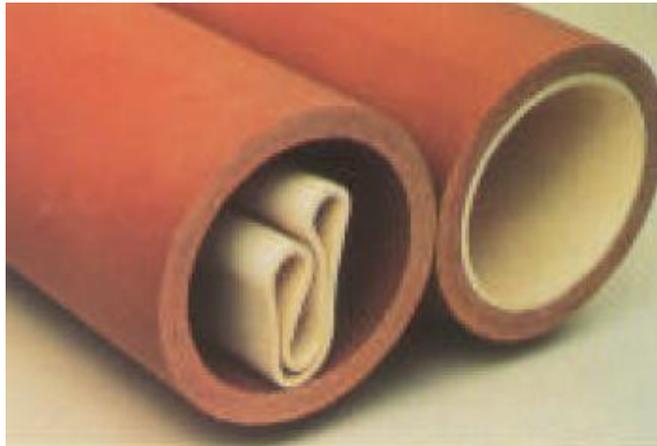


Fig II.10. La technique de tubage. (YAHIAOUI, 2000)

- **Le chemisage partiel :** (manchette) la manchette, ou chemisage partiel, consiste à construire un tuyau neuf plaqué à l'intérieur de la canalisation dégradée, sans ouverture de tranchée, entre deux regards. (YAHIAOUI, 2000)

II.11.1.2. Procédés destructifs

- **Le micro-tunnelier :** utilisé aussi en travaux neufs, il peut être considéré ici comme un « mange tube ». À partir d'un puits de travail, un ensemble de tuyaux procédé d'une tête de forage orientable est poussé en continu vers un puits de sortie. La tête de forage est guidée par laser à partir du poste de pilotage. Elle broie le terrain en place et surtout le collecteur existant. Ainsi, on peut installer les tuyaux de diamètre supérieur. Les déblais sont évacués par un sécurit de marinage vers un bac de décantation.



Fig II.11. La technique de micro-tunnelier. (BENOIT et DESBIENS, 2012)

- **Les éclateurs :** ils peuvent être pneumatique ou hydraulique et sont soit poussés, soit tirés. L'ensemble de tuyaux neufs « en PVC ou polyéthylène haute densité (PEHD) » est mise en place dans la continuité de l'éclateur qui détruit le collecteur à l'avancement. Il a montré que la mise en œuvre d'un éclateur entraînait un soulèvement de sol en place, bien que le diamètre installé ne soit pas différent du diamètre détruit. Des phénomènes de dilatation, compression, cisaillement et

fracturation du sol en place on été mise en évidence, ce qui implique de bien connaître le sous-sol avant d'intervenir. (SATIN et al, 2006)

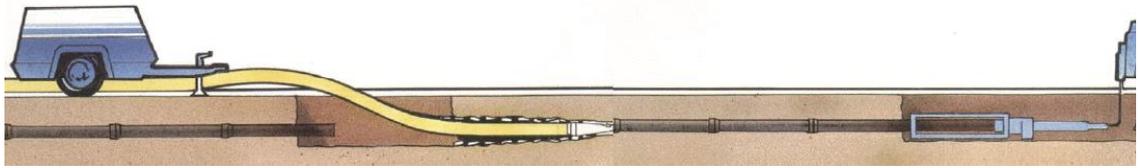


Fig II.12. La technique de l'éclate tuyau. (YAHIAOUI, 2000)

II.11.2. Techniques pour les collecteurs visitables

Un certain nombre de techniques applicables dans les collecteurs non visitables peuvent être utilisés dans les collecteurs visitables ; c'est le cas des injections d'étanchement, du chemisage et du tubage.

II.12. Les dégradations gérées par les interventions de l'ONA

II.12.1. Les dommages rencontrés sur les regards en Algérie

Les problèmes rencontrés sur les regards sont :

- Fragilité des tampons ;
- Fragilités des parois ;
- Mauvaises interconnexions ;
- Présence de gaz H₂S ;
- Absence de fermeture ;
- Regards inaccessibles ;

Les conditions qui ont favorisés ces problèmes sont :

- Le manque d'inspection des réseaux ;
- Mauvaise conception des réseaux et manque de suivi des travaux de réalisation ;
- Branchement anarchique des citoyens.

II.12.2. Types d'interventions réalisés par l'ONA

Les interventions des équipes du réseau sont de type préventif et curatif. Ces dernières se font souvent en urgence, le programme est établi par le coordinateur exploitation en collaboration avec les chefs de centres lesquels recueillent des réclamations des citoyens. Les premières se font selon un programme hebdomadaire établi en concertation avec le service d'hygiène de l'APC et la direction de l'hydraulique.

Les interventions réalisées par le service d'ONA se font selon deux types :

- Manuel ;
- Hydromécanique (hydro-cureur).

Quand l'endroit pose un problème de sécurité incite les agents à recourir à un moyens mécanique ou camion hydro-cureur.

La réhabilitation vise à améliorer la performance du système existant incluant la réparation, la rénovation, le renouvellement et le remplacement des ouvrages.

- **Remplacement** : construction d'un branchement ou d'un collecteur neuf, sur ou hors de l'emplacement d'un branchement ou d'un collecteur existant, la fonction du nouvel élément intégrant celle de l'ancien ;
- **Rénovation** : travaux intégrant l'ensemble ou une partie de la structure d'origine d'un branchement ou d'un collecteur grâce auxquels les performances sont améliorées ;
- **Réparation** : rectification des défauts localisés.

Actuellement, l'Algérie connaît un retard énorme en matière d'assainissement par le manque de moyens et de matériels utilisés.

II.13. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons pris connaissance des facteurs de dégradation des réseaux d'assainissement urbains. En effet, nous avons identifiés les principaux facteurs respectant le contexte local du système étudié.

La nature enterrée du réseau d'assainissement fait subir des pressions permanent et différentielles entre les ouvrages du réseau et le milieu connexe. L'ensemble de ces facteurs de pression conjugué au vieillissement du réseau et à la qualité de maintenance sont les principales causes des défaillances structurales.

Il existe plusieurs techniques d'auscultation pour repérer les défaillances structurales. Par ailleurs, l'ONA éprouve beaucoup de difficultés pour diagnostiquer son patrimoine. Le manque de moyens matériels et financiers sont les maitres qui dominent une situation peu reluisante.

En effet, les gestionnaires de l'ONA révèlent que l'évaluation de l'état de la structure des réseaux d'assainissement est inexistante. Par conséquent, la pratique de la maintenance préventive reste encore renfermée dans son cadre théorique. En fonction des moyens disponibles, l'ONA ne gère que la maintenance curative. Elle couvre toutes les opérations nécessaires pour remettre en bon état le fonctionnement des ouvrages engorgés par les dépôts.

PARTIE II
Méthodologie

CHAPITRE

III

Présentation des méthodes FAHP et Logique floue

III.1. Introduction

Au terme de chaque année, les gestionnaires de l'ONA élaborent des bilans de gestion des réseaux d'assainissement sous leur autorité. En présence d'une multitude de données, ils n'arrivent pas à mesurer la qualité de leur gestion annuelle du système. Ils recherchent à pouvoir classer leurs résultats en s'appuyant soit sur une approche monocritère ou multicritère. En effet, l'évaluation de la dégradation structurale des conduites nécessite une approche, qui devrait aboutir à faire jaillir une seule note d'évaluation à attribuer à un objectif défini préalablement.

Le recours à des méthodes d'aide à la décision semble très intéressant en raison de leur capacité à classer et à synthétiser les données. Dans le processus de cette tâche, le recours à des consultations d'experts reste, des fois, indispensable. En effet, les méthodes que nous allons détailler dans ce chapitre rentrent dans cette optique. Elles se basent sur l'élaboration de la matrice de comparaison par paires des facteurs de dégradation.

Dans ce chapitre, nous décrivons le cadre général de certaines méthodes de résolution très utilisées dans l'étude des problèmes de décision multicritères. Il s'agit de la méthode « *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) » et de la méthode « logique floue ».

III.2. Méthode AHP

Le processus d'analyse hiérarchique (AHP : *Analytic Hierarchy Process*) est une technique structurée pour organiser et analyser des décisions complexes. Elle a été développée par (Thomas Saaty) dans les années 1980 à la *Wharton School of Business* de l'université de Pennsylvanie. Cette méthode consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème, et procéder ensuite à des comparaisons par paire des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions.

III.2.1. Principe général de la méthode AHP

Dans la démarche de l'AHP, nous retrouvons les évaluations des alternatives pour obtenir l'importance de chaque critère afin de prendre la décision de choix. Ce principe est décomposé en trois étapes :

- Décomposer le problème en une structure hiérarchique ;
- Effectuer les combinaisons binaires ;
- Définition des poids des critères pour chaque alternative. (HADJAD & ABDI, 2018)

Pour plus de détails, la partie ci-dessous présente l'organigramme arithmétique de cette méthode :

III.2.1.1. Décomposer le problème en une structure hiérarchique

La procédure d'analyse hiérarchique débute par une décomposition du problème.

Il s'agit successivement de :

- Définir un objectif, les alternatives à comparer et les critères d'évaluation ;
- Structurer les critères d'évaluation selon l'objectif ;
- Etablir des priorités entre les alternatives selon chaque critère. (PEARSON et al, 2002)

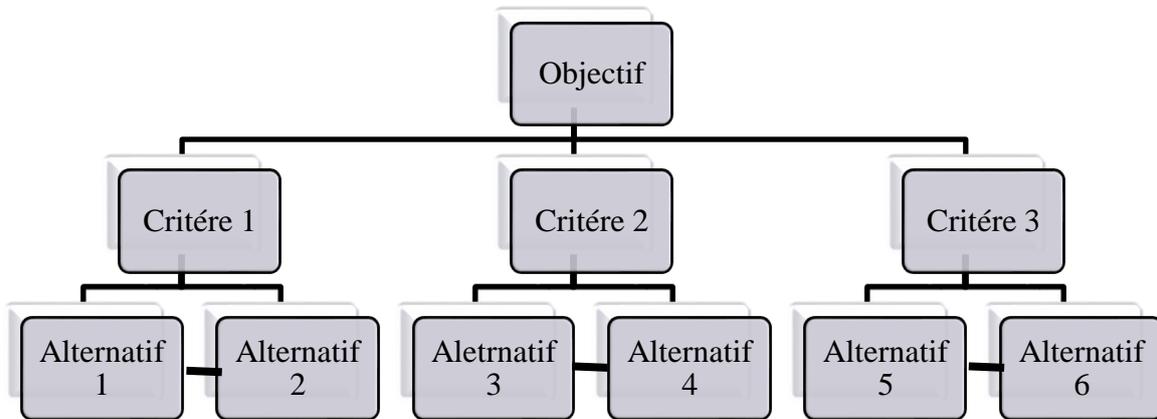


Fig III.1. La structure hiérarchique de la méthode AHP.

III.2.1.2. Effectuer les combinaisons binaires

L'étape la plus importante d'AHP consiste à créer la matrice de comparaison par paires. Cette matrice de comparaison par paires est créée à l'aide d'une échelle d'importance relative (Echlle de Saaty).

Tableau III.1. Echelle de Saaty.

Degrés d'importance	Définitions	Explications
1.0	importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3.0	un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5.0	un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement in élément par rapport à un autre
7.0	un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9.0	un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible

Remarque :

Les valeurs 2, 4, 6 et 8 valeurs intermédiaires entre deux jugements utilisés pour affiner le jugement.

D’après (HADJAD & ABDI, 2018), la configuration d’une matrice carrée (k*k), formée par les évaluations des rapports, des poids, « k » étant le nombre d’éléments comparés. On obtient cette façon :

$$A = a_{ij} \text{ avec } a_{jj} = 1 \text{ et } a_{ji} = 1/a_{ij} \text{ (valeurs réciproque)}$$

La comparaison conduit à l'obtention de la matrice de décisions suivantes :

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & \dots & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & \dots & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{(n-1)n} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & \dots & 1/a_{(n-1)n} & 1 \end{bmatrix}$$

A ce stade, on pose quelques questions :

- Qu'en est-il de 3.5 ; 5.5 et 7.5?
- Comment allons-nous appeler 3.5 ; 5.5 et 7.5?

Pour résoudre ce problème, le concept du nombre flou est introduit.

Dans l’échelle d’importance relative, les nombres comme 1,3,5,7 et 9 sont remplacés par les nombres flous.(Tableau III.2)

Tableau III.2. Transformation des chiffres AHP en FAHP.

AHP	FAHP
1	(1,1,1)
3	(2,3,4)
5	(4,5,6)
7	(6,7,8)
9	(9,9,9)

Le processus de hiérarchie analytique floue (FAHP) proposé par Chen &Hwang (1992), sera utilisé pour réduire la subjectivité.

III.2.1.3. Définition des poids des critères pour chaque alternative par FAHP

Construire une matrice de décision pour chaque élément par les étapes suivantes :

1. Calculer la moyenne géométrique floue (r_i) avec l’équation suivante :

$$(\tilde{A}_1 * \tilde{A}_2)^{1/i} = (l_1, m_1, u_1)^{1/i} * (l_2, m_2, u_2)^{1/i} = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2)^{1/i} \dots (1)$$

2. Calculer le poids flou (w_i) avec l'équation suivante :

$$W_i = r_i * (r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n)^{-1} \dots (2)$$

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) \dots (3)$$

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \dots (4)$$

3. Calculer le poids normalisé avec les équations suivantes :

D'abord on calcule le **COA** (Centre Of Area)

$$COA = \left(\frac{l+m+u}{3}\right) \dots (5)$$

Le poids normalisé :

$$W_i' = COA / \sum COA \dots (6)$$

4. Vérifier la consistance avec les étapes suivantes :

- Création d'un vecteur A_3 à partir de la multiplication de la matrice de comparaison avec le vecteur de poids normalisé.

$$A_3 = A_1 * A_2 \dots (7)$$

Avec :

A_1 : Matrice de comparaison.

A_2 : Vecteur de poids normalisé.

- Création d'un vecteur A_4 à partir de la subdivision du vecteur A_3 par le vecteur de poids normalisé.

$$A_4 = A_3 / A_2 \dots (8)$$

Avec :

A_2 : Vecteur de poids normalisé.

- Pour la vérification de la consistance des jugements, on doit calculer d'abord, l'indice de consistance (CI). Sa formule est :

$$CI = \frac{(\lambda_{Max} - n)}{(n-1)} \dots (9)$$

Où :

n : nombre d'éléments à comparer.

Ensuite, on calcule le ratio de consistance (CR) défini par la formule :

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots (10)$$

CR est le rapport entre CI et un indice de consistance aléatoire (RI). L'indice (RI) est présenté dans le (*tableau III.3*)

Tableau III.3. Les valeurs du Random Index RI. (BENZERRA et al, 2012)

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

Une valeur de CR inférieure à 0.1 est généralement acceptable. Sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

III.2.4. Limites de la méthode AHP

- Bien que largement reconnue, la méthode AHP présente l'inconvénient majeur suivant : les comparaisons deux à deux deviennent impossibles si le nombre d'éléments d'un niveau est supérieur à 7. C'est pourquoi des regroupements d'éléments d'un même niveau de la hiérarchie sont parfois nécessaires (*Fig III.1*). (PEARSON et al, 2002)
- Les pondérations sont attribuées indépendamment de l'échelle de variation des indicateurs. Deux indicateurs peuvent avoir la même pondération alors que l'un a une plus grande amplitude de variation;
- L'introduction de nouveaux indicateurs change l'importance relative de chaque indicateur et une inversion de rang peut se produire. Harker & Vargas (1987) ont prouvé à partir d'un travail théorique et des exemples que ces limitations ne sont pas valides. (ENNAOURI, 2010)

III.2.5. Avantages et Inconvénients de la méthode AHP

III.2.5.1. Avantages

- La seule méthode permettant de vérifier la cohérence des relations d'importance entre critères ;
- Méthode simple ;
- Possibilité d'ajouter ou d'éliminer des critères ;
- Les critères peuvent avoir des importances variables ;
- Le nombre de critères et sous-critères n'est pas limité.

III.2.5.2. Inconvénients

- Le nombre des comparaisons augmente plus rapidement que le nombre des critères ;
- Le choix d'échelle de 1 à 9 n'est pas justifié mathématiquement. (ENNAOURI, 2010)

III.3. La logique floue

III.3.1. Historique sur la logique floue

La théorie des ensembles flous a fait son apparition en 1965 suite à la publication d'un article d'une quinzaine de pages intitulé « *fuzzy sets* » « ensembles flous » par (Lotfi Zadeh), professeur à l'université de Berkleyen Californie, considéré aujourd'hui comme le fondateur de la logique floue.

Dix ans plus tard, il publie un important travail « *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning* » qui va marquer le point de départ de nombreuses études et expérimentations. En 1975 (Mamdani) expérimente un régulateur flou qu'il perfectionne au cours des années suivantes. En 1985 (Suengo) décrit des applications industrielles possibles en régulation floue, et en 1995 suite aux travaux de (Jang) la logique floue est élargie aux systèmes à réseaux de neurones et à l'intelligence artificielle.

III.3.2. Définition de la logique floue

D'après (BENGASSEM, 2001), la logique floue c'est une combinaison de la logique des ensembles classiques qui permet de modéliser les représentations incertaines et imprécises, utilisées notamment dans le langage humain. Son mode de raisonnement se caractérise par son approche plus intuitive que la logique classique. Cette théorie permet aux concepteurs de mieux appréhender les phénomènes naturels, généralement imprécis et difficilement modélisables, en s'appuyant sur la définition des règles et des fonctions d'appartenance à des ensembles. Elle établit les relations, en pondérant l'appartenance d'un élément à des ensembles, contrairement à la logique classique où le degré d'appartenance est tout ou rien : 0 ou 1.

La logique floue permet d'exprimer différents niveaux, plutôt que seulement 1 ou 0.

La logique floue est une branche des mathématiques qui permet à un ordinateur de modéliser le monde réel de la même façon que les personnes. Elle est préoccupée par la quantification et le raisonnement en utilisant un langage qui permet des définitions ambiguës (beaucoup, peu, petit, haut, dangereux,... etc.). Elle s'occupe de situations où la question qui est posée et la réponse obtenue contiennent des concepts vagues.

III.3.3. Variables linguistiques et ensembles flous

Dans la logique floue, la vérité de toute déclaration devient une question de degré. Toute déclaration peut être floue. L'outil que le raisonnement flou donne est la capacité de répondre à une question dichotomique par une réponse (oui ou non). C'est le genre de ce que les humains font tout le temps. Mais c'est un tour plutôt nouveau pour les ordinateurs. L'idée de la logique floue est de transmettre la richesse du raisonnement humain à un ordinateur.

La logique floue commence par le concept d'un ensemble flou. Un ensemble flou est un ensemble sans frontière nette et clairement définie. Il peut contenir des éléments avec seulement une partie de degré d'appartenance.

Pour comprendre ce qu'est un ensemble flou, on doit d'abord comprendre ce que l'on entend appeler d'un ensemble classique. Un ensemble classique est un ensemble qui inclut ou exclut entièrement un élément donné.

La description imprécise d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'une grandeur physique ne peut se faire que par des expressions relatives ou floues. Ces différentes classes d'expressions floues dites ensembles flous forment ce qu'on appelle des variables

linguistiques. Afin de pouvoir traiter numériquement ces variables linguistiques qui sont normalisées généralement sur un intervalle bien déterminé appelé univers de discours, il faut les soumettre à une définition mathématique à base de fonctions d'appartenance qui montrent le degré de vérification de ces variables linguistiques relativement aux différents sous-ensembles flous de la même classe. (LAGHOUAG, 2016)

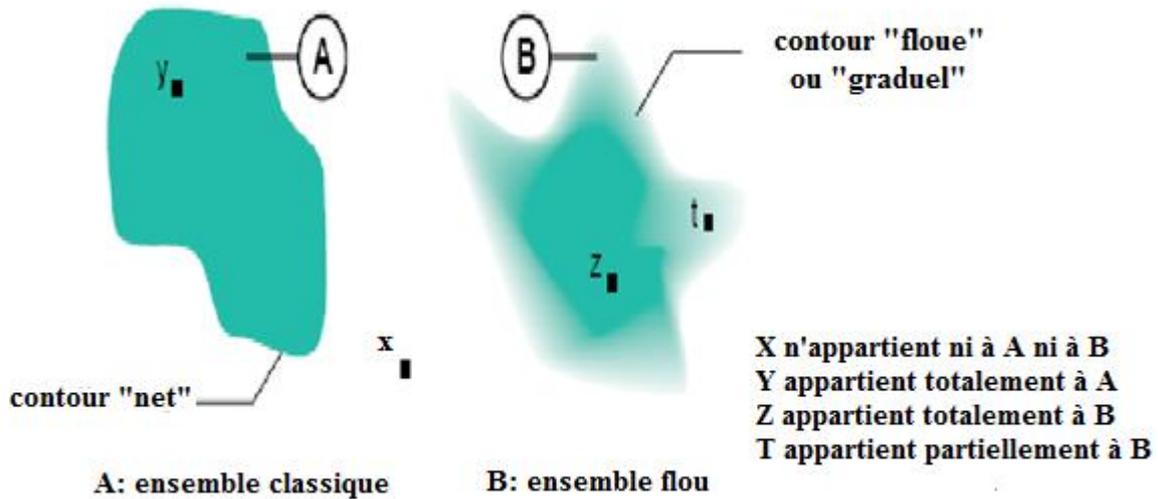


Fig III.2. Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou. (HARROUCHE, 2012)

III.3.4. Sous-ensemble flous et fonction d'appartenance

Les sous ensemble flous permettent l'appartenance partielle d'un élément à un ensemble donné. Chaque ensemble est définie par sa fonction d'appartenance qui correspond à la notion « fonction caractéristique » en logique classique, dont les formes usuelle sont : triangulaire, trapézoïdale, cloche, gaussienne... etc. (BRAHAMI & ZIANE, 2014)

Voici quelques types de fonctions d'appartenances :

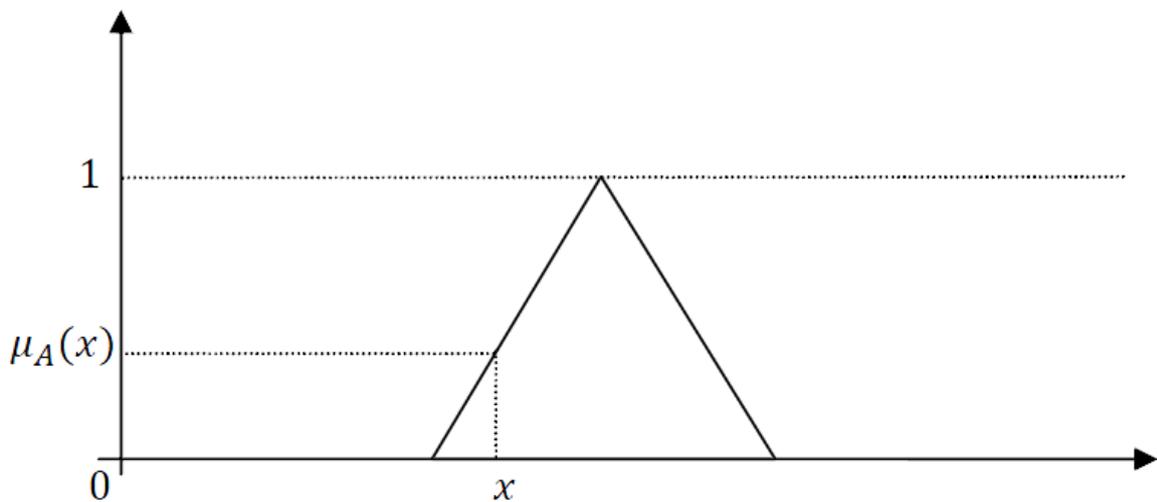


Fig III.3. Fonction d'appartenance de forme triangulaire. (BRAHAMI & ZIANE, 2014)

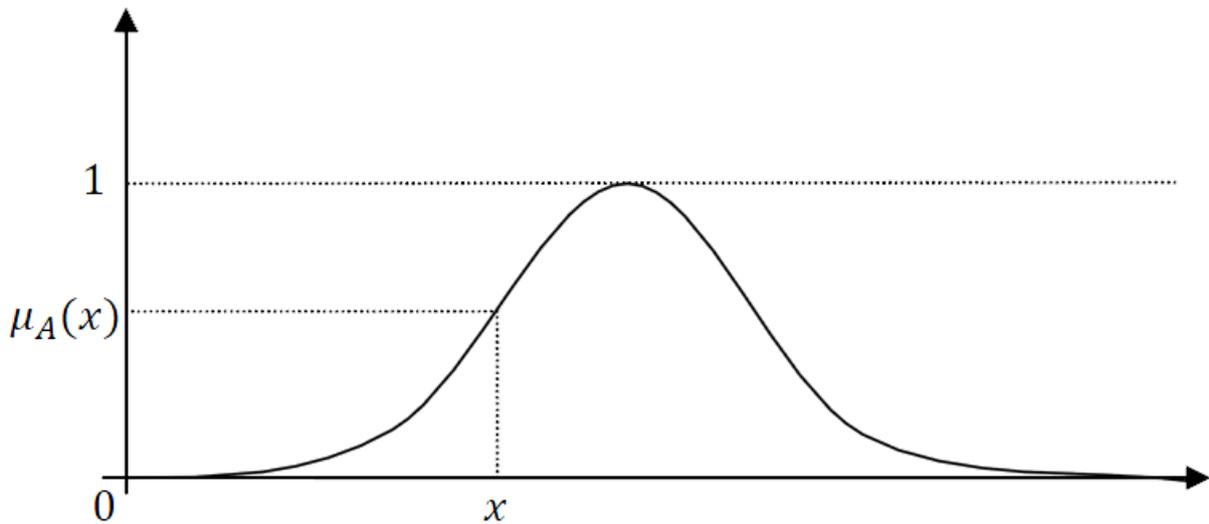


Fig III.4. Fonction d'appartenance de la forme cloche. (BRAHAMI & ZIANE, 2014)

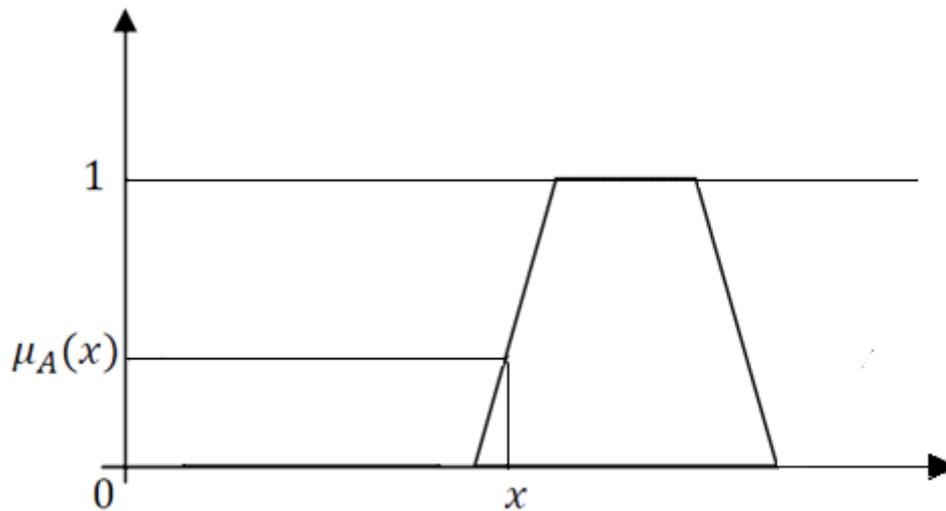


Fig III.5. Fonction d'appartenance de forme trapézoïdale.

Remarque :

- 1) Dans certains cas les fonctions d'appartenance peuvent être égales à 1 pour une seule valeur de la variable et égale à 0 ailleurs. Elles prennent le nom de la fonction d'appartenance singleton. (Fig III.6)
- 2) On appelle l'ensemble de référence « univers de discours », pour le fait qu'il contient tous les sous-ensembles flous pris en considération.



Fig III.6. Fonction d'appartenance singleton.

III.3.5. Opérateurs en logique floue

Nous donnerons quelques définitions concernant la logique floue et ses éléments de bases. Soient X une variable floue et A une caractéristique.

- **La proposition floue:** une proposition floue est une description de la variable floue, donnée sous la forme suivant :

« X est A »

A cette proposition est associé un degré de vérité appartenant à l'intervalle [0.1].

- **La conjonction :** la conjonction de deux propositions est une autre proposition réalisée à l'aide de l'opérateur « **ET** ». Par exemple :

« X₁ est A₁ » ET « X₂ est A₂ »

Mathématiquement, le degré de vérité de la conjonction de proposition est obtenu par un opérateur « **Min** » agissant sur les degrés de vérité des deux propositions initiales.

- **La disjonction :** la disjonction de deux propositions est une autre proposition réalisée à l'aide de l'opérateur « **OU** ». Par exemple :

« X₁ est A₁ » OU « X₂ est A₂ »

En terme mathématique, le degré de vérité associé à cette proposition est le résultat de l'application d'un opérateur « **Max** » sur les degrés de vérité associés aux deux propositions initiales.

- **L'implication :** l'implication construit une proposition à l'aide des opérateurs « **Si** » et « **Alors** » comme suit :

Si « X₁ est A₁ » Alors « X₂ est A₂ »

Le degré de vérité associé à cette dernière proposition est le résultat de l'application de l'opérateur « **Min** » sur le degré de vérité des deux propositions initiales. (BRAHAMI & ZIANE, 2014)

III.3.6. Structure générale d'un modèle flou

D'après (BENGASSEM, 2001), le traitement d'un problème par la logique floue est fait en trois étapes :

- L'étape de fuzzification des entrées.
- Implication et agrégation.
- L'étape de Defuzzification.

III.3.6.1. Fuzzification

La Fuzzification des entrées est le mécanisme réalisant l'interface entre une représentation numérique des entrées et une représentation floue. Cette étape consiste donc à modéliser chacune des entrées du système par des courbes donnant les degrés d'appartenance à différents états identifiés pour ces entrées.

III.3.6.2. Implication et Agrégation

Cette étape consiste à agréger dans un seul sous ensemble flou tous les ensembles flous qui résultent de l'étape précédente. Appelée aussi inférence floue, cette étape permet de lier les sorties aux entrées. Elle repose sur l'utilisation des opérateurs d'implication permettant d'évaluer le degré de véracité d'une règle donnée à partir des fonctions d'appartenance liées à la prémisse et à la conclusion. Toutes les règles sont évaluées en parallèle pour déterminer l'espace de sortie qui contient l'information provenant de toutes les propositions. Selon le degré de véracité du prédicat (appelé aussi prémisse ou condition, c'est une combinaison de proposition par des opérateurs et, ou et non.), chaque proposition contribue proportionnellement à l'ensemble flou de la variable de sortie.

III.3.6.3. Defuzzification

La defuzzification consiste à calculer une valeur numérique de la sortie représentative de la valeur floue définie par l'ensemble flou solution. La composition des règles, utilisées pour obtenir la valeur finale des sorties, doit tenir compte de toutes les règles qui sont validées en proportion de leur degré de validité.

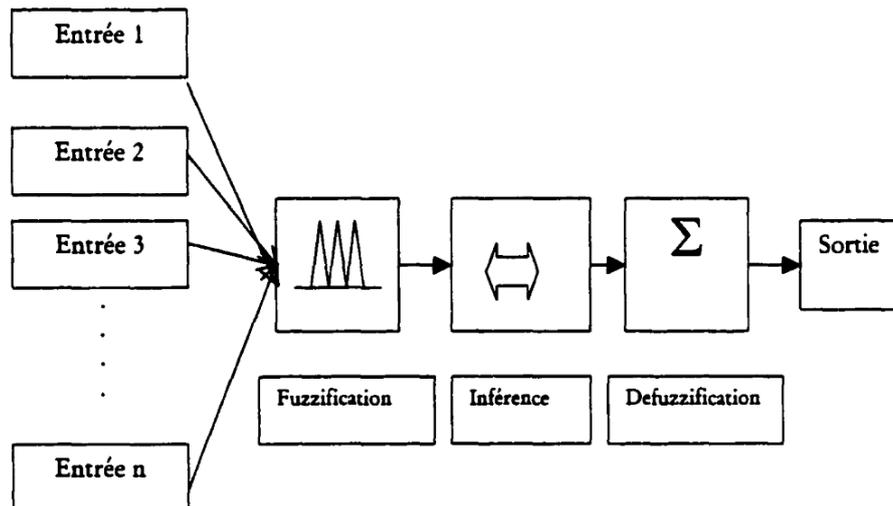


Fig III.7. Structure générale d'un modèle flou. (BENGASSEM, 2001)

III.3.8. Avantages et Inconvénients de la logique floue

III.3.8.1. Avantages

- Nous n'avons pas besoin d'établir le modèle mathématique. Cela évite des années de travail sur des modèles ;
- Ensuite la logique floue permet de prendre en compte les typologies linguistiques et donc toutes les nuances que l'on a créées dans le but d'imiter au mieux le réel ;
- Traitement des systèmes à comportement complexe (même si on a un exemple Simplifié, cela reste un système complexe en mathématique pure) ;
- Nous pouvons aujourd'hui servir des solutions matérielles comme des Microprocesseurs uniquement dédiés aux calculs flous, ce qui permet d'accroître le Rendement puisque cela réduit la programmation ;
- L'ajoute ou le retrait des règles ne change quasiment rien au principe de la logique floue, alors qu'en logique bivalente (logique classique), cela peut changer du tout au tout ;
- On peut augmenter facilement le nombre d'entrées sans réellement compliquer les calculs (alors qu'en logique simple la taille des calculs est exponentielle).

III.3.8.2. Inconvénients

- Réglage empirique ;
- Performances en boucle fermée dépendent de l'expertise ;
- Il n'existe pas de théorie générale qui caractérise rigoureusement la stabilité, la robustesse (difficulté de certification dans le transport, espace).

III.4. Critiques sur les Méthodes utilisées

Dans ce présent document, nous avons étudié la problématique de l'évaluation de la performance structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaïa. Les méthodes d'aides à la décision (la logique floue et de l'AHP flou), utilisées et présentées sont génériques et peuvent être appliquées à d'autres problèmes sans modification et les alternatives sont souvent mesurées sur plusieurs critères qualitatifs. Dans ce cas, il faut bien s'assurer que les décideurs n'ont pas d'intérêts particuliers, faute de quoi les résultats des décisions à prendre seront biaisés.

Des études (Whitaker, 2007, Millet, 1997) ont démontré que les évaluations qualitatives sont plus précises lorsqu'elles sont obtenues par des comparaisons par paires, comparativement à l'utilisation des évaluations directes. L'AHP est donc préférable lorsqu'il s'agit de jugements qualitatifs. De plus, les comparaisons par paires permettent d'analyser la cohérence des jugements fournis.

Par ailleurs, Ordoobadi (2009) a souligné que les évaluations linguistiques sont difficiles à traduire en échelles numériques en raison de leur imprécision et de leur incertitude. Par conséquent, il préconise l'utilisation de *Fuzzylogic*. Plus tard, Labib (2011) défend l'idée que l'AHP est meilleur parce qu'il permet l'analyse de la cohérence, la normalisation des scores pour résumer l'unité et la capacité d'effectuer des analyses de sensibilité. Dans ce document, nous avons montré que les scores générés par la logique floue peuvent également être normalisés à un, et une analyse de sensibilité peut également être effectuée. Cependant, nous avons trouvé un autre problème important dans la logique floue : le poids d'un critère dépend du niveau de décomposition.

Par ailleurs, l'AHP possède certains inconvénients : elle ne présente pas les avantages possibles de la gestion des jugements imprécis lors de la conversion des échelles verbales en une échelle numérique.

Cependant, il est parfois impossible de porter un jugement exact en raison de la complexité, de l'imprécision et de l'incertitude du problème étudié. Par exemple, le gestionnaire de l'ONA peut avoir une préférence à donner une évaluation entre 4 et 6 au lieu de donner exactement la valeur 5. Les nombres flous sont le moyen d'incorporer cette imprécision. En combinant les deux méthodes, *Fuzzy AHP* gagnera l'avantage des deux techniques.

Dans cette étude, nous avons d'abord utilisé *Fuzzy AHP* afin de saisir les avantages des deux méthodes. Il offre une conversion floue de l'échelle verbale en échelle numérique et offre également une analyse de cohérence. Comme pour les deux autres méthodes, elle a la capacité d'effectuer des analyses de sensibilité qui permettent de comprendre les relations occasionnelles entre les pondérations des critères et leur classement. Les notes globales peuvent également être normalisées à l'unité comme dans les autres méthodes.

III.5. Conclusion

Ce troisième chapitre s'intéresse aux méthodes d'aides à la décision pour l'évaluation de la dégradation structurale des conduites d'assainissement.

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes d'évaluation d'un système d'assainissement urbain ou d'une partie du système. En ce qui nous concerne, nous nous intéressons à une approche multicritère d'aide à la décision basée sur l'utilisation de facteurs de dégradation quantifiables. Nous nous sommes particulièrement intéressés à cette approche au regard de sa capacité à ordonner les résultats de la gestion annuelle d'un système d'assainissement urbain. En effet, elle parvient à évaluer le niveau de la gestion structurale du réseau sur la base d'objectifs recherchés.

En raison des difficultés qu'éprouvent les gestionnaires à établir des notes d'importances pour les éléments de l'évaluation, ce chapitre a synthétisé quelques méthodes qui facilitent cette tâche. En effet, nous avons choisi de tester deux méthodes : la méthode « *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) et de la méthode « logique floue ». Ces méthodes nécessitent, au besoin, le recours à des experts lors de l'élaboration de la matrice de comparaison par paires.

PARTIE III

Résultats et Discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous nous intéressons, particulièrement, à l'application de l'outil d'évaluation de l'état de dégradation structurale des conduites des réseaux d'assainissement de la ville de Bejaïa. En effet, un ensemble de 12 facteurs d'influence a été identifié et construit tout en prenant en considération les capacités techniques, opérationnelles, et financières de l'ONA.

Le choix que nous avons porté sur l'évaluation performancielle, nous oblige à exprimer l'importance relative de ces douze facteurs sur la performance structurelle du réseau. Par conséquent, nous nous sommes intéressés à tester deux méthodes d'aide à la décision (FAHP et la logique floue).

Selon l'ONA, unité de Bejaïa, le réseau d'assainissement de la ville de Bejaïa est constitué principalement de :

- Le réseau est à 80% de type unitaire, avec un linéaire total de collecteurs de 370 km et un taux de raccordement estimé à 96% ;
- 10000 regards environ ;
- 3 stations de relevages dont 2 en service ;
- 6 ouvrages spéciaux : 2 déversoirs d'orage, 2 bassins de décantation, 2 bassins de rétention ;
- 5 exutoires principaux en mer ;
- 70 rejets dans les milieux récepteurs ;
- 2 stations d'épuration, l'une existante : datant de 1984 dont les prétraitements ont été réhabilités en 2007, l'autre en cours de mise en service construite en 2010.

Les enjeux de l'assainissement à Bejaïa sont particulièrement forts compte tenu de sa situation géographique sur le littoral et ses vocations touristique et industrielle. Par ailleurs les problèmes sont très importants du fait de multiples désordres observés (pollution des oueds traversant la ville, couverture des oueds, colmatages et inaccessibilité aux réseaux, contexte topographique très contraignant, ...).

IV.2. Présentation de la ville de Bejaïa

Dans cette section, nous allons présenter la ville de Bejaïa à travers sa situation géographique, son climat, ses précipitations et ses températures.

IV.2.1. Situation géographique

Bejaïa est une ville côtière située sur le bassin méditerranéen. Elle est située à 250 km à l'est d'Alger. Elle s'étend sur une superficie de 3 223,48 km². Elle est bordée par la mer méditerranéenne au Nord, la wilaya de Jijel à l'Est, la wilaya de Bouira et de Tizi-ouzou à l'Ouest, la wilaya de Sétif et de Bordj Bou Arreridj au Sud.

Le chef-lieu est limité par la mer méditerranéenne au Nord et à l'Est, la commune de Toudja à l'Ouest, les communes d'Oued Ghir et Tala Hamza au Sud.

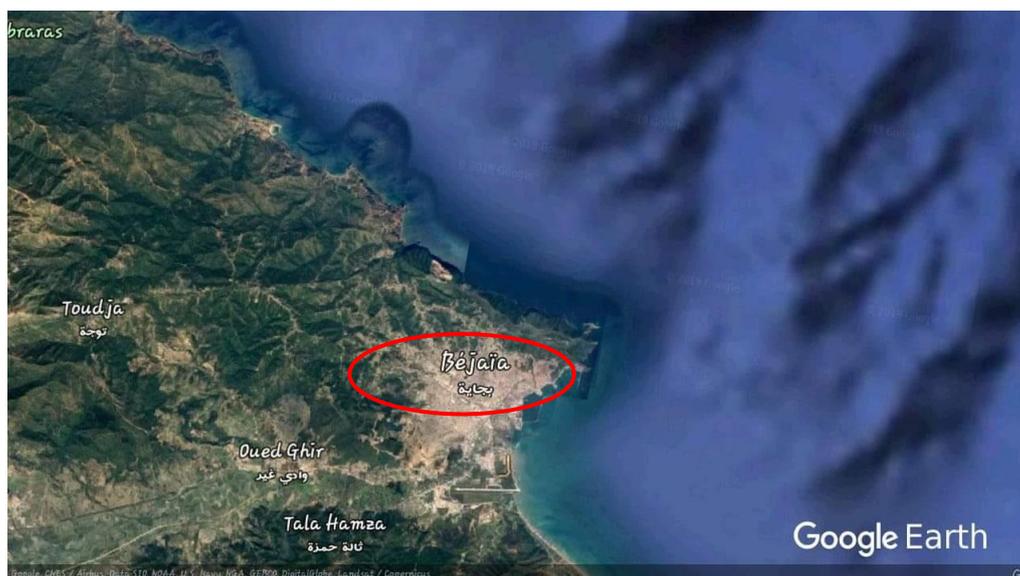


Fig IV.1. Photo aérienne du chef- lieu.

IV.2.2. Situation climatique

La situation climatique de la ville de Bejaia est définie par différents paramètres climatiques enregistrés en cours de l'année. Il s'agit essentiellement des précipitations et de la température.

IV.2.2.1. Les précipitations

Le tableau suivant (Tableau IV.1), montre les précipitations mensuelles moyennes, minimales et maximales. Les observations s'étalent sur une période de seize années, de 2001 à 2017, enregistrées dans la station pluviométrique de l'aéroport ABANE Ramdane de Bejaïa.

Tableau IV.1. Pluie moyenne mensuelle (mm) de la station de Bejaia. (IKHLEF & HALICHE, 2018)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Moy	126.6	100.5	75.7	60.2	41.5	17.3	10.8	19.6	53.4	59.1	108.4	119.1
Max	169.0	166.0	158.0	112.0	75.0	65.0	71.0	87.0	135.0	79.0	149.0	172.0
Min	11.1	10.4	08.7	09.0	07.7	06.1	05.5	07.3	13.4	08.8	12.2	12.0

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

IV.2.2.2. Les Températures

Le tableau suivant (Tableau IV.2), montre les températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la période 2001 jusqu'à 2017, en °C.

Tableau IV.2. Température moyenne mensuelle (C°) de la station de Bejaia. (IKHLEF & HALICHE, 2018)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Moy	12.3	12.2	14.4	16.3	18.8	22.4	25.5	26.2	23.8	21.5	16.6	13.5
Max	16.8	17.1	19.1	21.0	23.3	27.0	29.9	30.8	28.4	26.3	21.2	07.9
Min	07.7	07.5	09.7	11.6	14.3	17.8	21.0	21.7	19.2	16.6	12.1	09.1

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

D'après l'interprétation des résultats, on conclut que, le climat de la ville de Bejaia est de type méditerranéen, été chaud, hiver humide et doux.

IV.3. Définition et évolution des facteurs influant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement

Dans ce qui suit, nous allons mettre la lumière sur les douze facteurs choisis dans l'influence de la dégradation structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaïa. Nous rappelons que la sélection a été effectuée en concertation avec les experts de l'ONA, unité de Bejaïa. En effet, cette tâche a été effectuée en tenant en compte de leurs moyens financiers et humains.

L'application de la méthode FAHP nous oblige à classer ces facteurs en trois classes distinctes, de telle manière, d'avoir une structure hiérarchique. Par conséquent, nous les avons classés en facteurs structuraux, facteurs opérationnels et facteurs de réhabilitation.

IV.3.1. Facteurs structuraux

IV.3.1.1. Fissure : la fissure peut être ouverte, c'est-à-dire que l'ouverture des lèvres de la fissure est nette et mesurable, ou bien présente un déplacement des lèvres l'une par rapport à l'autre. (BERLAND, 2004)

Plusieurs facteurs sont liés à l'apparition des fissures sur les conduites. Certains sont liés à la qualité de la conduite elle-même, d'autres à la qualité des travaux de pose et d'autres liés aux surcharges que subit la conduite.

Une fissure peut s'évoluer rapidement dans le temps et provoquer l'effondrement de la conduite et de la chaussée. (DANTEZ, 2017)

IV.3.1.2. Effondrement : un effondrement est une rupture localisée d'une partie de la conduite désolidarisée du reste de la structure. Un effondrement donne lieu, en général, à la création d'une cavité béante dans la structure de la conduite. Et selon (BERLAND, 2004), L'effondrement entraîne d'une manière directe la ruine de l'ouvrage.

IV.3.1.3. Contre pente : Une contre pente s'agit d'une modification du profil en long de l'ouvrage (dans le plan vertical), par tassement local d'une partie courante provoquant une modification de la pente. Ce problème structurel est lié à la qualité des travaux de pose. Elles peuvent générer dans certains cas la stagnation des eaux et des dépôts. (DANTEZ, 2017)

IV.3.1.4. Dégradation de surface : Selon (DANTEZ, 2017), ce désordre survient dans les zones de fortes pentes favorisant les vitesses excessives. En effet, Ces fortes vitesses de l'eau entraînent une dégradation physique et chimique de la surface des conduites. Le problème peut être contrôlé par la mise en place de chutes et toboggans.

IV.3.1.5. Déplacement d'assemblage : le déplacement d'assemblage est lié à plusieurs facteurs notamment la nature des joints de conduites, la topographie et les charges en surface, ainsi que la qualité des travaux de pose. Ce défaut apparaît dans les premières années de réalisation, puis la conduite se stabilise après tassement du sol. (DANTEZ, 2017)

IV.3.1.6. Courbure : la conception des tracés et la qualité des travaux de pose sont à l'origine de présence de courbures dans les collecteurs, ces courbures ne sont pas évolutives dans le temps et ne constituent pas un défaut majeur dans le fonctionnement du réseau. Elles gênent par contre leur inspection. (DANTEZ, 2017)

IV.3.2. Facteurs opérationnels

IV.3.2.1. Dépôts : les dépôts apparaissant dans les collecteurs de faibles vitesses ou suite à des obstacles durs comme des déchets du béton ou bois de coffrages restés dans les conduites après réalisation. L'accumulation des dépôts dans les conduites diminue leur capacité hydraulique ce qui entraîne leur surcharge voire leur débordement, et favorise la fermentation des matières organiques. Ce désordre est très évolutif dans le temps et peut entraîner l'obstruction totale des conduites. (DANTEZ, 2017)

IV.3.2.2. Pénétration des racines : blocage des racines dans l'ouvrage pouvant aller jusqu'à l'obstruction complète.

IV.3.2.3. Branchements illicites : les branchements illicites relevés sur la structure du réseau inspecté sont dans leur majorité des branchements individuels. L'autorisation de branchement particulier est délivrée par une simple demande à une commission de la Daïra et la réalisation du branchement se fait par le demandeur de branchement lui-même. L'absence de regard ou regard sous bitume pousse l'individu à se brancher directement sur la conduite.

Le branchement se fait par un trou sur la conduite par des moyens non adaptés ce qui entraîne l'apparition des fissures dans la conduite et par conséquent des infiltrations et exfiltrations. Cette action entraîne aussi des problèmes de fonctionnement car le branchement pénètre jusqu'à l'intérieur de la conduite ce qui perturbe l'écoulement. (DANTEZ, 2017)

IV.3.3. Facteurs de réhabilitation

La réhabilitation vise à améliorer la performance du système existant incluant la réparation, la rénovation, le renouvellement et le remplacement des ouvrages. Leurs absence accélèrent la dégradation structurelle

IV.3.3.1. Remplacement : construction d'un branchement ou d'un collecteur neuf, sur ou hors de l'emplacement d'un branchement ou d'un collecteur existant, la fonction du nouvel élément intégrant celle de l'ancien.

IV.3.3.2. Rénovation : travaux intégrant l'ensemble ou une partie de la structure d'origine d'un branchement ou d'un collecteur grâce auxquels les performances sont améliorées.

IV.3.3.3. Réparation : rectification des défauts localisés.

IV.4. Application de la méthode FAHP

Pour appliquer la méthode FAHP, 3 critères et 12 facteurs sont sélectionnés afin d'établir la structure hiérarchique exigée dans la méthode AHP. La combinaison de la logique floue avec AHP a été établie dans le but de gérer les incertitudes et réduire la subjectivité.

IV.4.1. Elaboration de la structure hiérarchique

La structure hiérarchique du problème se compose de trois niveaux, comme le montre la figure (IV.2) :

Le niveau 0 : consiste à définir l'objectif de notre problème, qui est l'évaluation de l'état de dégradation d'une conduite.

Le niveau 1 : comprend les trois principaux critères de dégradation : structuraux, opérationnels et réhabilitation.

Le niveau 2 : identifie les différents facteurs qui influent sur la dégradation structurelle des réseaux d'assainissement.

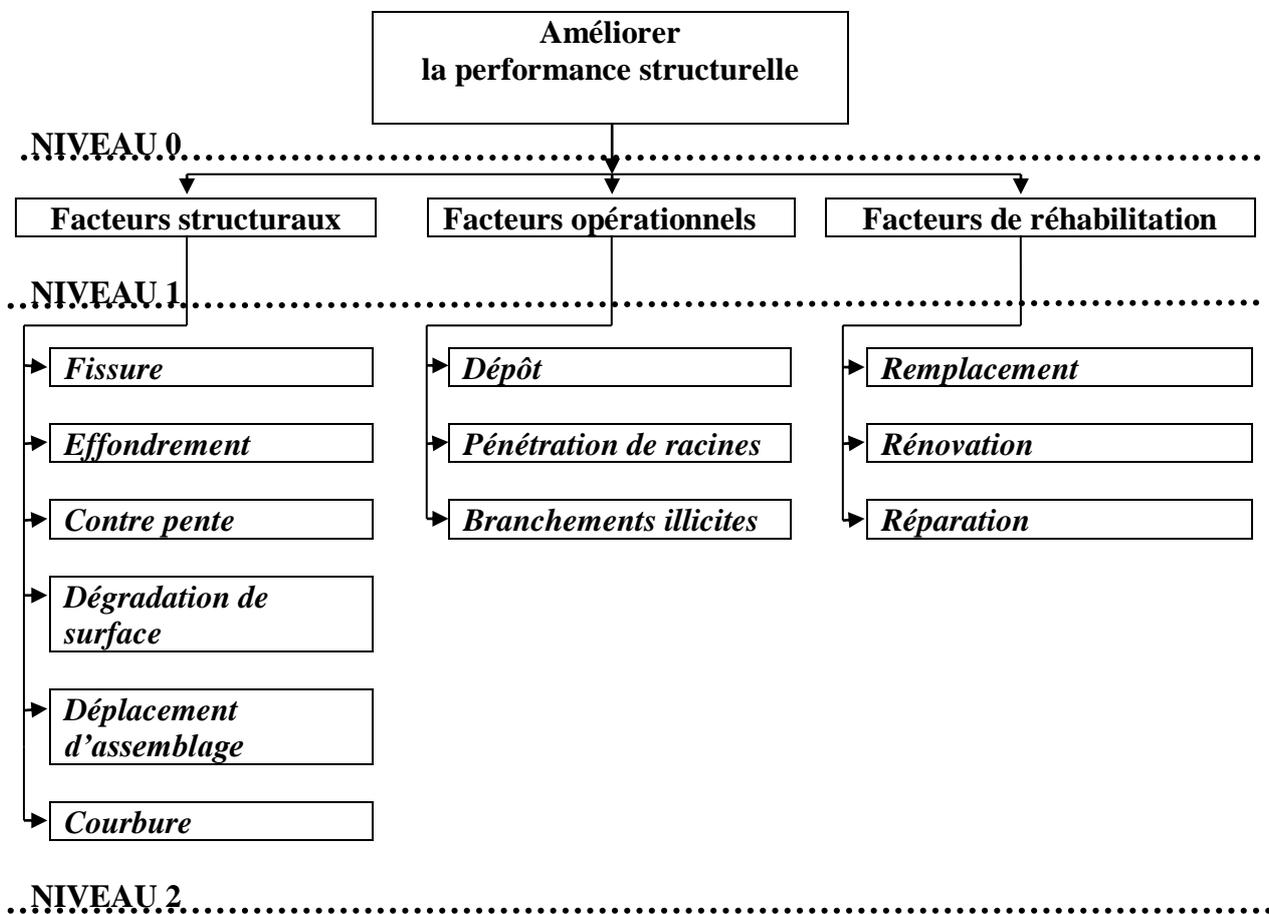


Fig IV.2. La structure hiérarchique des facteurs influant la performance structurelle des conduites d'assainissement.

IV.4.2. Les combinaisons binaires

Afin de calculer le poids des critères, il faut construire la matrice de comparaison par paire des éléments. Pour représenter l'importance relative d'un élément par rapport à un autre, nous allons utiliser la méthode AHP et l'échelle de SAATY.

Dans le but d'affecter une pondération à chaque critère, les comparaisons suivantes sont effectuées selon le jugement des experts d'ONA.

La hiérarchisation des facteurs de cette matrice a été établie en fonction de la dégradation la moins importante à la plus importante en termes de leurs dégradations.

Tableau IV.3. Matrice de comparaison par paire des facteurs structuraux.

	Fissure	courbure	dégradation de surface	déplacement d'assemblage	contre pente	Effondrement
Fissure	1	2	3	3	4	5
courbure	1/2	1	2	2	3	4
dégradation de surface	1/3	1/2	1	2	2	3
déplacement d'assemblage	1/3	1/2	1/2	1	2	3
contre pente	1/4	1/3	1/2	1/2	1	2
Effondrement	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1
Somme	2.62	4.58	7.33	8.83	12.50	18

Tableau IV.4. Matrice de comparaison par paire des facteurs opérationnels.

	Branchement illicite	Pénétration de racines	Dépôt
Branchement illicite	1	3	5
Pénétration de racines	1/3	1	3
Dépôt	1/5	1/3	1

Tableau IV.5. Matrice de comparaison par paire des facteurs de réhabilitation.

	Réparation	Rénovation	Remplacement
Réparation	1	3	5
Rénovation	1/3	1	3
Remplacement	1/5	1/3	1

Tableau IV.6. Matrice de comparaison par paire des facteurs de dégradation structurelle des conduites.

	Facteurs de réhabilitation	Facteurs opérationnels	Facteurs structureaux
Facteurs de réhabilitation	1	2	3
Facteurs opérationnels	1/2	1	3
Facteurs structureaux	1/3	1/3	1

Tableau IV.7. Matrice de comparaison par paire des facteurs structureaux (FAHP).

	Fissure	courbure	dégradation de surface	déplacement d'assemblage	contre pente	Effondrement
Fissure	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)
courbure	1/2	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)
dégradation de surface	1/3	1/2	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
déplacement d'assemblage	1/3	1/2	1/2	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
contre pente	1/4	1/3	1/2	1/2	(1,1,1)	(1,2,3)
Effondrement	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	(1,1,1)

Tableau IV.8. Matrice de comparaison par paire des facteurs opérationnels (FAHP).

	Branchement illicite	Pénétration de racines	Dépôt
Branchement illicite	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)
Pénétration de racines	1/3	(1,1,1)	(2,3,4)
Dépôt	1/5	1/3	(1,1,1)

Tableau IV.9. Matrice de comparaison par paire des facteurs de réhabilitation(FAHP).

	Réparation	Rénovation	Remplacement
Réparation	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)
Rénovation	1/3	(1,1,1)	(2,3,4)
Remplacement	1/5	1/3	(1,1,1)

Tableau IV.10. Matrice de comparaison par paire des facteurs de dégradation structurelle des conduites (FAHP).

	Facteurs de réhabilitation	Facteurs opérationnels	Facteurs structureaux
Facteurs de réhabilitation	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
Facteurs opérationnels	1/2	(1,1,1)	(2,3,4)
Facteurs structureaux	1/3	1/3	(1,1,1)

Pour la conversion des infractions à des nombres flous (*fuzzy number*), nous utilisons l'équation suivante :

$$\tilde{A}^{-1} = (l,m,u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right)$$

Exemple :

$$\tilde{A}^{-1} = (4,5,6)^{-1} = \left(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}\right)$$

Tableau IV.11. Matrice de comparaison par paire des facteurs structureaux (FAHP).

	Fissure	courbure	dégradation de surface	déplacement d'assemblage	contre pente	Effondrement
Fissure	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)
courbure	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)
dégradation de surface	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
déplacement d'assemblage	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
contre pente	$\left(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}\right)$	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	(1,1,1)	(1,2,3)
Effondrement	$\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}\right)$	$\left(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}\right)$	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}\right)$	(1,1,1)

Tableau IV.12. Matrice de comparaison par paire des facteurs opérationnels (FAHP).

	Branchement illicite	Pénétration de racines	Dépôt
Branchement illicite	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)
Pénétration de racines	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	(1,1,1)	(2,3,4)
Dépôt	$\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}\right)$	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$	(1,1,1)

Tableau IV.13. Matrice de comparaison par paire des facteurs de réhabilitation (FAHP).

	Réparation	Rénovation	Remplacement
Réparation	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)
Rénovation	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(2,3,4)
Remplacement	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)

Tableau IV.14. Matrice de comparaison par paire des facteurs de dégradation structurelle des conduites (FAHP).

	Facteurs de réhabilitation	Facteurs opérationnels	Facteurs structureux
Facteurs de réhabilitation	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
Facteurs opérationnels	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(2,3,4)
Facteurs structureux	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)

IV.4.3. Attribution du poids aux différents facteurs

D'après (BUCKLEY'S, 1985), le calcul de la moyenne géométrique (r_i) s'impose pour trouver le poids de chaque facteur. La formule de calcul de la moyenne géométrique est la suivante :

$$(\tilde{A}_1 * \tilde{A}_2)^{1/i} = (l_1, m_1, u_1)^{1/i} * (l_2, m_2, u_2)^{1/i} = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2)^{1/i} \dots \dots \dots (1)$$

Exemple :

$$r_i = (1 * 1 * 2 * 2 * 3 * 4)^{1/6}; (1 * 2 * 3 * 3 * 4 * 5)^{1/6}; (1 * 3 * 4 * 4 * 5 * 6)^{1/6}$$

$$r_i = (1.91, 2.67, 3.36)$$

Avec :

i : dimensionnement de la matrice.

Tableau IV.15. Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs structuraux.

	Fissure	courbure	dégradation de surface	déplacement d'assemblage	contre pente	Effondrement	La moyenne géométrique floue (r _i)
Fissure	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(1.91, 2.67, 3.36)
courbure	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1.12, 1.70, 2.38)
dégradation de surface	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(0.74, 1.12, 1.62)
déplacement d'assemblage	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(0.62, 0.89, 1.35)
contre pente	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(1,2,3)	(0.42, 0.59, 0.89)
Effondrement	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(0.30, 0.37, 0.52)

Tableau IV.16. Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs opérationnels.

	Branchement illicite	Pénétration de racines	Dépôt	La moyenne géométrique floue (r _i)
Branchement illicite	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2.00, 2.47, 2.88)
Pénétration de racines	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.79, 1.00, 1.26)
Dépôt	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(0.35, 0.40, 0.50)

Tableau IV.17. Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs de réhabilitation.

	Réparation	Rénovation	Remplacement	La moyenne géométrique floue (r _i)
Réparation	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2.00, 2.47, 2.88)
Rénovation	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.79, 1.00, 1.26)
Remplacement	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(0.35, 0.40, 0.50)

Tableau IV.18. Matrice de la moyenne géométrique floue des facteurs de dégradation structurelle des conduites.

	Facteurs de réhabilitation	Facteurs opérationnels	Facteurs structureaux	La moyenne géométrique floue (r _i)
Facteurs de réhabilitation	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1.26, 1.82, 2.29)
Facteurs opérationnels	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.87, 1.14, 1.59)
Facteurs structureaux	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(0.40, 0.48, 0.63)

Le poids flou (w_i) se calcule avec l'équation suivante :

$$W_i = r_i * (r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n)^{-1} \dots \dots \dots (2)$$

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) \dots \dots \dots (3)$$

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1+l_2, m_1+m_2, u_1+u_2) \dots \dots \dots (4)$$

Exemple :

$$(r_1+r_2+r_3+r_4+r_5+r_6) = (1.91+1.12+0.74+0.62+0.42+0.30), (2.67+1.70+1.12+0.89+0.59+0.37), (3.36+2.38+1.62+1.35+0.89+0.52)$$

$$(r_1+r_2+r_3+r_4+r_5+r_6) = (5.11, 7.34, 10.12)$$

$$(r_1+r_2+r_3+r_4+r_5+r_6)^{-1} = (5.11, 7.34, 10.12)^{-1}$$

$$(r_1+r_2+r_3+r_4+r_5+r_6)^{-1} = (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$$

Tableau IV.19. Matrice du poids flou des facteurs structuraux.

	La moyenne géométrique floue (r_i)	Application	Le poids flou (W_i)
Fissure	(1.91, 2.67, 3.36)	$(1.91, 2.67, 3.36) * (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$	(0.19, 0.36, 0.66)
courbure	(1.12, 1.70, 2.38)	$(1.12, 1.70, 2.38) * (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$	(0.11, 0.23, 0.47)
dégradation de surface	(0.74, 1.12, 1.62)	$(0.74, 1.12, 1.62) * (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$	(0.07, 0.15, 0.32)
déplacement d'assemblage	(0.62, 0.89, 1.35)	$(0.62, 0.89, 1.35) * (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$	(0.06, 0.12, 0.26)
contre pente	(0.42, 0.59, 0.89)	$(0.42, 0.59, 0.89) * (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$	(0.04, 0.08, 0.17)
Effondrement	(0.30, 0.37, 0.52)	$(0.30, 0.37, 0.52) * (\frac{1}{10.12}, \frac{1}{7.34}, \frac{1}{5.11})$	(0.03, 0.05, 0.10)

Tableau IV.20. Matrice du poids flou des facteurs opérationnels.

	La moyenne géométrique floue (r_i)	Application	Le poids flou (W_i)
Branchement illicite	(2.00 ,2.47, 2.88)	$(2.00 ,2.47, 2.88) * (\frac{1}{4.64}, \frac{1}{3.87}, \frac{1}{3.14})$	(0.44, 0.64, 0.92)
Pénétration de racines	(0.79, 1.00, 1.26)	$(0.79, 1.00, 1.26) * (\frac{1}{4.64}, \frac{1}{3.87}, \frac{1}{3.14})$	(0.17, 0.26, 0.40)
Dépôt	(0.35, 0.40, 0.50)	$(0.35, 0.40, 0.50) * (\frac{1}{4.64}, \frac{1}{3.87}, \frac{1}{3.14})$	(0.08, 0.11, 0.16)

Tableau IV.21. Matrice du poids flou des facteurs de réhabilitation.

	La moyenne géométrique floue (r_i)	Application	Le poids flou (W_i)
Réparation	(2.00 ,2.47, 2.88)	$(2.00 ,2.47, 2.88) * (\frac{1}{4.64}, \frac{1}{3.87}, \frac{1}{3.14})$	(0.44, 0.64, 0.92)
Rénovation	(0.79, 1.00, 1.26)	$(0.79, 1.00, 1.26) * (\frac{1}{4.64}, \frac{1}{3.87}, \frac{1}{3.14})$	(0.17, 0.26, 0.40)
Remplacement	(0.35, 0.40, 0.50)	$(0.35, 0.40, 0.50) * (\frac{1}{4.64}, \frac{1}{3.87}, \frac{1}{3.14})$	(0.08, 0.11, 0.16)

Tableau IV.22. Matrice du poids flou des facteurs de dégradation structurelle des conduites.

	La moyenne géométrique floue (r_i)	Application	Le poids flou (W_i)
Facteurs de réhabilitation	(1.26, 1.82, 2.29)	$(1.26, 1.82, 2.29) * (\frac{1}{4.51}, \frac{1}{3.44}, \frac{1}{2.53})$	(0.28, 0.53, 0.91)
Facteurs opérationnels	(0.87, 1.14, 1.59)	$(0.87, 1.14, 1.59) * (\frac{1}{4.51}, \frac{1}{3.44}, \frac{1}{2.53})$	(0.19, 0.33, 0.63)
Facteurs structuraux	(0.40, 0.48, 0.63)	$(0.40, 0.48, 0.63) * (\frac{1}{4.51}, \frac{1}{3.44}, \frac{1}{2.53})$	(0.09, 0.14, 0.25)

Le calcul du poids normalisé s'effectue avec les équations suivantes :

D'abord nous calculons le **COA** (Centre Of Area)

$$COA = \left(\frac{l+m+u}{3} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Exemple :

$$COA = \left(\frac{0.19+0.36+0.66}{3} \right)$$

$$COA = 0.40$$

Le poids normalisé :

$$W_i' = COA / \Sigma COA \dots\dots\dots (6)$$

Tableau IV.23. Matrice du poids normalisé des facteurs structuraux.

	W_i	COA	W_i'
Fissure	(0.19, 0.36, 0.66)	0.40	0.35
courbure	(0.11, 0.23, 0.47)	0.27	0.23
dégradation de surface	(0.07, 0.15, 0.32)	0.18	0.16
déplacement d'assemblage	(0.06, 0.12, 0.26)	0.15	0.13
contre pente	(0.04, 0.08, 0.17)	0.10	0.08
Effondrement	(0.03, 0.05, 0.10)	0.06	0.05
ΣCOA	/	1.16	/
$\Sigma W_i'$	/	/	1.00

Tableau IV.24. Matrice du poids normalisé des facteurs opérationnels.

	W_i	COA	W_i'
Branchement illicite	(0.44, 0.64, 0.92)	0.67	0.63
Pénétration de racines	(0.17, 0.26, 0.40)	0.28	0.26
Dépôt	(0.08, 0.11, 0.16)	0.11	0.11
ΣCOA	/	1.06	/
$\Sigma W_i'$	/	/	1.00

Tableau IV.25. Matrice du poids normalisé des facteurs de réhabilitation.

	W_i	COA	W_i'
Réparation	(0.44, 0.64, 0.92)	0.67	0.63
Rénovation	(0.17, 0.26, 0.40)	0.28	0.26
Remplacement	(0.08, 0.11, 0.16)	0.11	0.11
Σ COA	/	1.06	/
$\Sigma W_i'$	/	/	1.00

Tableau IV.26. Matrice du poids normalisé des facteurs de la dégradation structurelle des conduites.

	W_i	COA	W_i'
Facteurs de réhabilitation	(0.28, 0.53, 0.91)	0.57	0.51
Facteurs opérationnels	(0.19, 0.33, 0.63)	0.38	0.35
Facteurs structuraux	(0.09, 0.14, 0.25)	0.16	0.14
Σ COA	/	1.11	/
$\Sigma W_i'$	/	/	1.00

IV.4.4. Vérification de la consistance

Nous devons vérifier la consistance, en suivant les étapes suivantes :

Etape 1 : Nous allons créer un vecteur A_3 à partir de la multiplication de la matrice de comparaison avec le vecteur du poids normalisé.

$$A_3 = A_1 * A_2 \dots \dots \dots (7)$$

Avec :

A_1 : Matrice de comparaison.

A_2 : Vecteur de poids normalisé.

Matrice des facteurs structuraux.

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0.23 \\ 0.16 \\ 0.13 \\ 0.08 \\ 0.05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.25 \\ 1.42 \\ 0.96 \\ 0.75 \\ 0.49 \\ 0.31 \end{bmatrix}$$

Matrice des facteurs opérationnels.

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.63 \\ 0.26 \\ 0.11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.96 \\ 0.80 \\ 0.32 \end{bmatrix}$$

Matrice des facteurs de réhabilitation.

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.63 \\ 0.26 \\ 0.11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.96 \\ 0.80 \\ 0.32 \end{bmatrix}$$

Matrice des facteurs de dégradation structurelle des conduites.

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.51 \\ 0.35 \\ 0.14 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.63 \\ 1.03 \\ 0.43 \end{bmatrix}$$

Étape 2 : création d'un vecteur A_4 qui est le rapport entre le vecteur A_3 et le vecteur du poids normalisé A_2 .

$$A_4 = A_3 / A_2 \dots\dots\dots (8)$$

Vecteur des facteurs structuraux.

$$A_4 = \begin{bmatrix} 2.25 \\ 1.42 \\ 0.96 \\ 0.75 \\ 0.49 \\ 0.31 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0.23 \\ 0.16 \\ 0.13 \\ 0.08 \\ 0.05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.43 \\ 6.17 \\ 6.00 \\ 5.77 \\ 6.13 \\ 6.20 \end{bmatrix}$$

Vecteur des facteurs opérationnels.

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1.96 \\ 0.80 \\ 0.32 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0.63 \\ 0.26 \\ 0.11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.11 \\ 3.03 \\ 2.99 \end{bmatrix}$$

Vecteur des facteurs de réhabilitation.

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1.96 \\ 0.80 \\ 0.32 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0.63 \\ 0.26 \\ 0.11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.11 \\ 3.03 \\ 2.99 \end{bmatrix}$$

Vecteur des facteurs de dégradation structurelle des conduites.

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1.63 \\ 1.03 \\ 0.43 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0.51 \\ 0.35 \\ 0.14 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.18 \\ 2.98 \\ 2.99 \end{bmatrix}$$

➤ Vérification de la consistance pour les facteurs structuraux :

$$\lambda_{max} = \frac{6.43 + 6.17 + 6.00 + 5.77 + 6.13 + 6.20}{6}$$

$$\lambda_{max} = 6.12$$

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \dots\dots\dots (9)$$

$$CI = \frac{6.12 - 6}{5} = 0.024$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots (10)$$

$$CR = \frac{0.024}{1.24} = 0.02 < 0.1$$

➤ Vérification de la consistance pour les facteurs opérationnels :

$$\lambda_{max} = \frac{3.11 + 3.03 + 2.99}{3}$$

$$\lambda_{max} = 3.05$$

$$CI = \frac{3.05 - 3}{2} = 0.02$$

$$CR = \frac{0.02}{0.58} = 0.04 < 0.1$$

- Vérification de la consistance pour les facteurs réhabilitation :

$$\lambda_{max} = \frac{3.11 + 3.03 + 2.99}{3}$$

$$\lambda_{max} = 3.05$$

$$CI = \frac{3.05 - 3}{2} = 0.02$$

$$CR = \frac{0.02}{0.58} = 0.04 < 0.1$$

- Vérification de la consistance pour les facteurs dégradation structurelle des conduites :

$$\lambda_{max} = \frac{3.18 + 2.98 + 2.99}{3}$$

$$\lambda_{max} = 3.05$$

$$CI = \frac{3.05 - 3}{2} = 0.02$$

$$CR = \frac{0.02}{0.58} = 0.04 < 0.1$$

IV.4.5. Calcul de la performance

Pour le calcul de la performance, nous avons opté pour la méthode de la somme pondérée pour sa simplicité, la formule de calcul est la suivante :

$$P = w_i * p_i \dots\dots\dots (11)$$

Avec :

w_i : Le poids normalisé.

p_i : performance partielle.

Les performances partielles des facteurs influant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement sont représentées dans le tableau (IV.27).

Tableau IV.27. Les performances partielles des facteurs influant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement.

Facteurs structuraux (P_{FS})		Facteurs opérationnels (P_{FO})		Facteurs de réhabilitation (P_{FR})	
Facteurs	p_i	Facteurs	p_i	Facteurs	p_i
Fissure (P_F)	0.82	Dépôt (P_D)	0.32	Remplacement (P_{R1})	0.06
Effondrement (P_E)	0.9	Pénétration de racines (P_{PR})	0.94	Rénovation (P_{R2})	0
contre pente (P_{CP})	0.96	Branchement illicites (P_{BI})	0.88	Réparation (P_{R3})	0.03
dégradation de surface (P_{DS})	0.72				
déplacement d'assemblage (P_{DA})	0.5				
courbure (P_C)	0.32				

Tableau IV.28. La performance des facteurs structuraux.

	w_i'	p_i	p
Fissure (P_F)	0.35	0.82	0.29
Effondrement (P_E)	0.05	0.90	0.04
contre pente (P_{CP})	0.08	0.96	0.08
dégradation de surface (P_{DS})	0.16	0.72	0.12
déplacement d'assemblage (P_{DA})	0.13	0.5	0.07
courbure (P_C)	0.23	0.32	0.07
somme (P_{FS})	/	/	0.67

Tableau IV.29. La performance des facteurs opérationnels.

	w_i'	p_i	p
Dépôt (P_D)	0.11	0.32	0.04
Pénétration de racines (P_{PR})	0.26	0.94	0.24
Branchement illicites (P_{BI})	0.63	0.88	0.55
somme (P_{FO})	/	/	0.83

Tableau IV.30. La performance des facteurs de réhabilitations.

	w_i	p_i	p
Remplacement (P_{R1})	0.11	0.06	0.01
Rénovation (P_{R2})	0.26	0	0
Réparation (P_{R3})	0.63	0.03	0.02
somme(P_{FR})	/	/	0.03

L'évaluation de la performance structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaia :

$$P_{DSC} = (0.67*0.14) + (0.83* 0.35) + (0.03*0.51) = 0.39$$

IV.5. Application de la logique floue

Afin d'évaluation la dégradation structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaïa avec la logique floue. A l'aide d'une application *fuzzy* qui existe sur le langage de programmation MATLAB, nous devons créer un système d'inférence flou propre à cette problématique. Ce qui nécessite le passage par ces différentes étapes :

IV.5.1. Choix des entrées et des sorties dans le « Concepteur de la logique floue (*fuzzy logic designer*) »

Les entrées au système sont : « Fissure, Effondrement, Contre pente, Dégradation de surface, Déplacement d'assemblage, Courbure, Dépôts, Pénétration de racines, Branchements illicites, Remplacement, Rénovation, Réparation ». La sortie du système est « Dégradation Structurelle des Conduites d'assainissement (DSC) ».

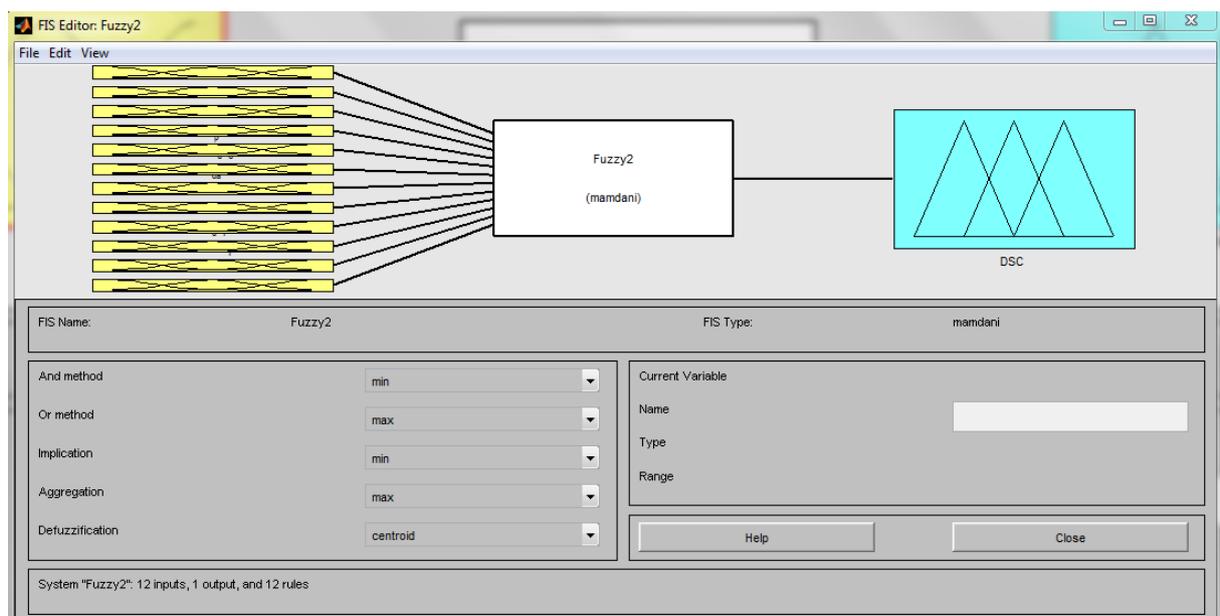


Fig IV.3. choix des entrées et des sorties du système d'inférence floue.

IV.5.2. Création des fonctions d'appartenance dans « l'Editeur de la fonction d'appartenance (*Membership Function Editor*) »

Les fonctions d'appartenance concernant les entrées sont présentées dans les figures suivantes :

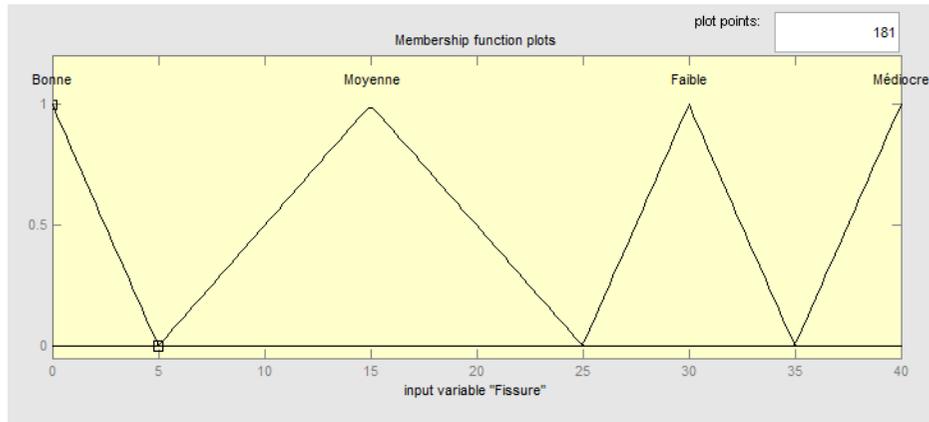


Fig IV.4. Fonction d'appartenance concernant « Fissure ».

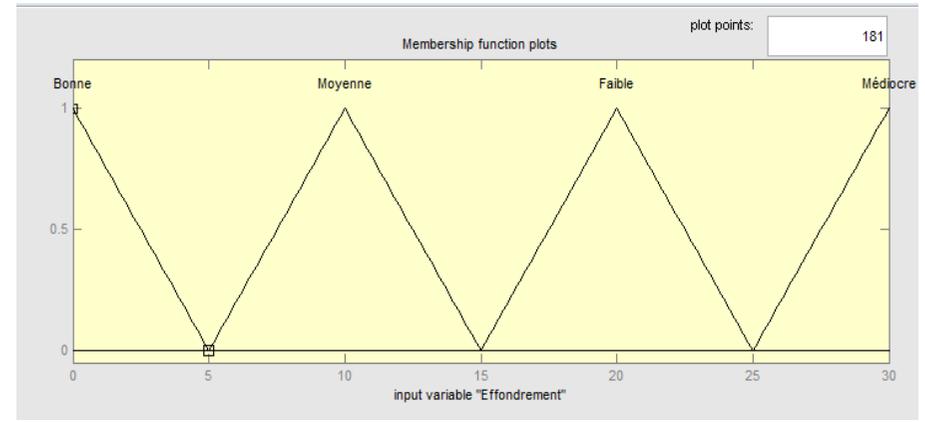


Fig IV.5. Fonction d'appartenance concernant « Effondrement ».

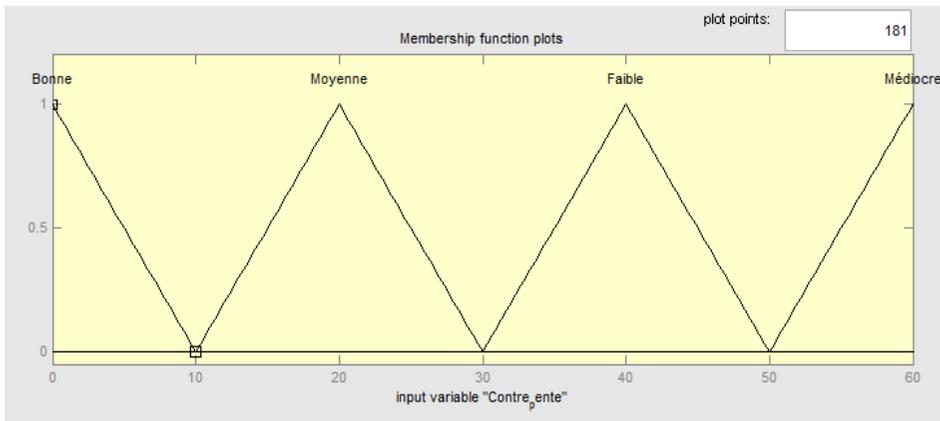


Fig IV.6. Fonction d'appartenance concernant « Contre pente ».

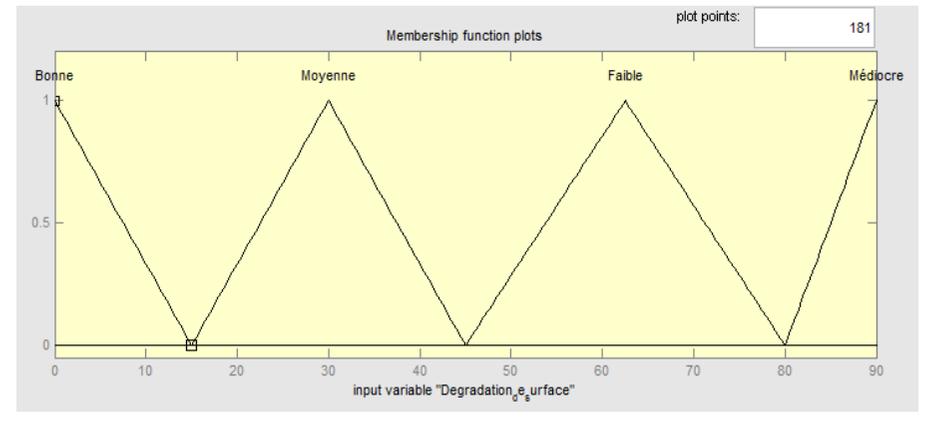


Fig IV.7. Fonction d'appartenance concernant « Dégradation de surface ».

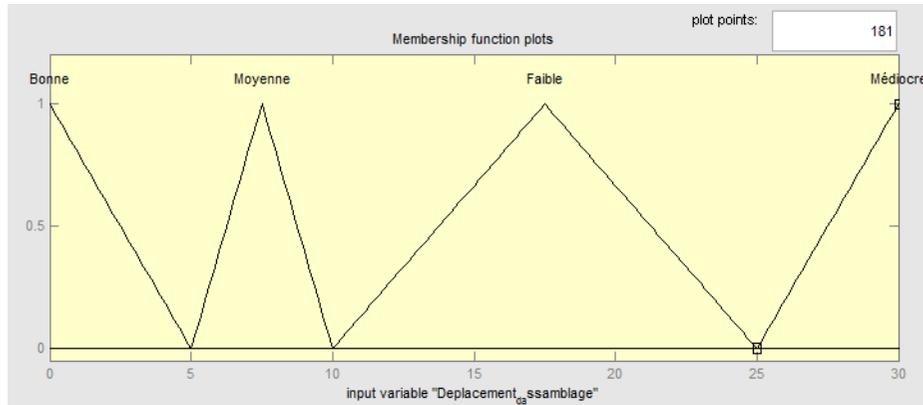


Fig IV.8. Fonction d'appartenance concernant « Déplacement d'assemblage ».

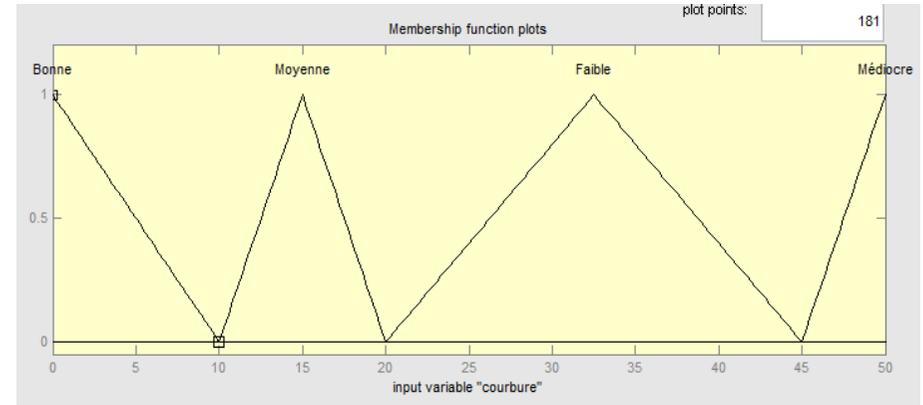


Fig IV.9. Fonction d'appartenance concernant « Courbure ».

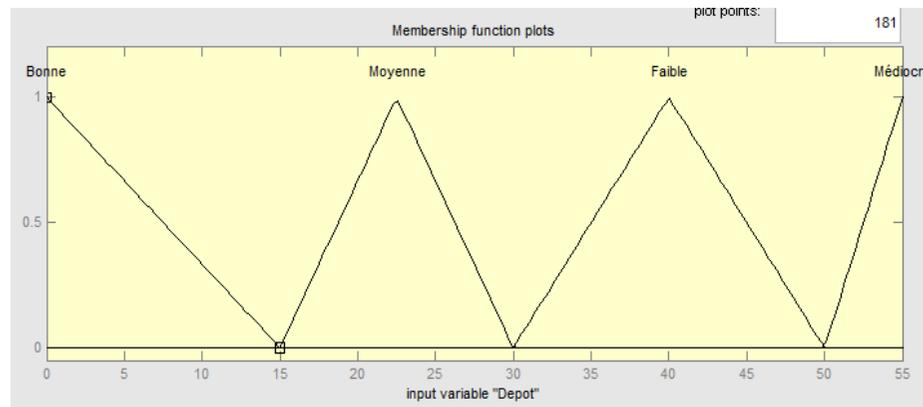


Fig IV.10. Fonction d'appartenance concernant « Dépôts ».

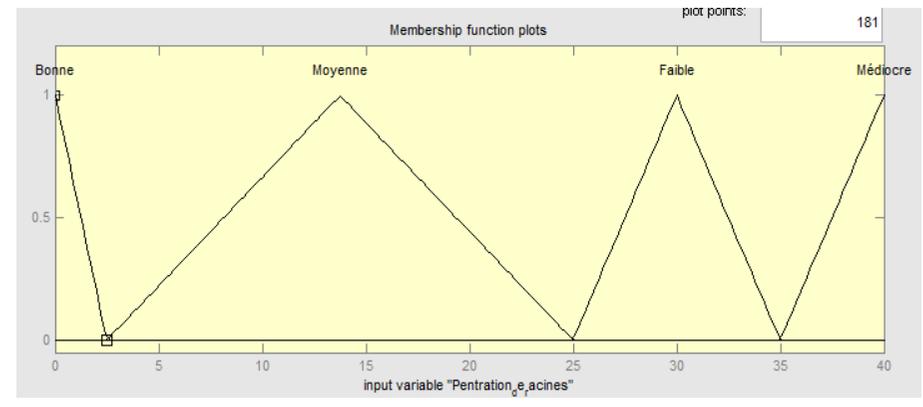


Fig IV.11. Fonction d'appartenance concernant « Pénétration de racines ».

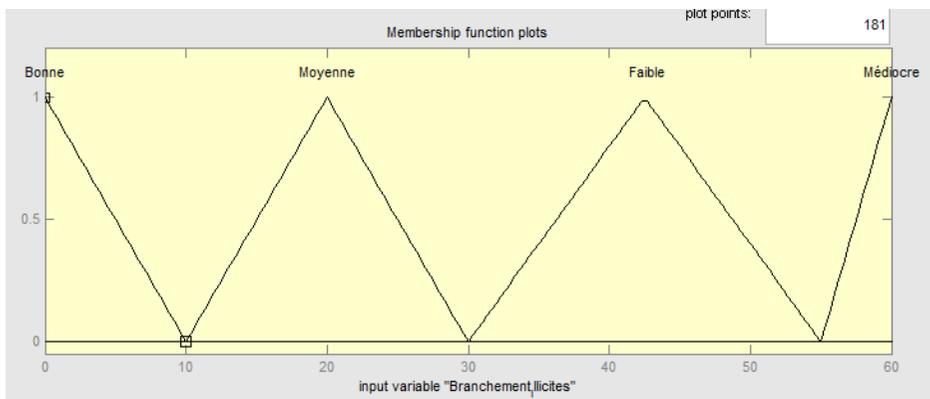


Fig IV.12. Fonction d'appartenance concernant « branchements illicites ».

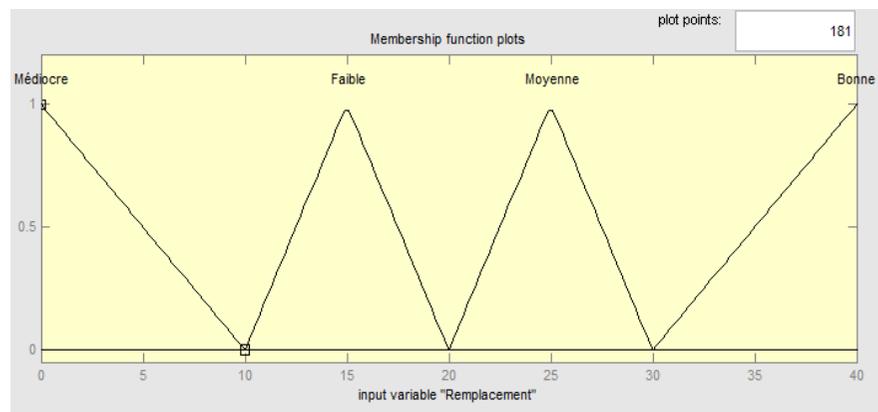


Fig IV.13. Fonction d'appartenance concernant « remplacement ».

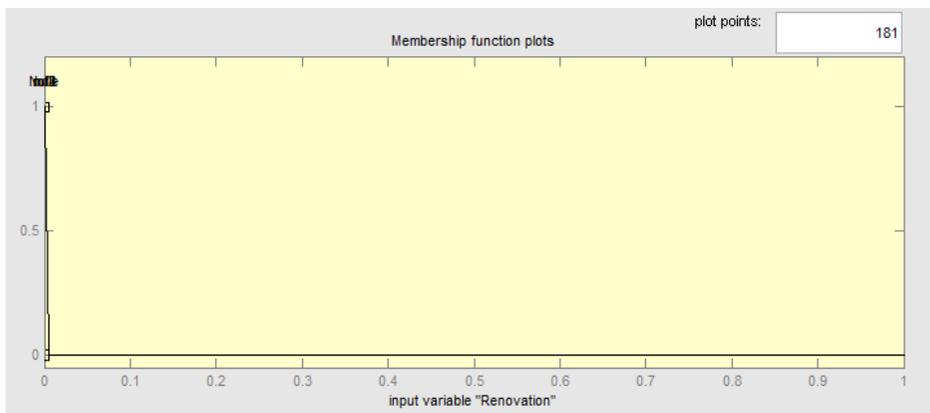


Fig IV.14. Fonction d'appartenance concernant « Rénovation ».

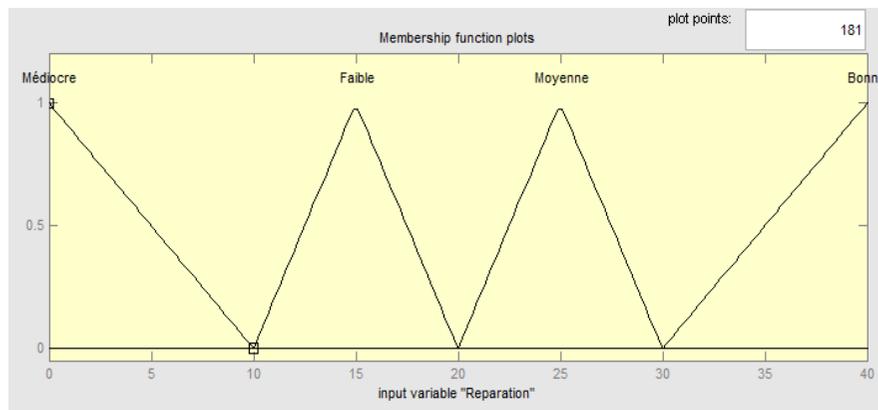


Fig IV.15. Fonction d'appartenance concernant « Réparation ».

La fonction d'appartenance concernant la sortie est représentée dans la figure suivante :

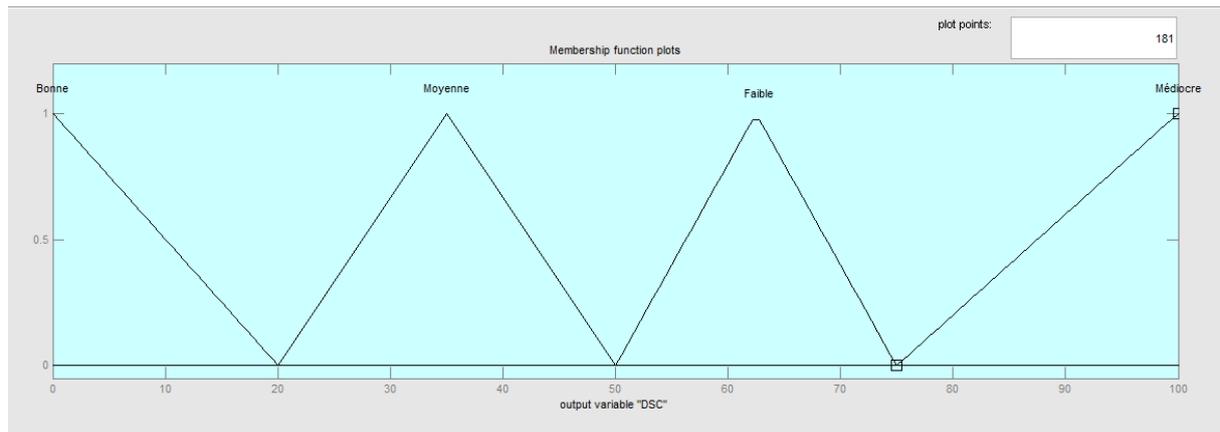


Fig IV.16. Fonction d'appartenance concernant « DSC ».

IV.5.3. Choix de la règle ou des règles correspondantes au système dans « l'Editeur de règle (Rule Editor) »

Plusieurs règles peuvent être étudiées. Dans ce travail, nous avons étudié 12 règles, nous n'avons pas utilisé les opérateurs logiques « et » et « ou ». Nous précisons qu'un changement d'une ou plusieurs règles influera sur le résultat final.

1. Si (Effondrement est Bonne) alors (DSC est Bonne) (1)
2. Si (Fissure est Bonne) alors (DSC est Bonne) (1)
3. Si (Contre pente est Bonne) alors (DSC est Bonne) (1)
4. Si (Dégradation de surface est Moyenne) alors (DSC est Moyenne) (1)
5. Si (Déplacement d'assemblage est Moyenne) alors (DSC est Moyenne) (1)
6. Si (courbure est Faible) alors (DSC est Faible) (1)
7. Si (Dépôt est Faible) alors (DSC est Faible) (1)
8. Si (Pénétration de racines est Bonne) alors (DSC est Bonne) (1)
9. Si (Branchement illicites est Bonne) alors (DSC est Bonne) (1)
10. Si (Remplacement est Médiocre) alors (DSC est Médiocre) (1)
11. Si (Rénovation est Nulle) alors (DSC est Médiocre) (1)
12. Si (Réparation est Médiocre) alors (DSC est Médiocre) (1)

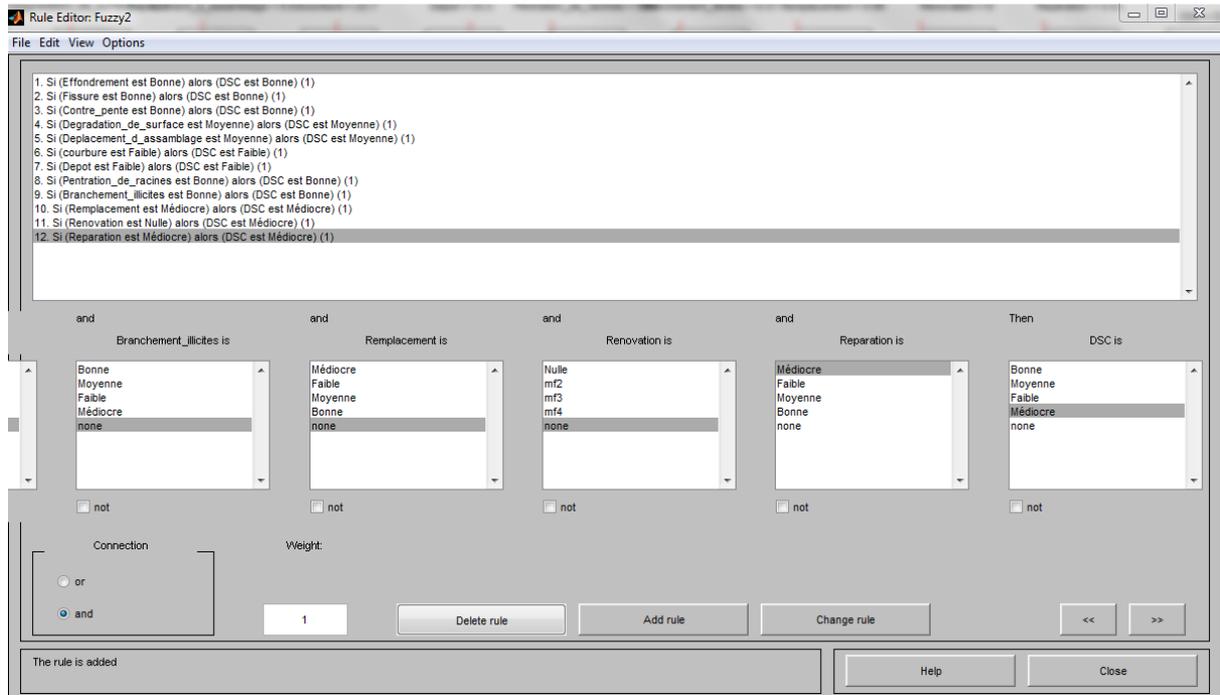


Fig IV.17. Fenêtre de l'éditeur de règles qui définit le comportement du système d'inférence floue.

IV.5.4. Introduction des valeurs de performances des l'entrées réelles dans «L'observateur de règles (Rule Viewer) »

Dans cette partie, nous allons introduire les valeurs des performances des entrées. Le but est d'avoir comme résultat final la performance de la « DSC » calculée par la méthode de la logique floue. Ce qui va nous permettre, par la suite, d'effectuer une comparaison avec la performance de la « P_{DSC} » calculée par la méthode FAHP.

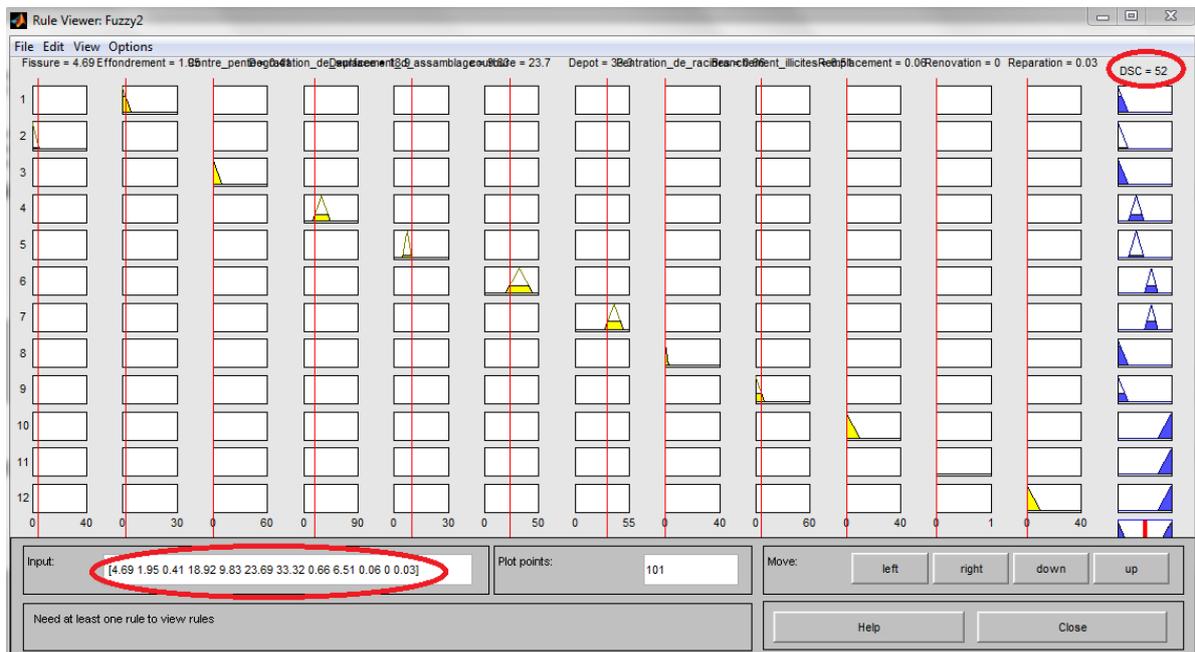


Fig IV.18. Fenêtre principale de l'observateur de règles du système d'inférence floue.

La performance de sortie « DSC » calculée par la méthode de la logique floue est de l'ordre de 52% (*Fig IV.17*).

La projection de résultat obtenu (52%) sur le graphe de la performance en fonction de la dégradation structurelle des conduites d'assainissement (**Annexe 1**) est de l'ordre de :

$$P_{DSC} = 0.40$$

Nous remarquons que la performance de l'objectif « P_{DSC} » calculé par les deux méthodes se situe dans la même classe. Elle est qualifiée de faible performance. Cependant, il existe une légère différence dans les scores obtenus.

IV.6. Interprétation des résultats

Dans ce chapitre, nous avons utilisé deux méthodes d'aide à la décision. Il s'agit de la méthode FAHP et la méthode de la logique floue. Ces dernières nous permettent de rendre possible l'évaluation de la performance structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaïa. En effet, la méthode FAHP utilise, lors de son application, les matrices de préférences par paires entre les facteurs de dégradation. Le changement de choix de performance élaborés par les gestionnaires de l'ONA ou par des experts, influent directement sur la note de performance finale de l'objectif.

Par ailleurs, la méthode de la logique floue est élaborée sur la base de règles qui définissent le comportement du système d'inférence floue. Finalement, les résultats obtenus sont presque de même performance : (FAHP : $P_{DSC} = 0.39$), (logique floue : $P_{DSC} = 0.40$). L'évaluation de la dégradation structurale obtenue est de la même classe de faible performance, cela permettra aux gestionnaires de l'ONA de déceler les insuffisances de gestion à travers cette note, et procéder, par conséquent, aux améliorations nécessaires afin de remédier aux manquements distingués.

IV.7. Conclusion

Dans le cadre de ce chapitre, nous avons traité le problème de l'évaluation des facteurs influençant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaïa. En effet, la frontière du système étudié ont été bien localisées et définies permettant d'identifier les éléments faisant partie de l'évaluation, ainsi que le contexte de leur mise en évidence.

L'étude consiste à mettre au point une approche articulée sur le jugement des parties prenantes, de la gestion du réseau d'assainissement, en utilisant deux méthodes multicritères d'aides à la décision sous un environnement flou. L'AHP-floue (Processus d'Analyse Hiérarchique Floue) est utilisée comme un outil multi-niveau pour la prise de décision. Elle est basée sur l'évaluation humaine et couvre l'imprécision dans les jugements ordinaux obtenus à partir d'un ensemble de comparaison par paires remplis par les gestionnaires de l'ONA. Ainsi, elle détermine les poids précis reflétant l'importance des facteurs adoptés afin d'évaluer la qualité de la gestion de leur patrimoine structurel.

En présence d'estimations imprécises sur la qualité de la dégradation des conduites d'assainissement, le recours à la méthode de la logique floue semble justifié. En effet, la logique floue permet de travailler sur des notions imprécises (entre le vrai et le faux). Elle représente et traite des informations subjectives comme le langage naturel, des connaissances approximatives ou incertaines. En comparaison avec la logique classique, elle ajoute la possibilité de calculer un paramètre, en disant simplement dans quelle mesure il doit se trouver dans telle ou telle zone de valeur.

La logique floue représente un système traduisant cette part d'imprécision. Pour cela, des degrés d'appartenance sont affectés aux variables comprises entre 0 et 1 au lieu d'un état qui soit 0 ou 1. Cette méthode utilise la notion de degré d'appartenance à un sous-ensemble flou. En fait, il peut prendre toutes les valeurs comprises entre 0 et 1. En définissant les données avec imprécision, le processus de découverte des connaissances a rendu facile et simple l'exploration des données. En effet, les bases de données floues peuvent avoir des variables linguistiques claires.

Dans notre étude, nous avons utilisé douze (12) règles avec des inférences conditionnelles floues. Le raisonnement étudié nous a fourni, à la sortie, une note de performance pour la gestion de la dégradation des conduites d'assainissement.

Finalement, les résultats obtenus à travers l'utilisation des deux méthodes, sont très proche : (FAHP : $P_{DSC} = 0.39$), (logique floue : $P_{DSC} = 0.40$). L'évaluation de la dégradation structurelle obtenue est de la même classe de faible performance. Cette connaissance permettra par la suite au décideur de l'ONA de prendre des décisions adaptées à leur politique et à leur stratégie de planification.

***CONCLUSION
GENERALE ET
PERSPECTIVE***

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE

La gestion des services d'assainissement en Algérie fait face à différentes contraintes. Elle est difficile et mal maîtrisée. Cette difficulté de gestion revient notamment au manque de réglementation, de financement insuffisant et de déperdition de compétences humaines. En effet, plusieurs acteurs du domaine sont unanimes à dire que l'état du réseau d'assainissement se dégrade de plus en plus en vue des dysfonctionnements observés lors des précipitations.

La problématique de cette thèse s'intéresse à l'élaboration d'un outil méthodologique d'aide à la décision, pour l'évaluation de la dégradation structurelle des conduites d'assainissement de la ville de Bejaia. Cette démarche respecte et tient compte des spécificités locales de la région.

L'approche méthodologique que nous avons adoptée est guidée par deux lignes directrices :

- Identifier un ensemble de facteurs influençant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement ;
- Adapter ces facteurs aux stratégies de gestion de l'ONA et aux moyens disponibles.

Cette double démarche nous a permis de réaliser quatre chapitres. Le premier chapitre s'intéresse à présenter le système étudié à travers un aperçu général sur le réseau d'assainissement, ses caractéristiques ainsi que les différents éléments qui le constituent.

Le deuxième chapitre a présenté la problématique de la dégradation structurelle des réseaux d'assainissement urbains. Tout d'abord, nous avons tenté d'exposer tous les facteurs et les causes principales de l'évolution de ce phénomène et les risques qu'il peut engendrer. Ensuite, nous avons développé les différentes actions menées sur le réseau afin de remédier à ce problème. En dernière partie, nous nous sommes intéressés au cas d'Algérie et le type d'interventions réalisées par l'ONA.

Le chapitre trois se rapporte à la présentation de l'approche multicritère d'aide à la décision que nous avons adoptée. Elle est basée sur l'utilisation de facteurs de dégradation quantifiable. En effet, nous avons opté pour l'utilisation de deux méthodes qui facilitent la tâche de l'évaluation : la méthode "*Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP)" et de la méthode « logique floue ». Ces méthodes nécessitent, au besoin, le recours à des experts lors de l'élaboration de la matrice de comparaison par paires.

Enfin, le quatrième chapitre a présenté l'application de l'outil méthodologique sur les conduites d'assainissement de la ville de Bejaia. La collaboration des gestionnaires de l'unité ONA de Bejaia était cruciale pour l'identification des facteurs influençant la dégradation structurelle, et de la construction des matrices de préférence. Les deux méthodes utilisées dévoilent que l'évaluation de la dégradation structurelle se trouve dans la même classe de faible performance (FAHP : $P_{DSC} = 0,39$), (logique floue : $P_{DSC} = 0,40$). Ce résultat permettra au gestionnaire de l'ONA de prendre des décisions adaptées à leur politique et à leur stratégie de planification.

Concernant les perspectives de la recherche, elles sont multiples :

- Rechercher à appliquer l’outil méthodologique sur plusieurs cas d’études afin d’obtenir suffisamment de statistiques et de retour d’expérience;
- Développer d’autres règles utilisées dans la logique floue, et probablement remettre en cause la liste des règles que nous avons proposées ;
- Tester d’autres méthodes d’aide à la décision ;
- Identifier la liste des facteurs influençant la dégradation fonctionnelle dans le but d’évaluer la performance structurelle dans sa globalité.

BIBLIOGRAPHIE

BECK Sébastien, Création du PAEI-SCHERWILLER, projet, pose de l'assainissement coté Giessen, 2008.

BEDJOU, A., BOUDOUKHA, A., BOUSSELER, B., *Assessment of wastewater asset management effectiveness in the case of rare data and low investments, International journal of environmental science and technology*, ISSN 1735-1472, 2018.

BEGGAS, M. et LIHIOU, H., Diagnostic et étude du réseau d'assainissement de la cité Elhamaissa-commune de Hassi Khalifa, Mémoire de master professionnel en hydraulique, université El Oued, Algérie, 2014.

BENGASSEM, J., Élaboration d'un système d'aide au diagnostic hydraulique et Structural des réseaux d'assainissement urbains, Thèse de doctorat, école de technologie Supérieure, Canada, 2001.

BENOIT G., et DESBIENS M., Réseaux d'égouts pathologies, Diagnostics interventions, gouvernement du Québec, Ministère des affaires municipales des régions et de l'occupation du territoire, 2012.

BENZERRA Abbas, CHERRARED Marzouk, CHOCAT Bernard, CHERQUI Frédéric, ZEKIOUK Tarik, Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria, *Journal of environmental management*, 101, 46-53, 2012.

BERLAND, J., Réhabilitation des réseaux d'assainissement en zone rurale, Office International de l'Eau SNIDE, Document Technique, FNDAE N°32, Octobre 2004.

BRAHAMI, M. et ZIANE, B., Commande basée sur la passivité adaptative par la logique floue d'un moteur synchrone à aimants permanents, Mémoire de Master, Bejaïa, 2014.

BOUKHARI, S., La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie, Thèse de Doctorat, Annaba, 2018.

BOUKHOBZA, M., Diagnostic de réseau d'assainissement de la ville de Chetouane-Tlemcen, Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, 79 pages, 2016.

Catherine Trianta-Ilou, La dégradation et la réhabilitation des Réseaux d'assainissement France -Angleterre - ETATS-UNIS, thèse de doctorat, Sciences de l'Homme et Société, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 143 pages, 2008.

DANTEZ, Diagnostic du système d'assainissement et schéma directeur de la ville de Bejaia (Algérie), Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES, Ecole nationale de génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg, 2017.

DAVIES, J.P., CLARKE, B.A., WHITER, J.T., CUNNINGHAM, R.J., Factors Influencing the structural deterioration and collapse of rigid sewer pipes, 2001.

ENNAOURI, I., Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux, Maîtrise, École Polytechnique de Montréal, 79 pages, 2008.

GHODBANE, R., Modélisation d'un réseau d'assainissement et contribution à sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique. Étude de la ville de Boutaleb, Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.

HADJADI, N. et ABDI, K., Investigation autour de la localisation optimale des stations d'épuration : cas du groupement urbain de Tlemcen, Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2018.

HAMCHAOU, S., BOUDOUKHA, A., BENZERRA, A., *Drinking water supply service management and sustainable development challenges: case study of Bejaia, Algeria, Journal of water supply*, 64.8, 2015.

HARROUCHE, F., Application De La Logique Floue Aux Machines Tournantes, Mémoire de Master, université de Sétif, 2012.

HOCINE, A. et KAID SLIMANE, A., Utilisation d'une approche multicritère pour l'étude de la dégradation des réseaux sanitaires et pluviaux, mémoire de Master, Université ABOU BEKR BELKAID, 2017.

IKHLEF, S. et HALICHE, N., Problématique de réhabilitation des conduites des réseaux d'alimentation en eau potable, Mémoire de Master, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, Département d'Hydraulique, 2018.

LABIB, A., A supplier selection model: a comparison of fuzzy logic and the analytic hierarchy process. *International Journal of Production Research*, 49, 6287-6299, 2011.

LAGHOUG, I., Commande par logique floue type -2- appliquée à la machine asynchrone, Mémoire de Master, Université Mouhamed Boudiaf, M'SILA, 2016.

MECHR, B., KRIKER, A., ABIMOULOU, Y., EVRNZA, Impact de dégradation des réseaux d'assainissement et AEP sur l'état de la route, Séminaire national de la route et la sûreté de la circulation, université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.

MILLET, I., The effectiveness of alternative preference elicitation methods in the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6, 41-51, 1997.

NEGAD, M., Etude d'assainissement de la ville sebdou, Mémoire de Master, Université ABOU BEKR BELKAID, 2016.

ORDOOBADI, S., Development of a supplier selection model using fuzzy logic. *Supply Chain Management: An international journal*, 14, 314-327, 2009.

PEARSON, D., GRIOT, C., SAUVAGNARGUES-LESAGE, S., DUSSERRE, G., PICHERAL, H., Vulnérabilité face aux risques liés au transport de matières dangereuses apports de deux méthodes multicritères d'aide à la décision, *Revue francophone d'écologie industrielle* -N° 27-3^{ème} trimestre, 2002.

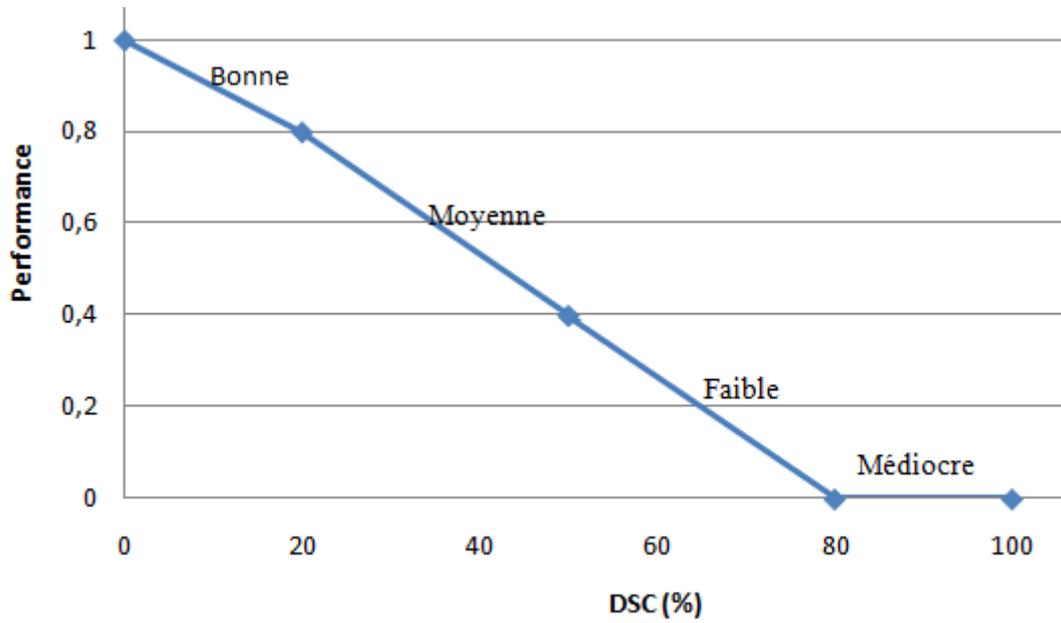
SATIN, M., SELMI, B., Guide technique de l'assainissement, Evaluation des eaux usées et pluviales, Epuration des eaux et protection de l'environnement, conception et composants des réseaux, Exploitation et gestion des systèmes d'assainissement, Editions Le Moniteur, ISBN 2-281-11152-0, Paris, 2006.

WHITAKER, R., Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process. *Mathematical and Computer Modelling*, 46, 840-859, 2007.

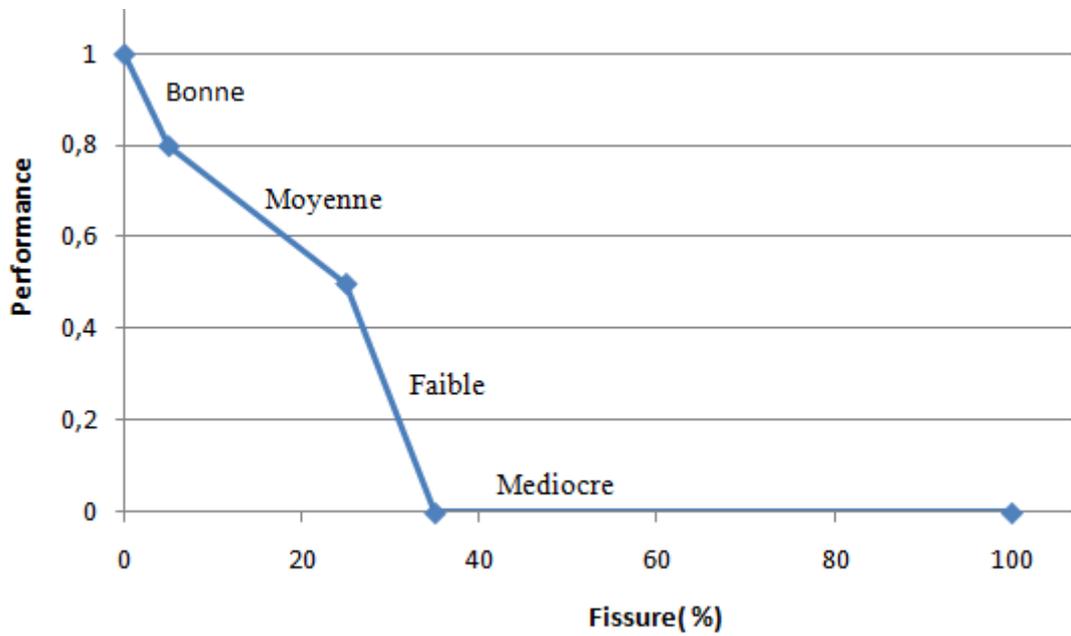
YAHIAOUI, F., Réhabilitation des réseaux d'assainissement visitable et non visitables, Mémoire d'Ingénieria, 2000.

ZOUGGARI, A., Une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour la résolution du problème de choix des fournisseurs, Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine-METZ UFR, 2011.

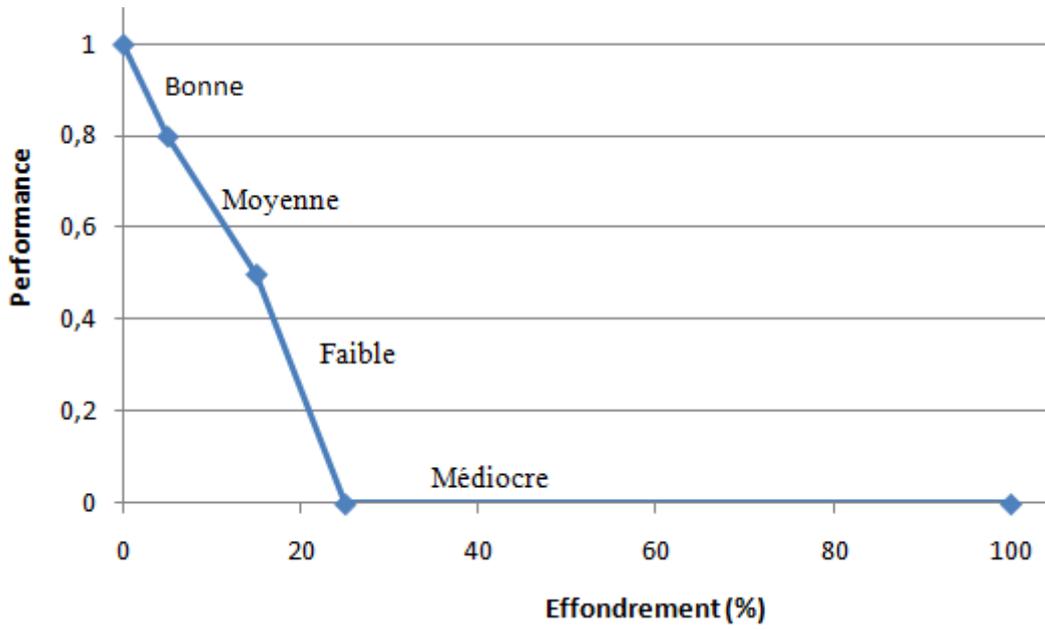
Fonction de performance « DSC »



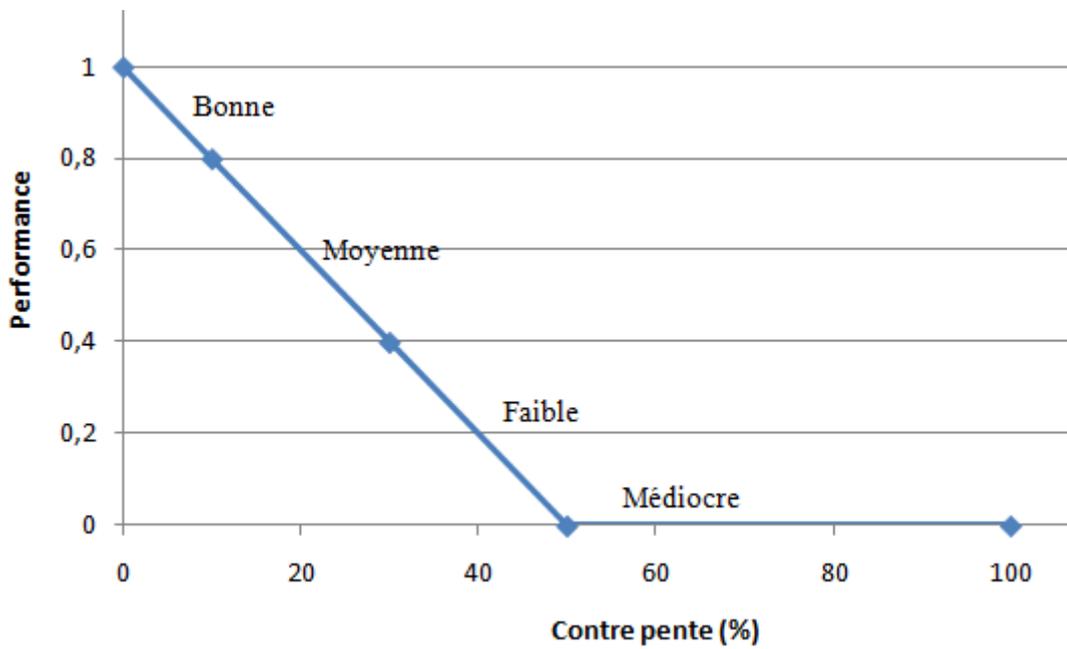
Fonction de performance « Fissure »

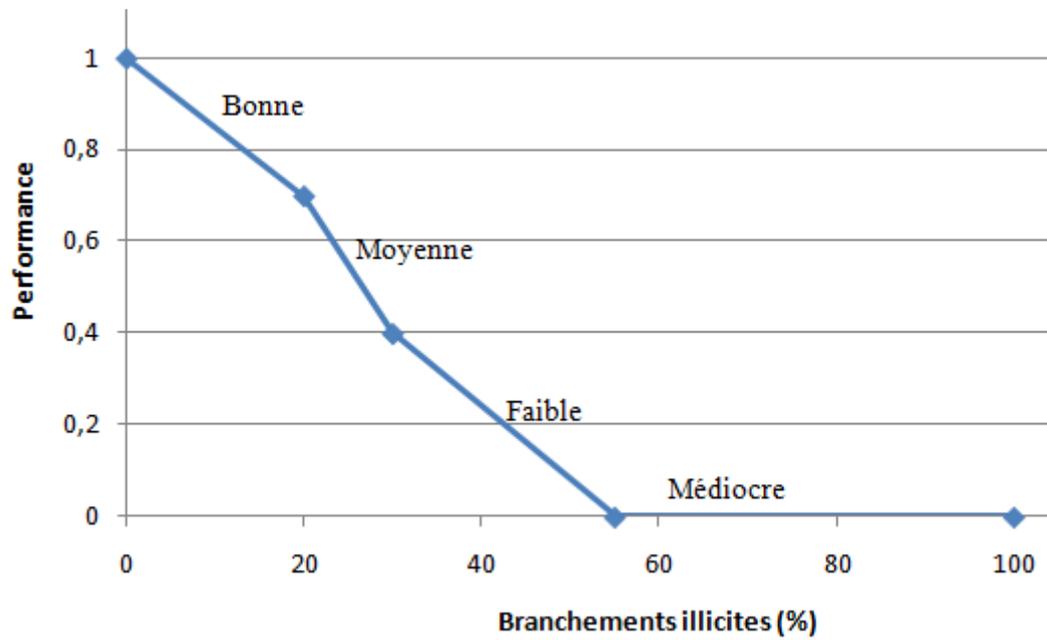
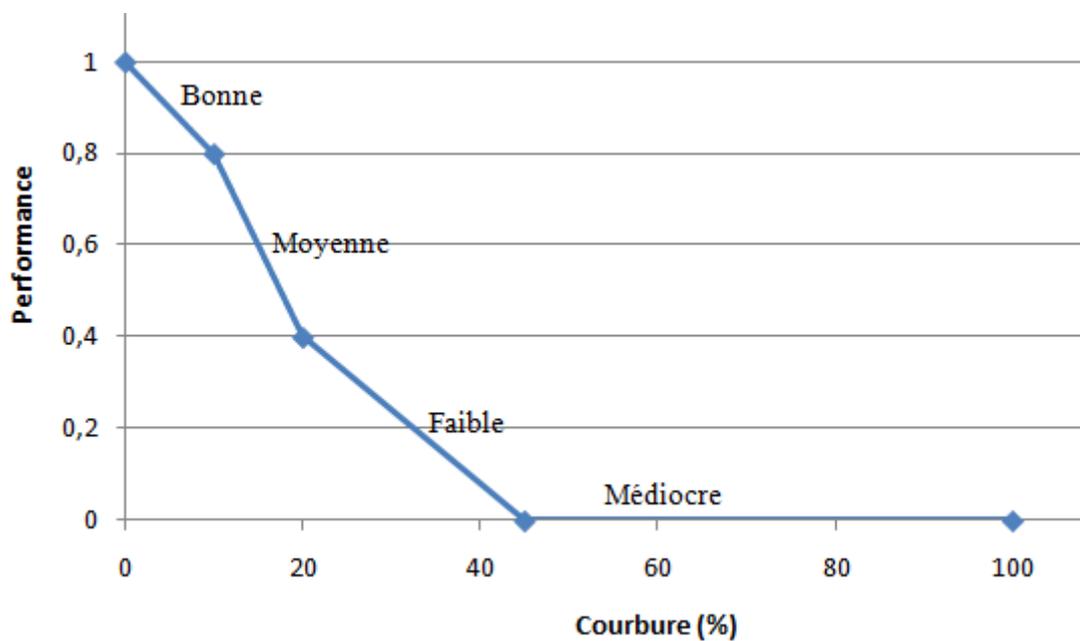


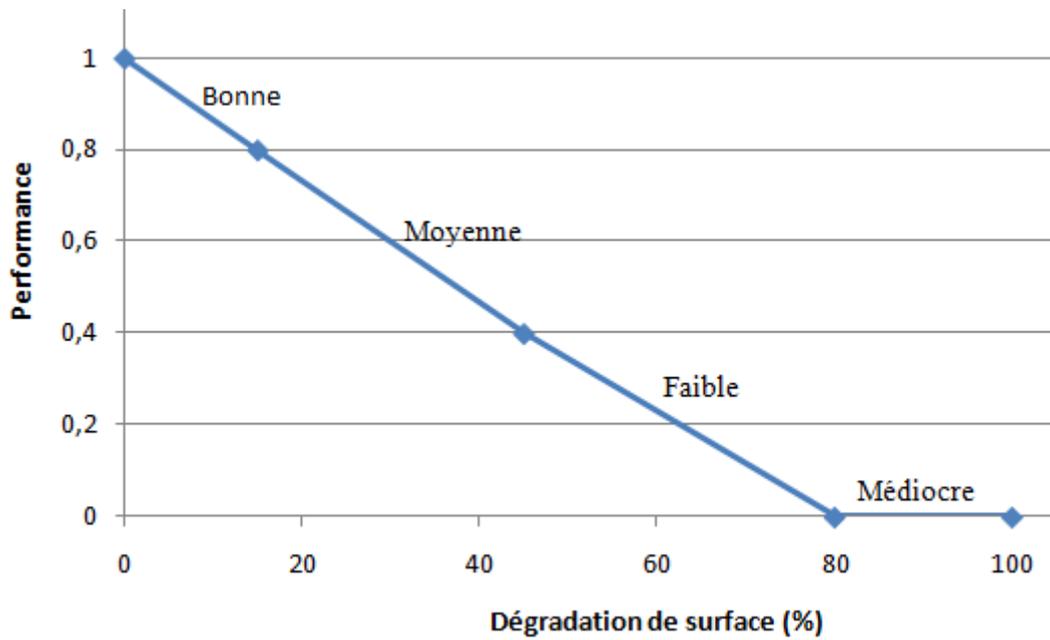
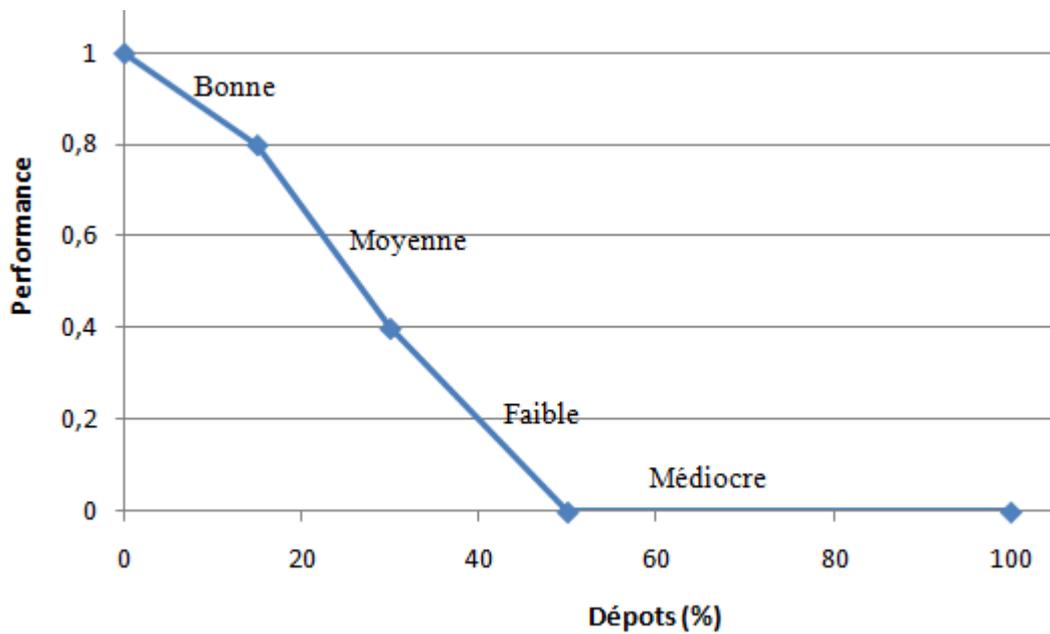
Fonction de performance « Effondrement »



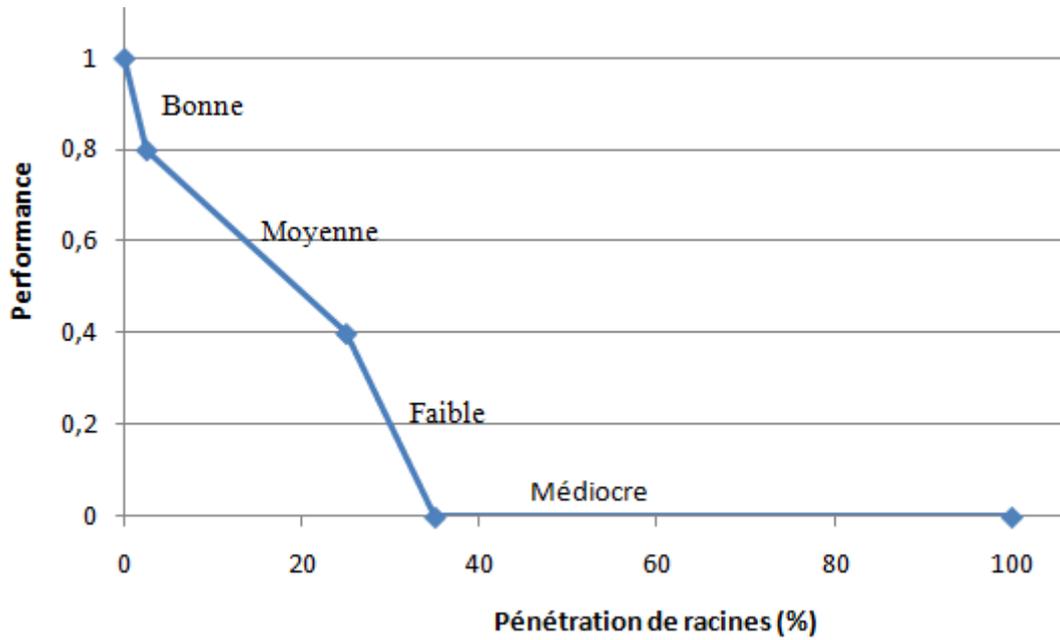
Fonction de performance « Contre pente »



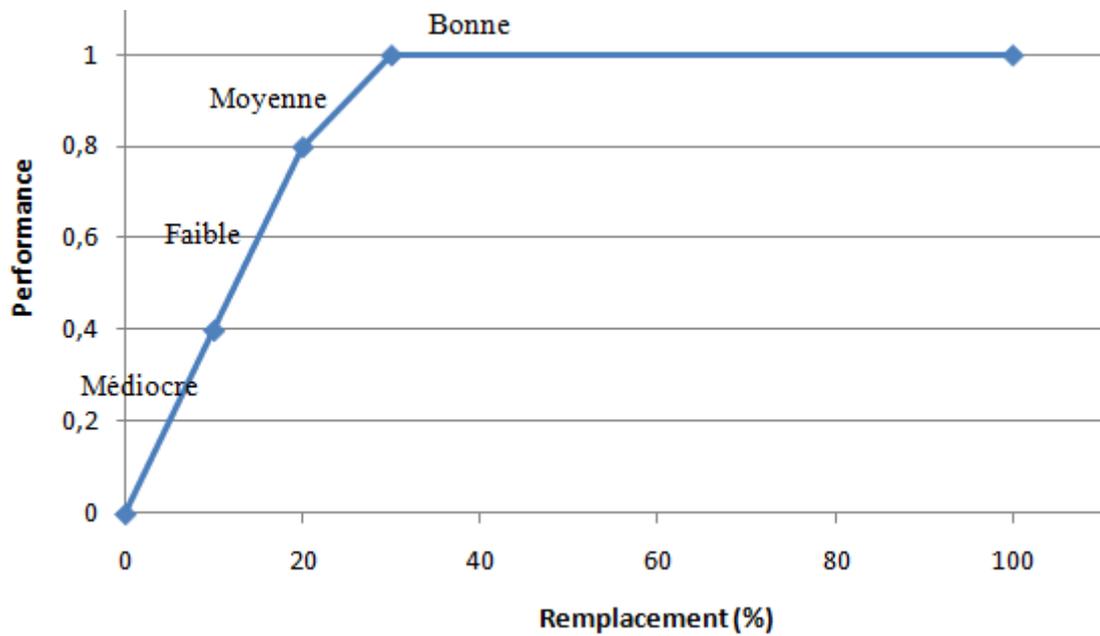
Fonction de performance « Branchement illicites »**Fonction de performance « Courbure »**

Fonction de performance « Dégradation de surface »**Fonction de performance « Dépôts »**

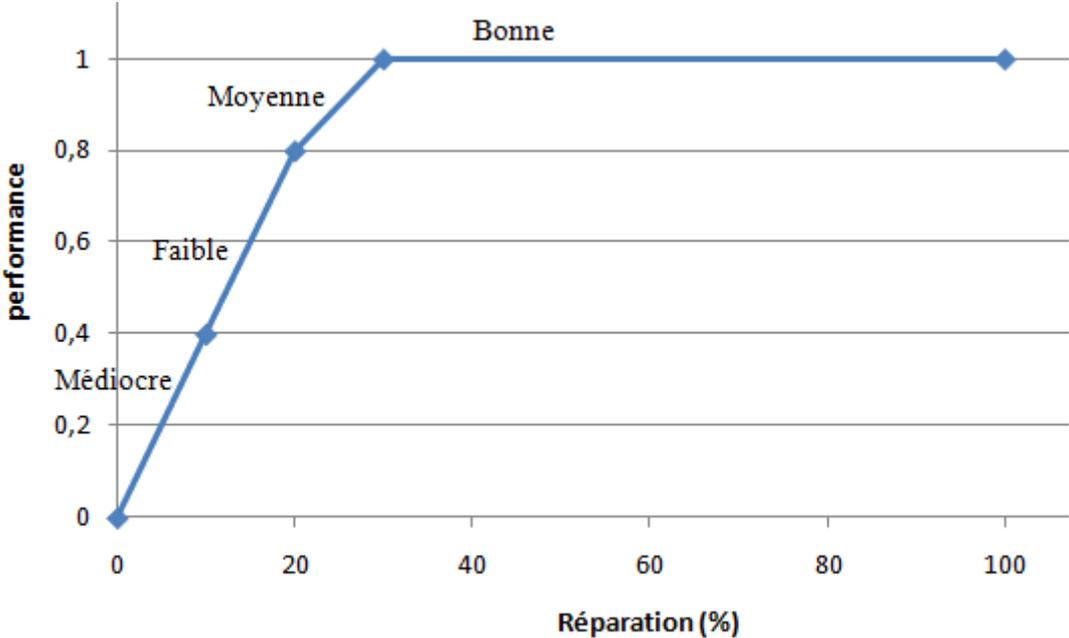
Fonction de performance « Pénétration de racines »



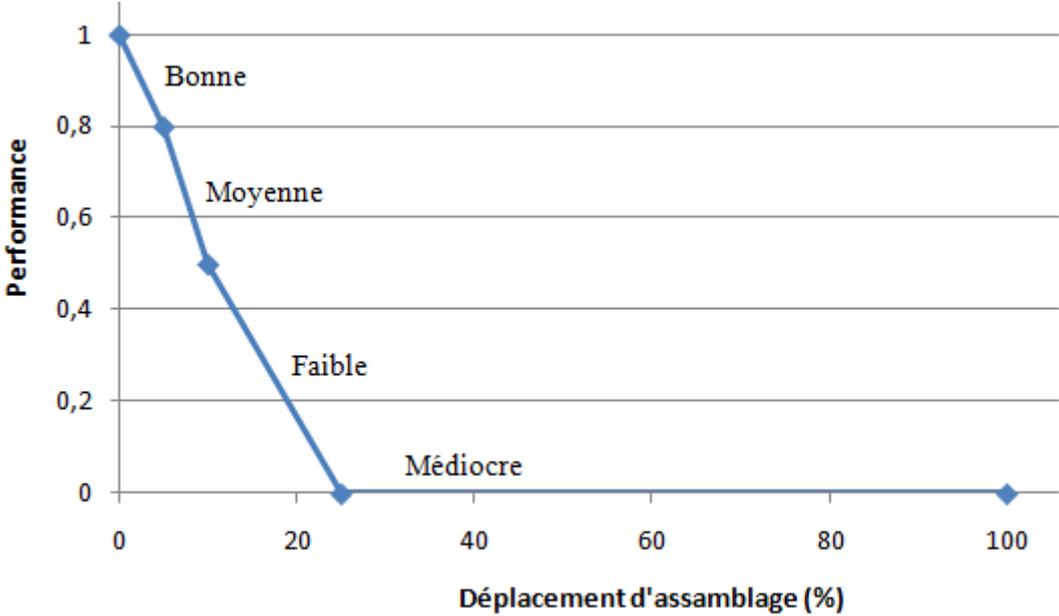
Fonction de performance « Remplacement »



Fonction de performance « Réparation »



Fonction de performance « Déplacement d'assemblages »



Résumé

En Algérie, la gestion des services d'assainissement est complexe et mal maîtrisée. Cette complexité de gestion revient essentiellement : réglementation inappropriée, financement insuffisant et de déperdition de compétences humaines ...etc. En effet, l'état de dégradation prend des allures accélérées en vue des dysfonctionnements observés lors de chaque précipitation.

L'objectif de cette étude est de développer un outil méthodologique d'aide à la décision. Il recherche l'évaluation la dégradation structurelle des conduites d'assainissement. L'approche méthodologique adoptée suit deux phases essentielles. La première phase s'intéresse à l'identification des facteurs influençant la dégradation structurelle des conduites d'assainissement. Les facteurs identifiés s'adaptent aux stratégies de gestion de l'ONA et aux données pratiques disponibles. La deuxième phase présente un choix de méthodes de calcul. Nous avons testé deux méthodes : "Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)" et la « logique floue ».

La méthodologie proposée est appliquée sur les conduites d'assainissement de la ville de Bejaia en Algérie. Les résultats, avec ces deux méthodes, montrent que la dégradation structurelle se trouve dans la même classe de faible performance (FAHP : PDSC = 0,39), (logique floue : PDSC = 0,40). Ce résultat permettra aux gestionnaires de l'ONA de prendre des décisions adaptées à leur politique et à leur stratégie de planification.

Mots clés : Évaluation de la performance, Dégradation structurelle, conduite d'assainissement, FAHP, Logique floue.

ملخص

إن إدارة خدمات الصرف الصحي في الجزائر معقدة ومعقدة بشكل سيء. هذا التعقيد الإداري يرجع أساساً إلى عدم كفاية التنظيم وعدم كفاية التمويل وفقدان المهارات التقنية... إلخ. في الواقع، تتسارع حالة التدهور في ضوء الاختلالات التي لوحظت خلال كل هطول الأمطار.

الهدف من هذه الدراسة هو تطوير أداة منهجية لصنع القرار. تسعى لتقييم التدهور الهيكلي لأنابيب الصرف الصحي. المنهجية المتبعة تتبع مرحلتين أساسيتين. تركز المرحلة الأولى على تحديد العوامل التي تؤثر على التدهور الهيكلي لأنابيب مياه الصرف الصحي. يتم تكييف العوامل المحددة لاستراتيجيات إدارة الديوان الوطني للتطهير والبيانات العملية المتاحة. تقدم المرحلة الثانية اختيار طرق الحساب. اختبرنا طريقتين: "عملية التسلسل الهرمي التحليلي الغامض (FAHP)" و "المنطق الغامض".

يتم تطبيق هذه المنهجية على أنابيب الصرف الصحي لمدينة بجاية الجزائر. أظهرت النتائج، باستخدام هاتين الطريقتين، أن التدهور الهيكلي يقع في نفس فئة الأداء المنخفض (FAHP: PDSC = 0.39)، (المنطق الغامض : PDSC = 0.40). ستسمح هذه النتيجة لمديري الديوان الوطني للتطهير باتخاذ القرارات المناسبة لسياستهم واستراتيجيتهم للتخطيط.

مفاتيح الكلمات: تقييم، تدهور هيكلي، قنوات الصرف الصحي، أداء، طريقة التدرج التحليلي الضبابي، طريقة المنطق المضطرب.

Abstract

In Algeria, the management of the sanitation service is complex and poorly controlled. This management complexity is essentially due to inadequate regulation, insufficient funding and loss of technical skills...etc. Indeed, the state of degradation is accelerating in view of the dysfunctions observed during each precipitation.

The objective of this study is to develop a methodological decision-making tool. It seeks to assess the structural degradation of sanitation pipes. The methodological approach adopted follows two essential phases. The first phase focuses on identifying the factors influencing the structural degradation of wastewater pipes. The factors identified are adapted to the ONA's management strategies and the practical data available. The second phase presents a choice of calculation methods. We tested two methods: "Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)" and "fuzzy logic".

This methodology is applied to sewerage pipes in the Bejaia City of Algeria. The results, with these two methods, show that structural degradation is in the same low performance class (FAHP : PDSC = 0.39), (fuzzy logic : PDSC = 0.40). This result will allow ONA managers to make decisions that are appropriate to their policy and planning strategy.

Keys words: Performance assessment, structural degradation, Sewage pipes, FAHP, Fuzzy logic.