

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Mémoire de Magistère

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MAGISTER EN HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE GENERALE

Thème

Approche multicritère pour la gestion des eaux pluviales en milieux urbains

Présenté par :

AZOUNE Noredine

Ingénieur d'État en Hydraulique Urbaine

Soutenue le 03 juillet 2012 devant le jury composé de :

Mr.MAZA M	M.C.A	Université Bejaia	Président du jury
Mme.BENMAMAR S	M.C.A	E N P d'Alger	Examinatrice
Mr.RADJEF M S	Professeur	Université Bejaia	Examineur
Mr.CHERRARED M	Professeur	Université Bejaia	Rapporteur

2011/2012

Remerciement

Nous remercions " Dieu le tout puissant "de nous avoir donné la force, le courage, la santé, la patience et la volonté qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours et d'accomplir ce travail.

Maintenant que je suis arrivé à la soutenance de magister, il est temps pour moi de me retourner pour apprécier enfin le chemin parcouru. Et ce chemin, je ne l'ai pas effectué seul...

En premier lieu, je remercie le professeur CHERARED. M mon promoteur de mémoire magister, qui m'a offert une belle initiation au métier de la recherche. Durant mes trois années de magister, il a su se montrer présent pour m'orienter dans mes travaux de mémoire mais aussi pour me soutenir ou m'encourager dès qu'il le fallait. En plus de ses qualités scientifiques et pédagogiques notoires, j'ai aussi pu apprécier sa grande sympathie qui rend le travail à ses côtés très agréable. Sa motivation et son enthousiasme ont été un moteur important de mon travail.

Je tiens à remercier tous les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail. Merci également à monsieur MAZA Mestapha d'avoir accepté d'être le président du jury , Je remercie monsieur RADJEF Mohend Said et madame BENMAMAR Saida pour avoir accepté de faire partie de mon jury malgré le délai assez court qui leur était demandé.

Je tiens à remercier les différentes personnes (enseignants) qui m'ont permis de réaliser ces travaux de mémoire, et notamment : MERAH. F , LEGRER. M , SAOU. A ,KERNANI R.

Notre sincère remerciement s'adresse à tous les enseignants de département "hydraulique" et à tout personnel du centre d'impression de l'université de ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA.

Je remercie aussi ceux qui ne sont pas à l'université, mais qui étaient là durant toute cette période pour me soutenir. En particulier, je remercie mes copains de toujours, IMADACHE Y , ...

Je remercie les membres de ma famille, qui m'ont apporté un soutien considérable : mon père, ma mère et mes frères

Enfin je remercie du fond du coeur ma femme, témoin de nombreux moments difficiles, mais qui n'a cessé de m'encourager et me soutenir tout au long de cette période. Sa présence et ses encouragements ont été essentiels à la réussite de mes études.

Pour finir, merci encore à vous tous, pour m'avoir apporté les meilleures conditions dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

C'est avec modestie que je dédie ce travail à tous ceux
qui me sont chers, particulièrement à mon père en
signe de reconnaissance pour tous les sacrifices
consentis à mon égard et ma mère.

Je dédie aussi ce travail à mes très chers frères :
Layachi , Lounas et Cherif et leurs familles.
Imade et Ramy.

Je dédie aussi ce travail à mes tous
mes amis (es)

En fin, je dédie ce travail à ma
femme Sarah.

Listes des abréviations

AMCD : Aide Multicritère à la décision.

an : année.

APMGEPU : APprouche Multicritères pour la Gestion des Eaux Pluviales Urbains .

CHIAT : Chemical Hazard Identification and Assessment Tool .

CSR : Chaussée à Structure Réservoir .

EP : Eaux Pluviales .

ELECTRE III : ÉLimination Et Choix Traduisant la REalité III .

ha : hectare .

GEPMU : Gestion des eaux pluviales en milieux urbaines.

mn : Minute .

MP : Moyenne pondéré .

m^2 : Mètre carrée .

m^3 : Mètre cube .

Mda : Million dinars algérienne .

MAMROT : Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du Territoire.

OCHA : Office for the Coordination of Humanitarian Affairs .

P Poids.

Km^2 : kilomètre carrée .

PRD : PRobabilité Dysfonctionnement.

TA : Technique(s) Alternative(s).

Sb : Sous bassin .

Table des matières

Introduction générale	9
1 Problématique	11
1.1 Introduction	11
1.2 Généralités	11
1.2.1 L'hydrologie urbaine	11
1.2.2 Le bassin versant	11
1.3 Analyse du problème	13
1.3.1 Réseau d'assainissement des eaux pluviales	13
1.3.2 Influence de l'urbanisation	13
1.3.2.1 La croissance démographique	13
1.3.2.2 Occupations des espaces verts	15
1.3.2.3 Des zones inondables urbanisées.	15
1.3.2.4 Imperméabilité du sol	15
1.3.2.5 Dégradation du milieu naturel	15
1.3.3 La pollution	17
1.3.3.1 Qualité des eaux pluviales urbaines	17
1.3.3.2 Sources de pollution	17
1.3.4 Problème d'inondation	18
1.3.4.1 Définition	18
1.3.4.2 Explication du phénomène	18
1.3.4.3 Les dégâts	19
1.4 Problématique de la gestion des eaux pluviales urbaines	20
1.4.1 Introduction	20
1.4.2 Eaux pluviales urbaines	20
1.4.2.1 Aspect qualitatif	20
1.4.2.2 Aspect quantitatif	20
1.4.3 Enjeu de la gestion des eaux pluviales urbaines	21
1.5 La situation algérienne	22
1.5.1 Introduction	22
1.5.2 L'urbanisation en Algérie	22
1.5.3 Contraintes pratiques d'assainissement en villes Algériennes	24
1.5.4 Problèmes de la gestion des eaux pluviales urbaines en Algérie	25
1.6 Conclusion	25

2	Techniques alternatives de la gestion des eaux pluviales	26
2.1	Introduction	26
2.2	La gestion des eaux pluviales	26
2.2.1	Principes de la gestion des eaux pluviales urbaines	26
2.2.2	Les pratiques de gestion optimale des eaux pluviales	27
2.2.2.1	Chaîne de mécanisme de contrôle	27
2.2.2.2	Contrôle à la source des eaux pluviales	28
2.2.2.3	Contrôle dans le réseau de drainage	28
2.2.2.4	Contrôle à l'aval	29
2.3	Présentation des techniques alternatives de la gestion des eaux pluviales	29
2.3.1	Définition	29
2.3.2	Les bassins de stockage	30
2.3.2.1	Principe de fonctionnement	32
2.3.2.2	Réalisation	33
2.3.3	Surdimensionnement de réseau	33
2.3.3.1	Présentation	33
2.3.3.2	Principe de fonctionnement	33
2.3.3.3	Réalisation	34
2.3.4	structures réservoirs	35
2.3.4.1	Présentation	35
2.3.4.2	Principe de fonctionnement	36
2.3.4.3	Réalisation	37
2.3.5	Tranchées drainantes et infiltrantes	37
2.3.5.1	Présentation	37
2.3.5.2	Principe de fonctionnement	38
2.3.5.3	Réalisation	38
2.3.6	Puits d'infiltration et d'injection	39
2.3.6.1	Présentation	39
2.3.6.2	Principe de fonctionnement	40
2.3.6.3	Réalisation	40
2.3.7	Fossés et noues	40
2.3.7.1	Présentation	40
2.3.7.2	Principe de fonctionnement	41
2.3.7.3	Réalisation	41
2.3.8	Toit stockant	42
2.3.8.1	Présentation	42
2.3.8.2	Principe de fonctionnement	42
2.3.8.3	Réalisation	43
2.4	Avantages /inconvénients de chaque technique alternative	43
2.5	Conclusion	46
3	Aide multicritère à la décision	47
3.1	introduction	47
3.2	L'aide à la décision	47
3.2.1	Définition	47
3.2.2	Problématique d'Approche multicritère d'aide à la décision	48
3.2.2.1	Problématique de choix	48

3.2.2.2	Problématique de tri	49
3.2.2.3	Problématique de rangement	50
3.2.2.4	Problématique de description	50
3.2.3	Principes de base d'aide à la décision	50
3.2.3.1	Acteur et décideur	50
3.2.3.2	Action	51
3.2.3.3	Les critères	51
3.2.4	Matrice des performances	52
3.2.5	Méthode d'aide multicritère à la décision	53
3.2.6	Approche du critère unique de synthèse	54
3.2.7	Approche du surclassement de synthèse	54
3.2.8	Approche interactive	54
3.3	Méthode multicritère ELECTEE III	55
3.3.1	Définition	55
3.3.2	Principe de la méthode	55
3.3.3	Pseudo-critère	56
3.3.4	Indice de concordance	57
3.3.4.1	L'indice de concordance par critère	57
3.3.4.2	L'indice de concordance global	57
3.3.5	Indice de discordance	58
3.3.6	Relation de surclassement floue	58
3.3.7	Exploitation de la relation de surclassement floue	59
3.3.8	Seuil de discrimination	59
3.3.8.1	Principe de l'algorithme	60
3.3.8.2	Description de l'algorithme	61
3.3.9	Analyse de robustesse	64
3.4	Conclusion	64
4	Analyse multicritères pour la gestion des eaux pluviales urbaines	65
4.1	Introduction	65
4.2	Conditions d'emploi de l'analyse multicritères	65
4.2.1	Nature du projet	65
4.2.2	Le mode vie	66
4.2.3	La responsabilité	66
4.3	Les solutions	66
4.3.1	Contraintes pratiques des TA	66
4.3.2	Approche analytique des TA	67
4.4	les acteurs	71
4.5	Les critères	77
4.5.1	Les objectifs	77
4.5.1.1	Les objectifs scientifiques et techniques	77
4.5.1.2	Les objectifs d'opérations et de maintenance	77
4.5.1.3	Les objectifs environnementaux	77
4.5.1.4	Les objectifs sociaux	77
4.5.1.5	Les objectifs économiques	78
4.5.1.6	Les objectifs réglementaires	78
4.5.2	Les critères quantitatifs	78

4.5.2.1	Le coût de réalisation	78
4.5.2.2	Le coût d'entretien	85
4.5.2.3	Capacité de rétention	89
4.5.3	Les critères qualitatifs	92
4.5.3.1	Probabilité de dysfonctionnement	93
4.5.3.2	Retenu de la pollution	95
4.5.3.3	Intégration paysage	97
4.5.3.4	Sécurité	98
4.5.4	La pondération (poids)des critères par la méthode des cartons	99
4.6	Méthode multicritere choisie	100
4.7	Conclusion	101
5	Etude d'un cas réel	102
5.1	Introduction	102
5.2	La problématique des eaux pluviales de la ville de Bejaia	102
5.2.1	Présentation de la ville Bejaia	102
5.2.1.1	Situation géographique	102
5.2.1.2	Caractéristiques générales de la ville de Bejaïa	103
5.2.2	Les causes principales des inondations de la ville de Bejaïa	104
5.2.2.1	Les zones inondables de la ville de Bejaïa	104
5.2.2.2	Causes principales des inondations de la ville de Bejaïa	104
5.3	Analyse des conditions d'implantation des techniques alternatives dans la zone d'étude	105
5.3.1	Description la zone d'étude	105
5.3.2	Gérer les eaux pluviales de zone d'étude	106
5.3.3	Présentation les points d'implantation des techniques alternatives	107
5.3.3.1	Les sous bassins	108
5.3.3.2	Espaces choisir	109
5.3.3.3	Calculs le volumes d'eau pluviale	111
5.3.4	Choisir le type d'ouvrage à utiliser	111
5.3.4.1	Noue	112
5.3.4.2	Chaussée à structure réservoir	112
5.3.4.3	Bassin à ciel ouvert sec	112
5.3.4.4	Bassin en eau	112
5.3.4.5	Bassin enterré	112
5.4	Application de la méthode ELECTRE III	113
5.4.1	Choix des critères et évaluation des actions	113
5.4.2	Matrice des performances des techniques alternatives	113
5.4.3	Définir les actions possibles	114
5.4.4	Matrice des performances des actions	115
5.4.5	Choix des paramètres	117
5.5	Stratégie étudiée	117
	Conclusion générale	136
	Bibliographie	138

Table des figures

1.1	La population mondiale	14
1.2	Taux d'urbanisation mondiale en villes	15
1.3	Augmentation du volume de ruissellement et de la pollution associée en fonction de l'urbanisation	16
1.4	Explicative graphique du phénomène d'inondation	18
1.5	Problématique de la gestion des eaux pluviales urbaines	20
1.6	Enjeu de la gestion des eaux pluviales	21
1.7	Carte géographique des 48 wilaya	23
1.8	La population du nord et du sud	23
1.9	La superficie correspondant à la concentration de la population (nord et sud).	24
2.1	Principes de base de la gestion des eaux pluviales urbaines	27
2.2	Chaîne de mécanismes de contrôle des EP	28
2.3	Bassin de rétention, Ciboure - France-.	31
2.4	Bassin de régulation des eaux pluviales dans un parc urbain en Essonne -France-	31
2.5	Bassin de rétention à l'air libre, en ville -Ile de France-	32
2.6	Exemples de conduites surdimensionnées pour le stockage sous un stationnement à Charly - Rue du Clos Chaland -France-	34
2.7	Aménagement d'une cour d'école avec un revêtement poreux.	35
2.8	Structure alvéolaire à Charly - Rue du Clos Chaland- France.	36
2.9	Tranchée drainante (Vernaison - Impasse Port Rave- France.)	38
2.10	Puits d'infiltration avec tampon(France).	39
2.11	Exemples d'aménagement pour noue ou fossé sans retenue permanente- Québec-	41
2.12	Toits végétalisés à Noisy-le-Grand(France)	42
3.1	Selection des meilleurs actions(Problématique de choix)	49
3.2	Affectation aux catégories (Problématique de tri)	49
3.3	classement des actions	50
3.4	Structure de la matrice des performances	53
3.5	Algorithme d'ELECTREIII	56
3.6	Construction d'un indice de concordance	57
3.7	Construction d'un indice de discordance	58
3.8	Algorithme de classement - distillation descendante	63

4.1	Approche initiale des techniques alternatives	68
4.2	La variation des objectifs en fonction du coût acceptable	69
4.3	Faisabilité d'un puits	72
4.4	Faisabilité d'un fossé ou d'une noue	73
4.5	Faisabilité d'une tranchée	74
4.6	Faisabilité chaussée à structure réservoir (CSR)	75
4.7	Faisabilité d'un bassin de rétention d'EP	76
4.8	Procédure de dimensionnement d'un bassin de rétention	89
4.9	Les paramètres d'évaluation du probabilité dysfonctionnement	93
5.1	Photo aérienne de la ville de Bejaïa	103
5.2	Zone d'étude	106
5.3	Topographie de la zone d'étude	107
5.4	Sous bassins	108
5.5	Espaces d'implantation des techniques alternatives	110
5.6	Cas possibles d'implantation des techniques alternatives dans la zone d'étude	113
5.7	Relations de comparaison d'actions a_1 à a_6 de la stratégie A	120
5.8	Relations de comparaison des actions a_7 à a_{12} de la stratégie A	120
5.9	Relations de surclassement 3 de la stratégie A	121
5.10	Relations de surclassement final de la stratégie 2	122
5.11	Relations de surclassement d'actions a_1 et a_6 de la stratégie B	124
5.12	Relations de surclassement final d'actions a_7 et a_{12} de la stratégie B	124
5.13	Relations de surclassement d'actions a_{12} et a_{16} plus a_4 et a_7 pour la stratégie B	125
5.14	Relations de surclassement final de la stratégie B	126
5.15	Relations de surclassement d'actions a_1 à a_6 de la stratégie C	128
5.16	Relations de surclassement d'actions a_7 à a_{12} de la stratégie C	128
5.17	Relations de surclassement d'actions (a_{13} à a_{16} , a_2 , a_8) de la stratégie C	129
5.18	Relations de surclassement final de la stratégie C	130
5.19	Relations de surclassement d'actions a_1 à a_6 de la stratégie D	132
5.20	Relations de surclassement d'actions a_4 à a_7) de la stratégie D	133
5.21	Relations de surclassement 3 de la stratégie D	133
5.22	Relations de surclassement final de la stratégie D	134

Liste des tableaux

2.1	Récapitulatif des avantages /inconvénients de chaque technique alternative	44
2.2	Récapitulatif des avantages /inconvénients de chaque technique alternative(suite)	45
4.1	Contraints principales d'adoption d'une technique alternative	70
4.2	Les techniques alternatives sélectionner	71
4.3	Les tâches principales composant les TA sélectionnées	83
4.4	Entretien d'un puits	86
4.5	Entretien d'une tranchée	87
4.6	Entretien des fossés, noues	87
4.7	Entretien CSR	87
4.8	Entretien des bassins	88
4.9	Volumes et surfaces filtrantes des TA	92
4.10	L'évaluation du critère (Probabilité de dysfonctionnement)	94
4.11	La probabilité dysfonctionnement des TA	95
4.12	Les notes des TA	96
4.13	Les notes d'intégration des TA	98
4.14	Les notes de sécurité des TA	99
4.15	Classement des critères par la méthode de cartons (175 livre ELECTRE)	100
5.1	Précipitations mensuelles moyennes (1993-2006) de la station pluviométrique d'Aéroport de Bejaia	103
5.2	Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la période : 1993 jusqu'à 2006	104
5.3	Récapitulative des zones et espaces utilisables	110
5.4	Caractéristiques des pluies de déférentes périodes de retour : 5ans,10ans et 20ans	111
5.5	Volume d'eau pluviale à gérer	111
5.6	Matrice des performances des techniques alternatives	114
5.7	Définition des actions	115
5.8	Matrice des performances des actions	116
5.9	Classement des critères par ordre d'importance	117
5.10	Classement des critères de la première stratégie A	118
5.11	Transformation du rangs en poids	119
5.12	Poids des critères (en %)	119
5.13	Classement des critères de la stratégie B)	123

5.14	Transformation de rangs en poids	123
5.15	Poids des critères (en %)	123
5.16	Classement des critères de stratégie C	127
5.17	Transformation de rangs en poids	127
5.18	Poids des critères (en %)	127
5.19	Classement des critères de la stratégie D	131
5.20	Transformation de rangs en poids	131
5.21	Poids des critères (en %)	131
5.22	Récapitulatif des résultats finals de surclassement des actions	135

Introduction générale

L'urbanisation est le développement des villes. Pour des raisons d'augmentation des populations et des constructions (d'habitations commerciales, industrielles, ...), la ville est devenue un important consommateur d'espaces transformés en surfaces imperméables. Les eaux pluviales urbaines sont par conséquent de plus en plus difficiles à gérer.

La philosophie traditionnelle qui sous-tend l'assainissement des eaux pluviales a toujours consisté à résoudre les problèmes d'inondation en transférant de grandes quantités d'eau vers l'aval aussi vite que possible, à l'aide de conduites d'assainissement enterrées. Le développement de l'urbanisation et l'imperméabilisation croissante des sols ont fait des eaux pluviales une véritable menace. N'étant plus absorbées par les sols, les ruissellements deviennent de plus en plus importants, donc les eaux pluviales provoquent des inondations malgré l'existence des conduites d'assainissement enterrées.

La gestion des eaux pluviales devrait se faire en amont du réseau d'évacuation et à plusieurs niveaux du processus d'écoulement. L'objectif est non plus d'évacuer le plus loin et le plus vite possible les eaux pluviales mais de les retarder (rétention), de les récupérer ou de les faire infiltrer, pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval. Pour cela, on adopte des techniques alternatives en fonction des contraintes de site et des techniques maîtrisées. Plusieurs facteurs conditionnent donc le choix d'une solution adoptée.

Le domaine de l'aide multicritère à la décision propose de nombreux modèles permettant de refléter des comportements sophistiqués tenant compte de plusieurs critères. L'abondance de tels modèles de préférences résulte de la diversité des comportements des phénomènes et des individus, comme, par exemple, dans le cadre de la gestion des portefeuilles où il faut pouvoir caractériser les préférences d'un individu dont l'attitude est de diversifier ses investissements et de celui dont l'attitude, totalement contraire, est d'investir la totalité de son budget sur un nombre très réduit d'investissements [22].

L'objectif de cette étude consiste à faire une analyse multicritère pour l'optimisation de la gestion des eaux pluviales urbaines sur la base des données disponibles, des conditions locales et des techniques alternatives. On utilise une méthode d'approche multicritère (ELECTRE III) pour le choix de la meilleure action, ou solution contenant une ou plusieurs techniques alternatives de gestion des eaux pluviales urbaines.

Le mémoire comprend cinq chapitres et des annexes. Les différents chapitres peuvent être regroupés en 2 parties. La première partie contient les chapitres 1 à 3 et fournissent aux lecteurs la problématique du sujet et l'état actuel des connaissances dans le domaine. La deuxième partie qui est plus analytique, commence par analyse multicritère pour la gestion optimale des eaux pluviales en milieu urbaines avec une application sur un cas réel. Un résumé des principaux points pour chacun des chapitres est donné par les paragraphes ci dessous.

Dans le chapitre 1, nous présenterons la problématique de la gestion des eaux pluviales en ville(aspect quantitatif et qualitatif), et nous présenterons la situation du problème en -Algérie-

Le chapitre 2 décrit les principes de bases et les différentes pratiques de la gestion des eaux pluviales. On y présente les différents systèmes de contrôle pouvant s'appliquer près de la source, en réseau ou avant le rejet au milieu récepteur. On y trouvera aussi les avantages ,les inconvénient et les principes généraux de fonctionnement de chaque ouvrage.

Le chapitre 3 sera consacré à la présentation d'un outil méthodologie d'optimisation multicritère. Dans ce domaine, on se trouve souvent confronté au problème de prise de décision. Nous commençons par introduire les problématiques, les actions et les critères du domaine de l'aide multicritère à la décision. Puis nous présentons la méthode de sur-classent des actions ELECTRE III.

Le chapitre 4, présente l'analyse multicritère que nous avons développée. Afin de bien gérer les eaux de pluie et de faire une approche multicritère, on a considéré des systèmes pouvant être réalisés et adaptés. On a évalué sept critères de jugement ; trois critères quantitatifs et les autre qualitatifs. On y définit la méthode de pondération et la méthode d'optimisation multicritères.

Dans le chapitre 5, on a appliqué la méthode d'aide à la décision ELECTRE III pour l'obtention des solutions optimales de gestion des eaux de pluie d'une partie de la ville de Bejaia. Cette approche basée sur l'analyse déjà développée au chapitre 4 et l'interprétation réelle du problème d'inondation dans la zone d'étude .

Enfin, on termine notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

Problématique

1.1 Introduction

Ce chapitre expose la problématique de la gestion des eaux pluviales en milieux urbains, qui constitue un problème complexe par sa double dimension, quantitative (problème de pollution) et qualitative (problème d'inondation). Avant de détailler les deux aspects de ce phénomène, on décrit les composantes du cycle hydrologique, le problème d'urbanisation en montrant comment le processus influe sur l'augmentation du ruissellement pluvial et sur la pollution en milieu urbain et atmosphérique. Enfin nous parlerons de la situation algérienne.

1.2 Généralités

Les eaux pluviales urbaines, sont des eaux de précipitation qui tombent sur les surfaces des villes. Une petite partie s'infiltre, dont la quantité dépend de la nature du sol et la géographie du bassin versant, l'autre partie plus importante s'écoule vers l'exutoire du bassin versant (de la ville).

1.2.1 L'hydrologie urbaine

L'hydrologie est une science ayant pour objet l'étude des propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux situées en surface et en sous sol de la terre. Elle s'intéresse particulièrement à leur formation, leur déplacement, leur répartition dans le temps et l'espace et à leur interaction avec l'environnement inerte et vivant. L'hydrologie continentale étudie les fleuves, les lacs et les marais, les eaux souterraines et les étendues d'eau des terres émergées, tandis que l'hydrologie marine s'identifie à l'océanographie.

L'hydrologie urbaine est une discipline consacrée à l'étude du cycle de l'eau en milieu urbanisé, étude des propriétés des eaux situées à la surface de la ville, l'assainissement des eaux usées et pluviales urbaine, en préservant la qualité du milieu naturel.

1.2.2 Le bassin versant

Le bassin versant correspond à l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique. La superficie du bassin versant est délimitée par la ligne reliant tout les

point hauts appelés : "lignes de partage des eaux". Un bassin versant est donc un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés, principalement par les précipitations et dont les excès en eaux non évaporées convergent vers un point unique de l'espace appelé : "Exutoire".

Le cycle hydrologique ou le cycle de l'eau crée évidemment un équilibre entre l'évaporation et les précipitations. Suite au réchauffement des étendues de l'eau (des océans, des mers, lac, ... etc) par le soleil. L'eau s'évapore, lorsque la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère devient suffisamment importante, la vapeur se condense dans l'air pour former des nuages. En raison du refroidissement de l'air, les nuages précipitent éventuellement sous forme de pluie, du neige. Parmi les composants principaux du cycle hydrologique, on cite :

- **Les précipitations** : Le terme précipitation englobe toutes les eaux météoriques provenant du ciel qui tombe sur la surface de la terre que se soit sous formes liquide ou solide selon la température. La précipitation représente l'une des principales composantes du cycle hydrologique.
- **Le ruissellement** : Est un écoulement superficiel des eaux de pluies ; il dépend de : l'intensité de précipitation, la pente, imperméabilisation du sol (zones bâties, routes, stationnement automobile, ... etc.) et la nature du sol. Ces paramètres peuvent réduire le volume d'eau infiltré et augmenter le ruissellement et l'érosion, ce qui peut conduire à des crues violentes.

- **Les infiltrations** : C'est une partie de l'eau de pluie qui s'infiltre dans les fissures, les joints et les pores du sol et de la roche, elle peut être temporairement absorbée par les végétaux, stockée dans le sol et peut alimenter les réserves des nappes d'eau souterraines.

1.3 Analyse du problème

1.3.1 Réseau d'assainissement des eaux pluviales

L'assainissement des eaux pluviales urbaines est la création des cheminements ou des réseaux de canalisations pour évacuer les eaux atmosphérique et les conduites enterrées en béton ou autre matériau adapté de différents diamètres et épaisseurs doivent pour résister aux surcharges et assurer une bonne étanchéité suit en assurant leur rôle qui consiste à éviter ou réduire l'inondation en eaux pluviales .

Il existe plusieurs types de réseaux d'assainissement, réseaux unitaire, séparatif et mixte.

La possibilité d'évacuer les eaux pluviales par voie superficielle, nécessite une analyse précise des données disponibles, telle que la concentration de la population, le réseau ancien, la morphologie du terrain , etc.

L'assainissement se donne principalement l'objectif de : innodations ; préserver la qualité du milieu naturel, assurer le confort et protéger la santé des habitats, dans le cadre d'une gestion globale de l'eau par le réseau . Mais avec l'urbanisation des villes et l'occupation des espaces verts , et aussi l'urbanisation des zones inondables , le réseau d'assainissement devient incapable d'évacuer les quantités d'eau pluviales importantes.

1.3.2 Influence de l'urbanisation

L'eau a toujours été considérée comme la première condition importante pour le choix d'implantation d'une ville. Cette dernière s'installe le plus souvent près d'une source naturelle ou d'une rivière. Avec l'évolution de la population urbaine, les villes se sont agrandies. En effet, le taux d'urbanisation est lié à la croissance démographique et le mode de vie de l'homme. C'est la raison pour la quelle les villes se sont concentrées et de nombreuses nouvelles villes ont été créées. L'urbanisation de la ville due à la concentration géographique des activités administratives, fonctionnelles, économiques, de transports, commerciales ,...etc.

1.3.2.1 La croissance démographique

La ville ne cesse de s'agrandir, dès sa création, sous l'effet de la croissance de la population et de ses besoins, du développement économique, du développement technique, etc. Une urbanisation rapide est généralement vue comme une des conséquences d'une forte augmentation de la population [21].

La figure 1.1, ci-dessous qui présente l'évaluation de la population mondiale. En 1950 la croissance démographique augmente de 2535 million à 6671 million en 2007, et peut atteindre 8317 millions

La figure 1.2, présente le taux d'urbanisation (%) (Proportion de la population vivant en ville) montre que le taux d'urbanisation est légèrement inférieur à 30 % en 1950, le taux

d'urbanisation franchit en 2007 la " barre " des 50 %. D'après les Nations Unies, il devrait se situer un peu au-dessus de 60 % en 2030 (annexe 1).

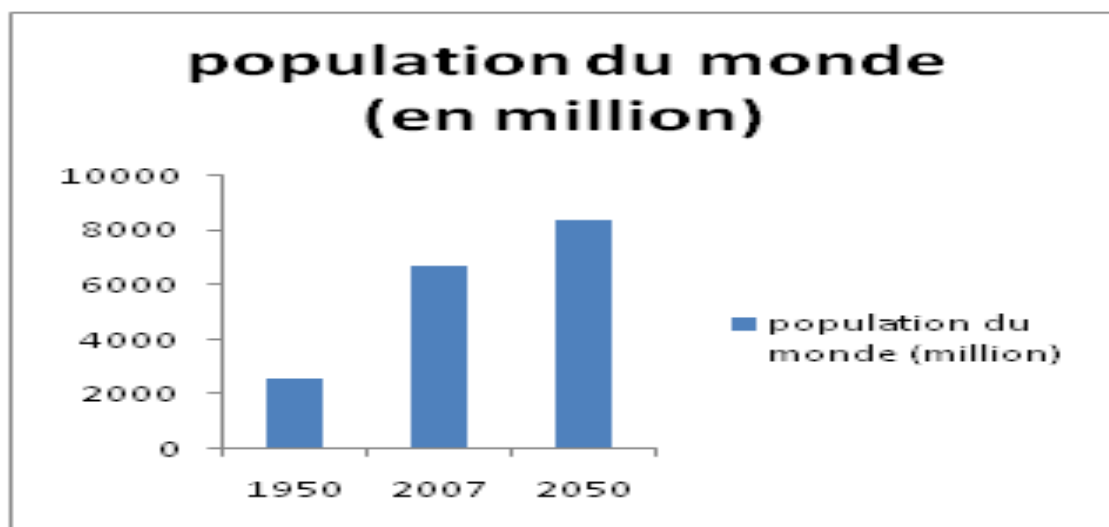


FIGURE 1.1 – La population mondiale

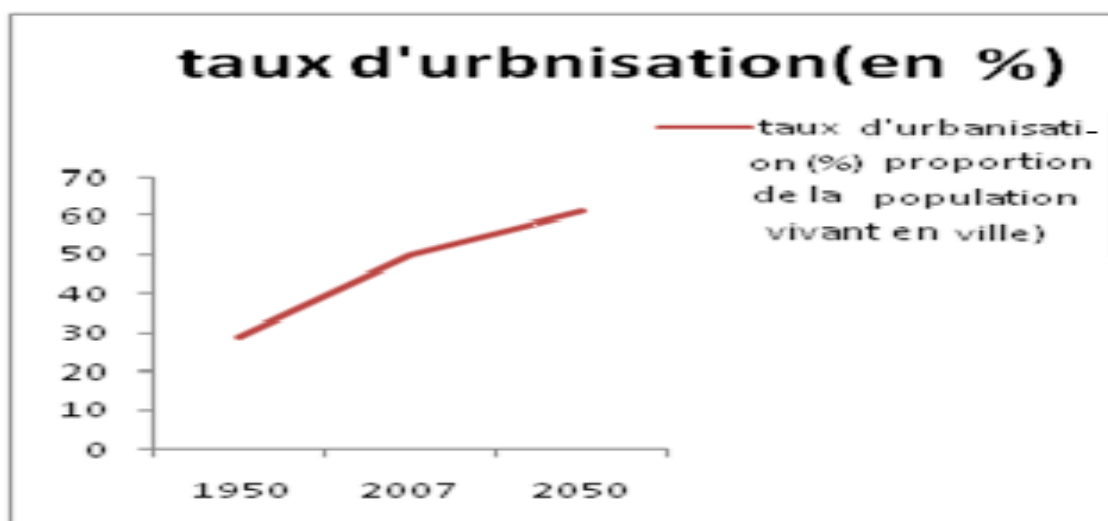


FIGURE 1.2 – Taux d’urbanisation mondiale en villes

1.3.2.2 Occupations des espaces verts

Chaque ville est caractérisée par un mode d’occupation du sol, plus un programme de développement futur, tel la création de nouvelles zones au centre ou bien autour de la ville existante, pour satisfaire les besoins d’habitation (logements), éducation (écoles), commerciale (super marché), industriel (usines)...etc. Ce phénomène d’urbanisation rapide, observé sur tous les continents, concerne à la fois les pays développés et les pays en cours de développement. En effet, des hectares (ha) d’espaces ” naturels ” et plus particulièrement d’espaces dédiés à l’agriculture, disparaissent chaque jour en les transformant en infrastructures.

1.3.2.3 Des zones inondables urbanisées.

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d’une zone habituellement hors d’eau. On distingue :

La zone inondable naturellement : c’est généralement un espace de faibles pentes délimitées sur des surfaces où les eaux d’une rivière ou d’un fleuve ont déposé des résidus.

La zone inondable causée par l’urbanisation, par la création des nouvelles zones autour de la ville et la construction sur les terrains naturellement réservés au ruissellement(chemins de l’eau).

1.3.2.4 Imperméabilité du sol

L’imperméabilisation des sols en milieu urbain (voiries, parkings, toitures, ...) a pour effet la création de chemins artificiels d’écoulements des eaux de pluie et surtout l’augmentation de ruissellement. La figure 1.3 décrit le processus de l’augmentation du volume de ruissellement, et de pollution par la densité d’occupation d’espace.(voir annexe 1)[28].

1.3.2.5 Dégradation du milieu naturel

” La ville détruit la nature soit directement par la destruction des habitats naturels, soit indirectement par la fragmentation et l’isolement des sites naturels” (Clergeau, 2007).

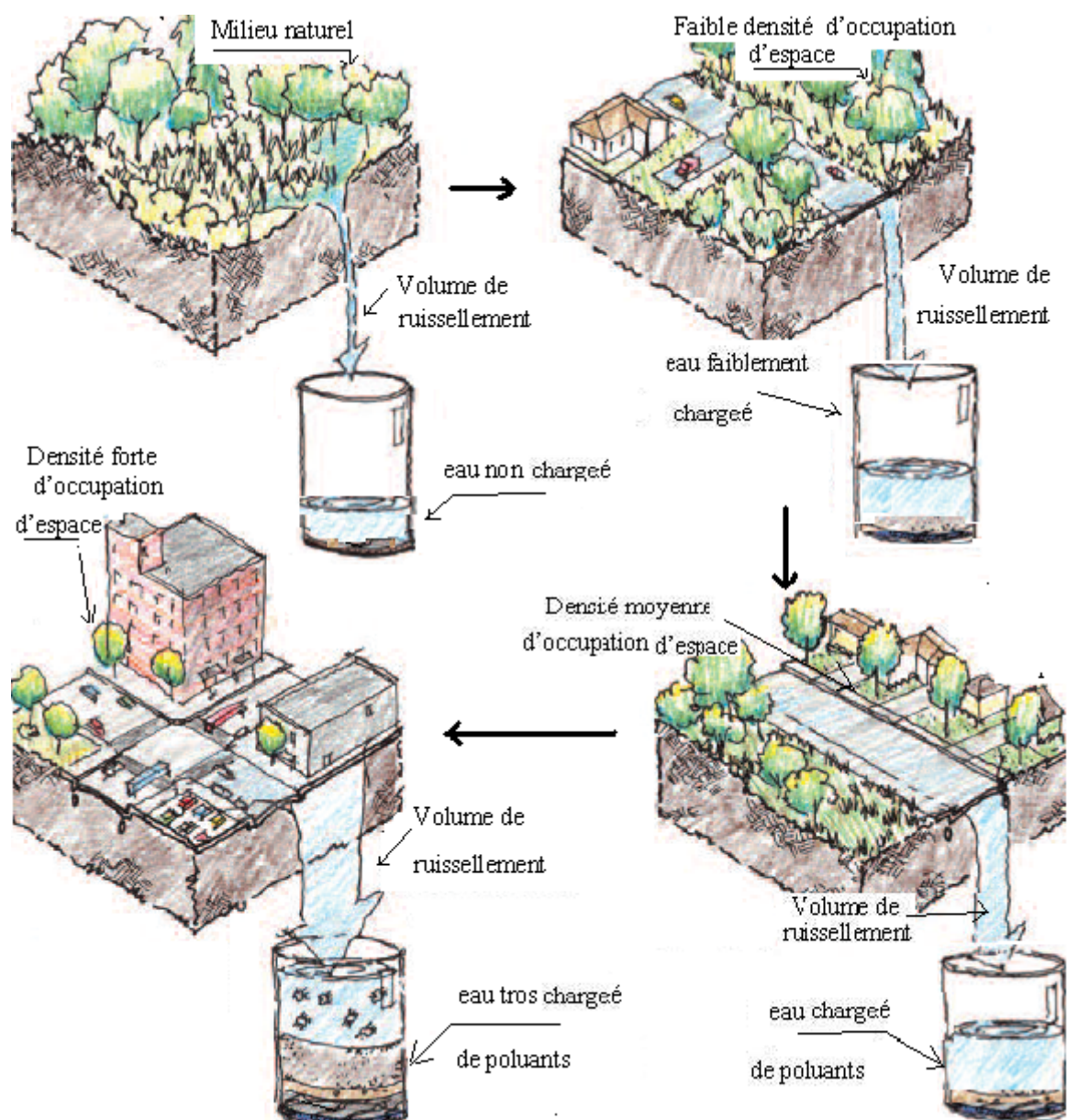


FIGURE 1.3 – Augmentation du volume de ruissellement et de la pollution associée en fonction de l'urbanisation .

Le processus de l'urbanisation provoque de profondes modifications du paysage naturel, et les eaux de pluies se chargent en polluants en fonction de l'urbanisation et de nettoyage de la ville .

1.3.3 La pollution

1.3.3.1 Qualité des eaux pluviales urbaines

Les eaux pluviales ont été considérées pour longtemps comme propres et ne nécessitent pas de traitement imposé comme eaux usées. Ce postulat a été à l'origine de l'apparition des réseaux séparatifs. Les eaux de ruissellement urbaines ont été reconnues comme polluées dès 1888, au congrès international d'hygiène de Vienne par Durand-Claye. Mais il a fallu attendre plusieurs décennies pour que des études soient entreprises afin d'évaluer de façon plus précise leur qualité.

En Europe, plusieurs projets de recherche ont permis d'améliorer les connaissances sur les micropolluants dans les eaux pluviales. Le projet Daywater (2002-2005) a développé une méthodologie (CHIAT : Chemical Hazard Identification and Assessment Tool) de choix de substances cibles basée sur l'évaluation des risques, et un outil d'aide à la décision pour une meilleure gestion des eaux pluviales (Scholes et al. 2003 ; Eriksson et al. 2005 ; Thévenot, 2006).

La qualité des eaux pluviales et l'effet de leurs rejets sont très variables d'un site à l'autre. Un grand nombre de facteurs influencent, la génération de la pollution du ruissellement (Burton & Pitt, 2001 ; Gromaire et al. 2001 ; Goonetilleke et al. 2005) les caractéristiques physiques des sites (type et intensité de l'occupation du sol, degrés d'imperméabilisation), le type et l'intensité de l'activité anthropique et les caractéristiques climatiques (intensité, durée de la pluie, période de temps sec qui précède la pluie).^[1]

1.3.3.2 Sources de pollution

⇒ La pollution atmosphérique

La première source de pollution est l'atmosphère. Cette pollution est une conséquence des diverses activités humaines comme les industries, les chauffages ou encore les échappements des moteurs à combustion (poussières industrielles, vapeurs d'hydrocarbures, fumées, Etc.) ou d'origines naturelles (sables, poussières,...). L'eau de pluie, lors de sa chute, traverse l'atmosphère et fixe les diverses particules polluantes présentes en suspension dans l'air . ^[1]

⇒ La pollution par ruissellement

L'eau de pluie peut être " polluée " lors de son passage dans l'atmosphère, mais juste après le premier contact avec le sol, elle devient polluée. Le ruissellement entraîne la concentration d'une pollution accumulée sur les diverses surfaces.

La pollution du ruissellement urbain dépend de l'imperméabilité du sol, des matériaux de construction, des modes de construction (lessivage des matières premières), de la mobilité urbaine, des modes de nettoyage des rues, etc. Dans une grande ville, cette pollution peut être comparable à la pollution des eaux usées. De plus, le déversement de grands

volumes d'eau dans les milieux récepteurs crée des érosions du sol et des inondations en aval(UNESCO,2001)[16].

1.3.4 Problème d'inondation

1.3.4.1 Définition

L'inondation en ville peut être un débordement rapide des eaux avec un grand débit sans issue. Ce phénomène peut être la conséquence d'un sous dimensionnement du réseau pluvial existant et de l'urbanisation récentes ; ou bien d'une stagnation locale des eaux pluviales sur les terrains bas est mal drainés.

1.3.4.2 Explication du phénomène

Une inondation peut être provoquée par une submersion marine, par des remontées de nappes naturelles, par une crue (débordement de cours d'eau) et par ruissellement pluvial. La précipitation est un phénomène météorologique, aléatoire et variable (intensité, durée, période). Le ruissellement pluvial urbain provenant d'une crue ou d'une précipitation intense peut provoquer des inondations. Ce dernier constitue un risque majeur à l'échelle mondiale.

La figure ci dessous montre comment il se produit une inondation pour un événement pluvieux.

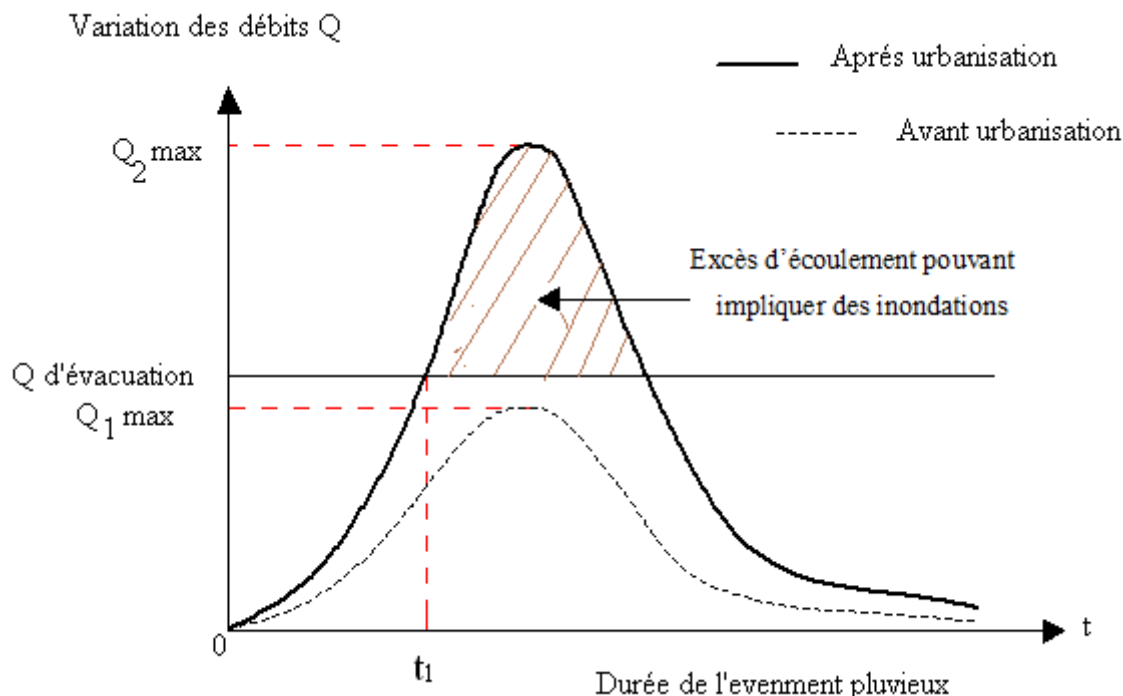


FIGURE 1.4 – Explicative graphique du phénomène d'inondation

La figure montre que l'inondation commence à se produire à partir du moment où le

débit de pointe dépasse la capacité d'évacuation du réseau.

1.3.4.3 Les dégâts

Une inondation est une catastrophe naturelle et un événement dangereux. La quantité d'eau qui s'écoule en amont entraîne avec elle des particules plus ou moins grosses et le ruissellement devient un moteur de l'érosion et de transport solide important. L'inondation provoque des dégâts importants en matériels et personnes.

Inondations en Algérie L'Algérie a connu la plus terrible inondation de son histoire du 10 au 14 novembre 2001. Frappant principalement Bâb El Oued, cet événement météorologique extrême a fait 751 victimes dont plus de 700 à Alger, et a occasionné des dégâts estimés à 300 millions USD. Le nombre de personnes déplacées a été de 24 000 et plus de 2 700 habitations ont été sévèrement endommagées. Entre 40 000 et 50 000 personnes ont perdu leurs habitations et près de 109 routes ont été endommagées.[16].

Plusieurs quartiers de la ville de Bejaia ont subi des inondations suite aux fortes chutes de pluies du dimanche 27 octobre 2007. Cet événement a fait des dégâts estimés à plus de 1447 179 000 DA. Des rues et ruelles ont été aussi inondées à cause des eaux stagnantes rendant impossible tout accès et passage vers les cités Dar nacer, Sidi-Ahmed, El-Khemis et les quatre chemins.

Inondations en Tunisie

En 1982, de graves inondations avaient fait plus de 70 victimes à Sfax et dans sa banlieue. Les pertes économiques avaient été estimées à environ 80 millions de dollars. Plus de 700 maisons avaient été détruites et 8000 autres endommagées ; des rues, des routes, des ponts, des voies ferrées, des lignes électriques et des équipements de télécommunication avaient également été touchés. En Janvier 2003, les inondations du Nord Ouest (Ghardimaou, Jendouba, Bousalem) avec 180 mm en 24 h ont provoqué la crue de l'oued Medjerda et de ses affluents et elles ont détruit plusieurs habitations et causé de dégâts importants.[26].

Inondations au Maroc

Lors de la semaine du 20 au 27 novembre 2002, le Maroc a connu l'une des plus importantes inondations de son histoire avec des dégâts matériels et humains considérables :

- Au moins 63 morts, 26 disparus, des dizaines de blessés.
- Des pertes importantes au niveau de l'habitat (24 habitations effondrées, 373 inondés,...etc).
- Des centaines d'hectares de terres agricoles endommagés.
- Des centaines de têtes de bétail emportées.
- Des unités industrielles subissant de graves dégâts, notamment à Berrechid et Mohammadia.[26].

Inondations en France

La France a connu une terrible inondation du 08 au 12 septembre 2001 dans le Gard et dans les départements Limitrophes ; plus de 24 morts et 1200 M de dégâts matériels. [29].

Inondations en Burkina Faso

En juillet 2010, Burkina Faso connu l'une des plus importantes inondations de son histoire à centre - Nord (Namentenga, Sanmatenga) , Sahel (Soum, Séno, Oudalan), Est(Gnagna) et Hauts - Bassins (Houet) , cet événement météorologique extrême a fait 15 victimes et plusieurs disparus, et 87 183 personnes affectées [12].

1.4 Problématique de la gestion des eaux pluviales urbaines

1.4.1 Introduction

La problématique de la gestion des eaux pluviales urbaines concure la qualité et la quantité du ruissellement des eaux pluviales urbaines en ville, comme le montre le schéma de la figure 1.5

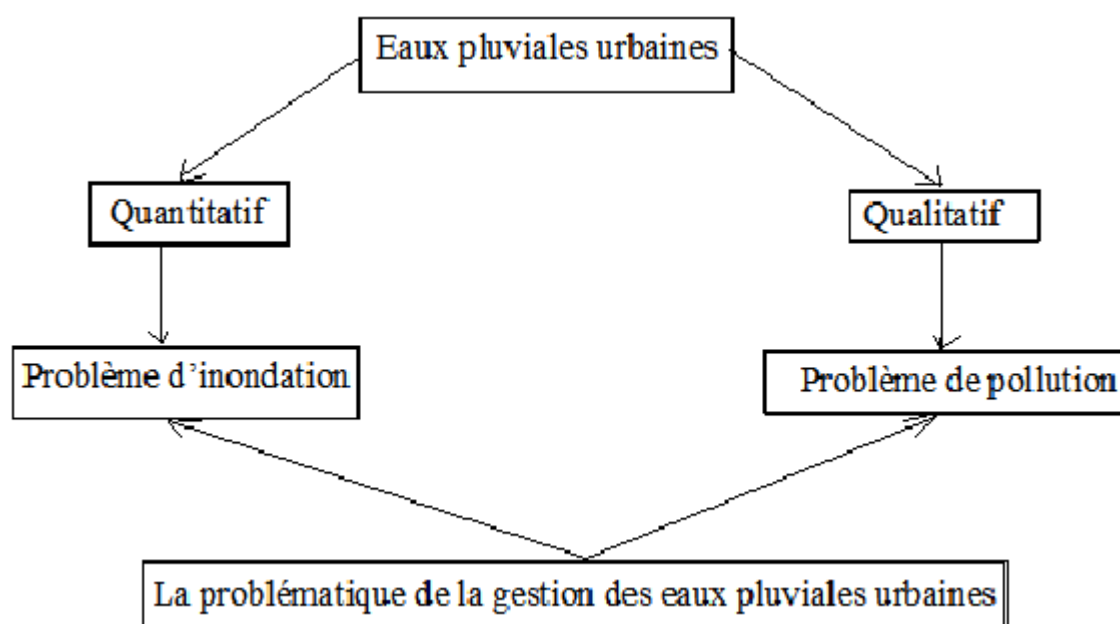


FIGURE 1.5 – Problématique de la gestion des eaux pluviales urbaines

1.4.2 Eaux pluviales urbaines

1.4.2.1 Aspect qualitatif

L'eau de pluie, peut transporter une quantité importante de sédiments, des emballages, mégots, verres et d'autres polluants comme les métaux lourds, l'huile à moteur, les engrais, les pesticides et excréments d'animaux. L'eau de pluie transporte des polluants dans le système de drainage relié au milieu récepteur(cours d'eau).

1.4.2.2 Aspect quantitatif

Lorsque les eaux pluviales transportant des polluants, y compris les sédiments (charges élevées lorsque le ruissellement traversant des chantiers de construction) s'écoulent dans les caniveaux, et les bouches d'égout, elles provoquent l'obturation des ouvrages et

par conséquent leur dysfonctionnement. Dans les terrains plats, les eaux pluviales stagnent et dans les terrains accidentés, elles provoquent l'érosion.

1.4.3 Enjeu de la gestion des eaux pluviales urbaines

Réduire le risque des dommages dus aux eaux pluviales, c'est prendre en compte à la fois les aspects quantitatif et qualitatif à l'aide des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales en milieux urbains. Le but est de gérer le surplus du volume d'eau de pluie et de diminuer la quantité de pollution transportées vers l'aval.(figure 1.6)

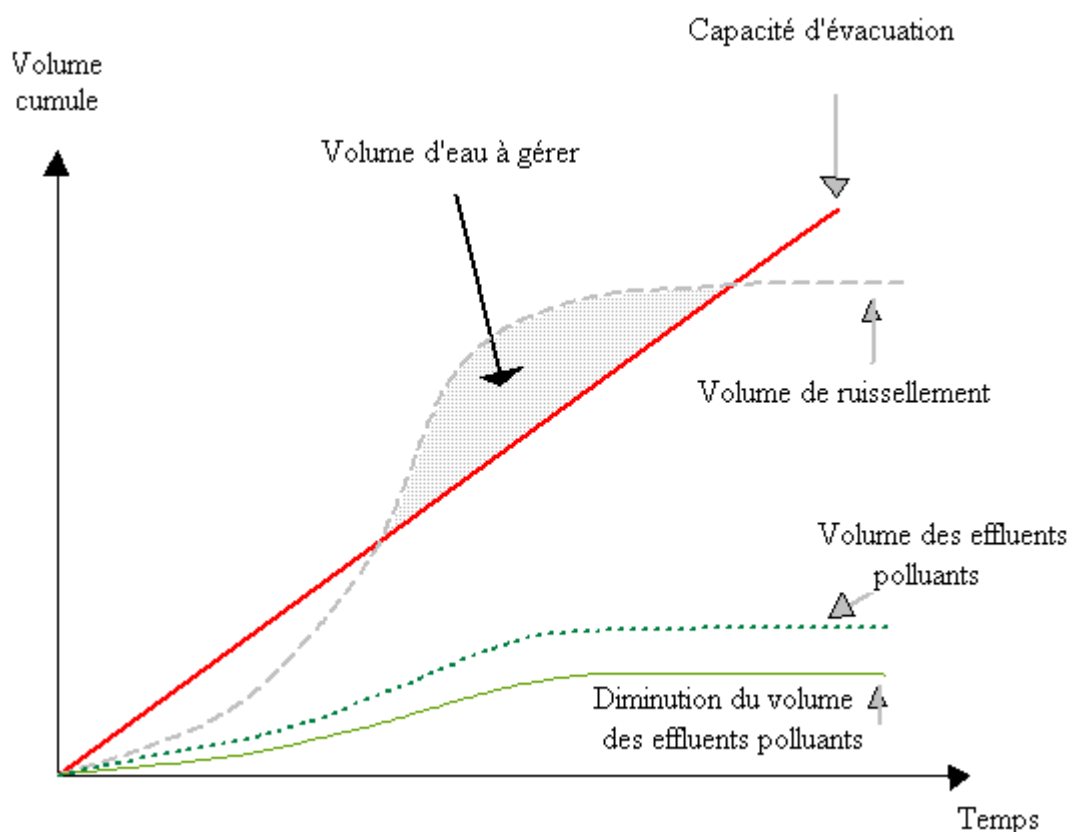


FIGURE 1.6 – Enjeu de la gestion des eaux pluviales

La gestion des eaux pluviales urbaines peut se faire à deux niveaux du processus d'écoulement : convaincre les propriétaires d'adopter la gestion à la parcelle(en amont donc, par des récupération et des stockage d'eau ponctuels) où intervention en aval du système par l'adoption de TA adoptées .

L'enjeu est important. En effet, la gestion efficace des EP urbaines permettrait d'amortir le coût des opérations associées sur les moyen et long termes puisqu'elle impliquerait à travers l'impact socio-économique positif d'importants gains en argent et en temps (éviter des dégâts matériels et humains très coûteux).

1.5 La situation algérienne

1.5.1 Introduction

L'Algérie, à vécu depuis l'indépendance un taux important d'accroissement de la population et de l'urbanisation (concentré au nord notamment). Le mode d'occupation des espaces en villes et l'absence de la maîtrise de l'urbanisation ont fait que les eaux pluviales urbaines sont devenues une menace fréquente en terme d'inondations

1.5.2 L'urbanisation en Algérie

Le taux d'urbanisation en Algérie dépend de la concentration de la population. Il n'existe aucune homogénéité dans la répartition de la population à travers les différentes zones du pays.

L'Algérie est un pays méditerranéen qui s'étale sur une superficie de 2.381.741 km². La population est estimée, à 34,8 millions de personnes (au 16 avril 2008). La concentration de la population urbaine, est conditionnée par le climat et des facteurs économiques(emplois,...) .

Le climat est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas saharien.

A l'aide de la carte géographique de l'Algérie qui représente les 48 wilayas et la population de chaque wilaya, on a représenté la répartition de population en Algérie (nord et sud) et la superficie correspond à la concentration de la population (nord et sud).

Les figure 1.7, 1.8 et 1.9, représentent, les 48 wilayas de l'Algérie, la répartition de population en Algérie (nord et sud) et la superficie correspond à la concentration de la population (nord et sud) respectivement.

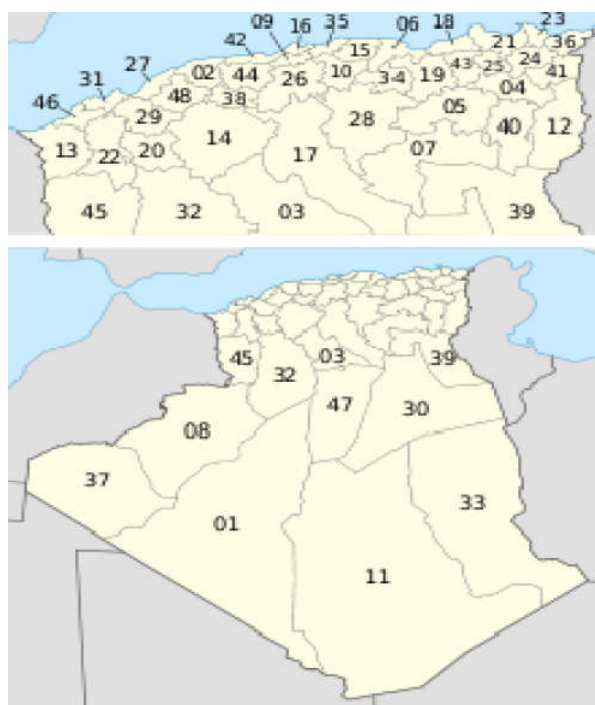


FIGURE 1.7 – Carte géographique des 48 wilaya

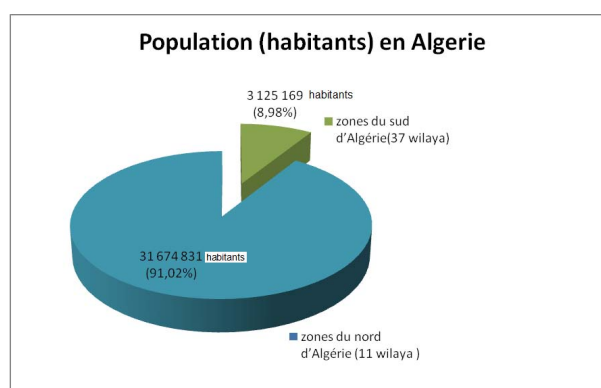


FIGURE 1.8 – La population du nord et du sud

Superficie (km²) nord et sud d'Algérie

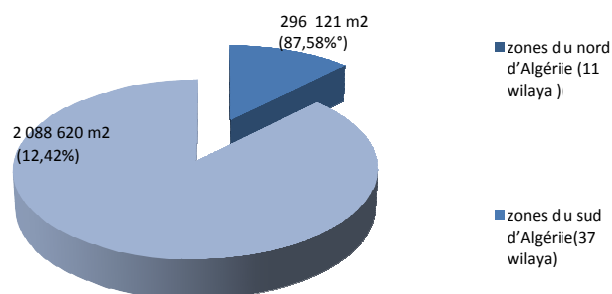


FIGURE 1.9 – La superficie correspondant à la concentration de la population (nord et sud).

D'après les figures 1.8 et 1.9, la concentration de la population, celle des zones du nord du pays, est plus importante que dans les zones du sud. La population est concentrée au nord avec un pourcentage 91,02 % par rapport à la population totale, avec un nombre de 31 674 831 habitants, sur une superficie de 296 121 km² qui représente 12,42 % de la surface totale. Par contre au sud, on a 31 251 69 habitants, qui représente 8,98 %, de la population totale sur une superficie de 2 088 620 km², qui représente 87,58 % de la surface totale.

D'après le journal quotidien algérien El Watan (6 août 2001), plus de la moitié de la population algérienne vit en zone urbaine. Selon les derniers chiffres, 58,3 % des Algériens vivent en ville, Ilhem B, au soir d'Algérie (Décembre 2006). Le ministre délégué chargé de la Ville, Abderrachid Boukerzaza a reconnu que "la ville algérienne ne reflète pas ce qu'elle devrait être car nous n'avons pas pu maîtriser l'extension de nos villes". De ce fait, le ministre délégué à la Ville prévoit, d'ici 2025 une concentration plus importante de la population dans les villes qui atteindra les 80%.

1.5.3 Contraintes pratiques d'assainissement en villes Algériennes

Le manque de données est une contrainte à la pratique de l'assainissement des eaux pluviales urbaines en Algérie. Les données (pluviométrique, topographique, géologique...) sont indispensables pour effectuer un travail efficace d'assainissement des eaux pluviales urbaines.

• Données pluviométrique

Ce sont des mesures de précipitations de la région étudiée, obtenues par affectation des mesures, journalier pour chaque pluie, dans une station à l'aide d'un appareil (pluviomètre), cette eau pluviale tombe au moment d'une précipitation sur la surface de bassin, ruissellera en fonction de la topographie et de la nature du sol et de son occupation des espaces. Cette série de mesures est analysée pour but de prévoir une précipitation majeure à une période de retour incluse dans la durée future du projet. Cette série de données, sur laquelle se base toute étude hydrologique est basée sur l'exploitation de données journalières recueillies pendant des périodes longues. Pour prévoir les événements pluvieux, les méthodes statistiques d'analyse de cette série

de données exigent une homogénéité de leurs composants. Mais en Algérie, dans la plus part des cas la série de donnée présente des lacunes.

- **Données topographiques**

Représenté l'état de surface du terrain naturel du bassin sur une carte, représenté les surface imperméable, des espace occupé. Cette donnée est imposée et son rôle est essentiel. A l'aide de cette carte, on détermine les sous bassins, de jouer sur les pentes pour assuré l'évacuation rapide et continue; un écoulement gravitaire des eaux pluvial d'amont sans avoir un approfondissement en aval.

- **Données géologiques**

Le choix d'un profil au long d'un réseau d'assainissement, une étude géotechnique de la structure des terrains doit être faite, pour but d'éviter les terrains difficiles et obstacles. Capacité d'infiltration des eaux pluviales pour déterminer le coefficient du ruissellement de chaque sous bassin. Estimé le cout des terrassements et la durée de réalisation.

En Algérie y'a un manque de carte (carte des aléas, carte de zonage réglementaires, carte d'information,..) qui nous représente les caractéristiques géographiques du bassin versant, l'emplacement et la structure du réseau (d'assainissement, d'électricité, de gaz...) implanté, la qualité et la nature du sol, les couches des sols, le niveau de la nappe souterraine...

- Il ya aussi des données hydrauliques, des données sur le comportement (mouvement, régime d'écoulement, vitesse, transport solide) de l'eau pluviale et des données sur la pollution, leurs source, la nature et comportement des polluons (matière organique, colorant, matières premières...) en surface et dans le réseau d'assainissement existant.

1.5.4 Problèmes de la gestion des eaux pluviales urbaines en Algérie

La gestion des réseaux d'assainissement urbains en Algérie a toujours été faite au coup par coup, souvent pour répondre à des objectifs et des besoins localisés immédiats sans considérer la durabilité des systèmes et leur impact sur l'environnement à moyen et long termes.[4] Les problèmes qui apparaissent dans un projet de gestion des eaux pluviales dans les villes algériennes peuvent être classé en deux catégories :

- Intégrer l'eau pluviale dans l'urbanisme et concevoir des systèmes modulables .
- Contraintes pratique des techniques alternatives .

1.6 Conclusion

La gestion des eaux pluviales en milieu urbain, n'est pas une tâche facile. La nécessité de préserver la ville des problèmes engendrés par les pluies implique l'obligation de prendre en considération l'eau atmosphérique dans les projets d'urbanisation avec le souci de résoudre les problèmes de pollution et d'inondation. Dans ce chapitre, nous avons tenté d'aborder d'une manière limitée la problématique des eaux pluviales dans le milieu urbain. Mais la question reste posée, qu'elles sont les solutions (Les techniques alternatives) de la gestion de l'eau de pluie en ville ?

Dans le chapitre suivant ; nous présenterons les ouvrages alternatives en assainissement pluvial.

Chapitre 2

Techniques alternatives de la gestion des eaux pluviales

2.1 Introduction

Après avoir décrit la problématique de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain, dans ce chapitre nous présentons de manière générale les installations de stockage, d'infiltration ou de réutilisation de l'eau pluviale. Bien avant que les techniques alternatives au réseau d'assainissement soient présentées, on montre les principes de base et le mode de gestion des eaux pluviales dans la ville.

2.2 La gestion des eaux pluviales

La bonne gestion des eaux pluviales urbaines est à la fois un facteur de maîtrise du risque d'inondation, mais aussi de préservation des ressources en eau et des milieux aquatiques contre les pollutions. Elle repose sur la nécessité de ne plus considérer l'assainissement comme une annexe à l'aménagement mais comme une composante majeure de l'aménagement et de la protection des milieux aquatiques. Donc lorsqu'il est très difficile d'agir au niveau du réseau d'assainissement, la gestion des eaux pluviales à l'aide des systèmes alternatives devient une réelle nécessité.

2.2.1 Principes de la gestion des eaux pluviales urbaines

- Intégrer l'eau dans l'urbanisme et concevoir un système modulable qui fonctionne dans toutes les conditions météorologiques.
- Prendre en compte la gestion dans la conception des ouvrages.
- Gestion à la source, en amont, et déconnecter les eaux pluviales des réseaux existants.
- Prendre en compte l'ensemble des rejets urbains et leurs impacts.
- Rejet à un débit compatible avec la sensibilité du milieu récepteur.
- Traitement qualitatif adapté au risque de pollution générée par le projet et à la vulnérabilité du milieu récepteur.[\[10\]](#)

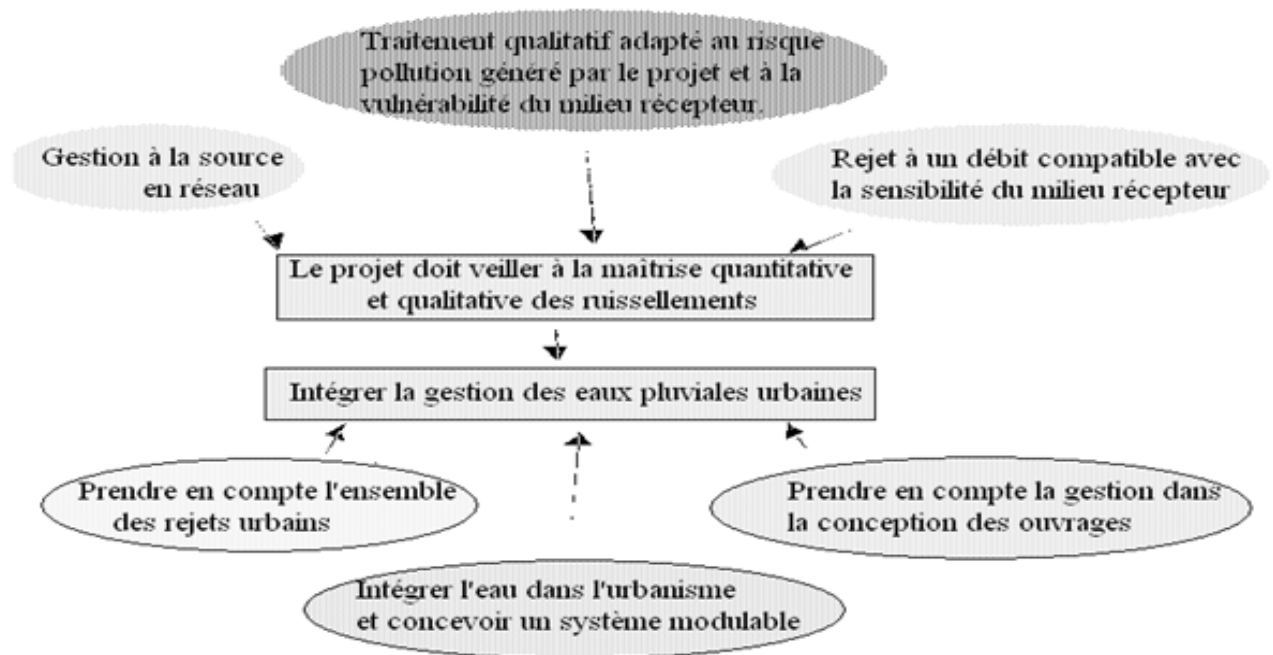


FIGURE 2.1 – Principes de base de la gestion des eaux pluviales urbaines

2.2.2 Les pratiques de gestion optimale des eaux pluviales

Les gestions quantitative et qualitative des eaux de ruissellement s'appuient sur un ensemble de pratiques qui peuvent être appliquées d'une stratégie à une autre. Une bonne stratégie doit reposer sur la diversification des solutions et des exutoires et d'autres contraintes.

2.2.2.1 Chaîne de mécanisme de contrôle

On diminue ou on régule les apports avant rejet vers le milieu récepteur. Cette action est fondée sur la rétention, la restitution à débit limité et/ou l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement, donc la stratégie de la pratique de la GEPMU est possible par contrôle à la source, en réseau d'assainissement ou bien en aval, comme le montre la figure

2.2 :

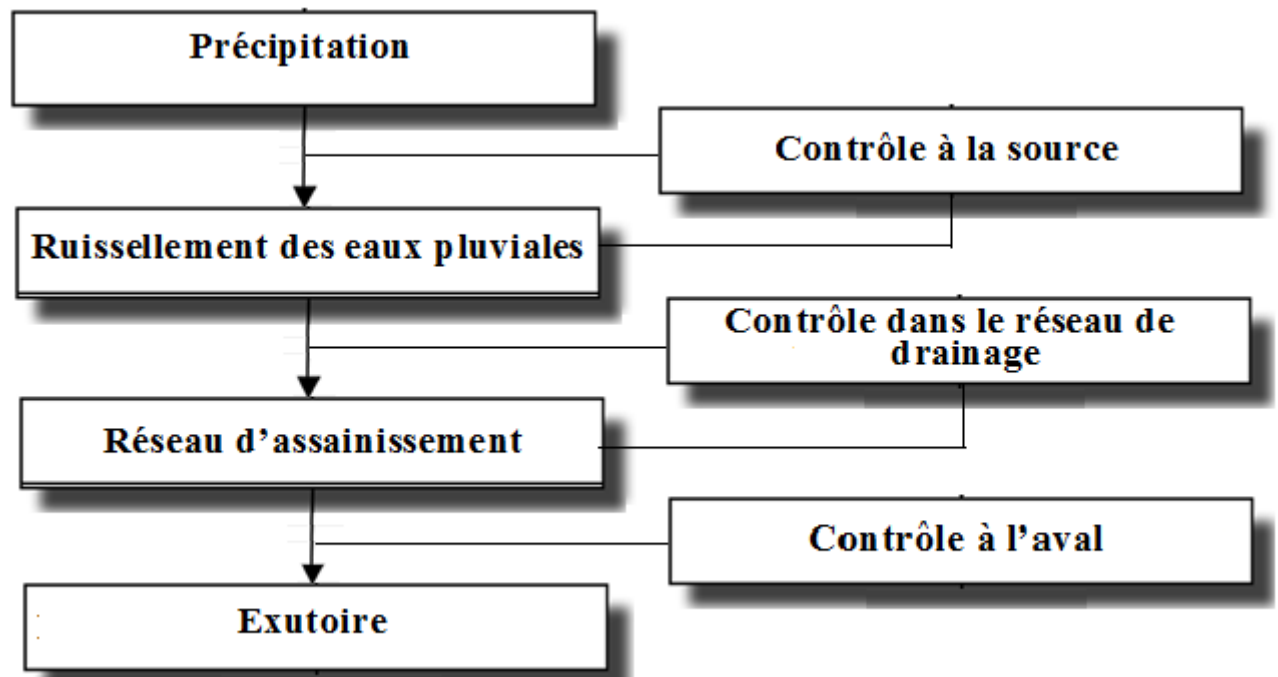


FIGURE 2.2 – Chaîne de mécanismes de contrôle des EP

2.2.2.2 Contrôle à la source des eaux pluviales

Le "contrôle à la source" consiste à assurer la gestion des eaux de ruissellement et à prévenir la pollution des lieux où tombe la pluie, sur les lots individuels (bâties) et à proximité, par exemple, le long des routes. Ce contrôle est le moyen le plus rentable qu'on puisse utiliser pour réduire les impacts des eaux de ruissellement urbaines.

Exemples des systèmes ou de pratiques de contrôle à la source : jardins pluviaux (le sol et les plantes sont aménagés pour absorber et réutiliser l'eau), toits (simple, verts), chaussée perméable, citernes pluviales ...etc.

2.2.2.3 Contrôle dans le réseau de drainage

Ce contrôle consiste à assurer la rétention/infiltration des eaux pluviales à partir d'un système placé en amont, réseau d'assainissement enterrée ou bien superficielle, dans ce contrôle on doit analyser l'état initial du site, en caractérisant le milieu par ses points forts, ses points faibles, sa sensibilité ...etc. Pour déterminer quel type de TA sera installé, il est nécessaire de connaître toutes les caractéristiques du sol et de l'environnement sur lequel l'ouvrage devra être inséré pour assurer leur fonctionnement.

Exemples des systèmes de contrôle en réseau de drainage : bassin de rétention / infiltrant, chaussée à structure réservoir, les puits d'infiltration/injection, fossés / noues, réseaux surdimensionnés, structures réservoirs, les tranchées drainantes,... etc.

2.2.2.4 Contrôle à l'aval

Les retenues d'eaux pluviales devraient être prises en considération au tout début du surface où le ruissellement se produise sur le tissu urbain, mais les pratiques de gestion optimales qui peuvent être mises en oeuvre à la source et en réseau de drainage dans certaines cas apparaître impossibles, on raison de la topographie du terrain, le manque d'espace et d'autres contraintes, dans ce cas le contrôle à l'aval est le stratégie unique ou bien la meilleure.

En fin de réseaux du coté aval sont comprennent les TA de capacité de rétention importante permettent-elles une bonne protection contre les inondations, comme les bassins de rétention/ infiltrant et les structure réservoir.[27],[19],[19]

2.3 Présentation des techniques alternatives de la gestion des eaux pluviales

2.3.1 Définition

Ce sont des techniques modulables et complémentaires qui assurent une gestion optimum des eaux de pluie et de ruissellement. Elles peuvent être mises en oeuvre aussi bien dans les zones d'urbanisation nouvelles, que dans les centres-villes anciens ; et associées à un réseau d'assainissement, ou bien utilisées de manière autonome surtout lorsque les exutoires sont saturés ou éloignés. Comme :

- Bassins de stockages.
- Réseaux surdimensionnés.
- Structures réservoirs.
- Tranchées drainantes
- Puits d'infiltration
- Fossés et les noues.
- Toits stockants.

Elles permettent, à moindre coût ou à coût équivalent mais avec une protection supérieure, d'urbaniser des zones pour lesquelles l'évacuation des eaux pluviales serait difficile techniquement ou financièrement par les moyens traditionnels. Elles permettent une urbanisation progressive, en plusieurs phases. Mais surtout, elles présentent souvent des opportunités de valorisation de l'investissement pluvial grâce à :

- L'alimentation de la nappe.
- La réutilisation des eaux collectées.
- La création d'espaces verts, d'aires de jeu, de détente et peuvent être le support d'autres fonctions comme les parkings ou la circulation.

Ces techniques sont des ouvrages représentant une alternative aux réseaux d'assainissement classiques ; D'où la dénomination de " techniques alternatives " ou " techniques compensatoires ", peuvent prendre différents aspects. Leur fonctionnement repose sur deux principes :

- La rétention de l'eau de pluie et de ruissellement, pour réguler les débits et étaler les apports à l'aval.
- L'infiltration dans le sol, lorsqu'elle s'avère possible, pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval.

Il existe donc des ouvrages différant suivant leur fonction.

- Les ouvrages de rétention : ils stockent temporairement les eaux pluviales avant de les restituer, vers un exutoire, à débit limité grâce à un organe de régulation.
- Les ouvrages d'infiltration : leur exutoire est le sol. En effet, ils contiennent les eaux pluviales collectées, pendant qu'elles s'infiltreront directement.
- Les ouvrages de rétention infiltrants, alliant les deux fonctionnements décrits ci dessus. L'évacuation des eaux pluviales se fait en partie vers un exutoire à débit limité, grâce à un organe de régulation, et par infiltration dans le sol.

2.3.2 Les bassins de stockage.

Les bassins se sont des ouvrages de stockage de grand volume des eaux de ruissellement qui sont soit infiltrées soit restituées au cours d'eau ou au réseau pluvial par un débit de fuite. Afin de réduire l'impact financier que cela représente, on cherchera à lui conférer une utilisation plurifonctionnelle (aire de jeu, de détente, ...etc).

a. Bassin enterré

Ce sont des ouvrages de stockage (génie civil) souterrains, que l'on peut enterrer sous des espaces verts, des voiries ou encore des parkings. Ils se vidangent complètement suite à l'épisode pluvieux. La figure 2.3 montre un exemple de bassin de rétention enterré située dans le département des Pyrénées-Atlantiques et la région d'Aquitaine de France :[18]



FIGURE 2.3 – Bassin de rétention, Ciboure - France-.

b. Bassin sec à ciel ouvert

C'est un espace végétalisé peu profond, perméable ou étanche, qui permet de stocker les eaux de pluie. Un bassin sec à ciel ouvert est situé au niveau du terrain naturel et se vidange complètement suite à l'épisode pluvieux.[24]



FIGURE 2.4 – Bassin de régulation des eaux pluviales dans un parc urbain en Essonne -France-

c. Bassin en eau

Les bassins en eau sont des ouvrages de stockage, de décantation et/ou d'infiltration à ciel ouvert, c'est un plan d'eau permanent dans lequel sont déversées les eaux. Leur taille varie en fonction de leur utilité et du volume de rétention nécessaire, elle peut varier du petit bassin en fond de jardin jusqu'au lac. Leur dimension conditionnera le type d'utilisation et d'exploitation et l'espace disponible.[13]



FIGURE 2.5 – Bassin de rétention à l'air libre, en ville -Ile de France-

2.3.2.1 Principe de fonctionnement

On distingue trois types de bassin :

- Bassin de rétention, , la totalité des eaux de pluie et de ruissellement collectées vers le système retournée à l'exutoire selon un débit de fuite comme le bassin enterré, en eau et sec à ciel ouvert étanche.
- Bassin d'infiltration, Infiltration seule, la totalité des eaux de pluie et de ruissellement collectées est alors infiltrée, comme le bassin sec à ciel ouvert infiltrant .
- Bassin de rétention infiltrant : Infiltration plus évacuation à débit régulé vers un exutoire, une partie du volume des eaux de pluie et de ruissellement est infiltrée (réduisant la dimension du bassin de rétention) et l'autre est retournée à l'exutoire selon un débit de fuite, comme le bassin sec en eau à ciel ouvert infiltrant.

Ces ouvrages sont constitués d'un ouvrage d'alimentation, d'une zone de stockage (ou d'infiltration), et d'un ouvrage de régulation. La collecte des eaux pluviales en amont et l'alimentation du bassin sont réalisées par des bouches à grille ou avaloirs, des bouches d'injection, des canalisations, des caniveaux, des systèmes de " dégrillage ", de piège à flottants, de pièges à particules fines. Dans la plus part des cas l'exutoire des bassins est composé par un organe ou orifice de régulation et d'une surverse de sécurité , le milieu récepteur peut être un réseau public, milieu hydraulique superficiel et le sous sol pour les bassins infiltrants.

2.3.2.2 Réalisation

La nature des couches géologiques du sol et l'environnement immédiat (habitation, sous sol, terrains,...) nous donne qu'il type de bassin sera adaptable au site.

Pour la mise en oeuvre d'un bassin d'infiltration à ciel ouvert est conseillée dans les cas où la perméabilité du sol permette l'infiltration des eaux collectées, aussi lorsqu'il n'y a pas d'exutoire possible et que l'on dispose d'un espace suffisant. Pour permettre la mise en oeuvre d'un bassin plurifonctionnel et l'ouvrir au public, on doit assurer la sécurité des riverains. La réalisation d'un bassin à ciel ouvert demande de la mise en place d'un géotextile et/ou une géomembrane en fonction de la destination du bassin et du type d'eau retenue et un revêtement, qui peut être assurée par divers matériaux, végétaux comme gazon résistant à l'eau et à l'arrachement, aussi par béton, enrobé et dalles bétonnées.

Pour les bassins enterrés peut être conseillée s'il y a un manque de terrain disponible (centre ville par exemple) et pour les particuliers avec un stockage à la parcelle. Nécessite un système de drainage et une structure en béton, dépendent de la résistance du sol et la capacité de rétention de l'ouvrage. En plus, il est indispensable d'équiper ce type de bassins de systèmes de mise à l'air. Dans le cas où des équipements électromécaniques de contrôle hydraulique sont mis en oeuvre, ils doivent supporter une atmosphère défavorable (humidité, dégagement H₂S, atmosphère corrosive,...). Si dans le cas, leur accessibilité souvent difficile rend compliqué leur suivi et leur entretien.

2.3.3 Surdimensionnement de réseau

2.3.3.1 Présentation

C'est une technique, le plus souvent utilisée pour des opérations dans lesquelles on retrouve un grand linéaire de réseau d'assainissement des eaux pluviales ainsi qu'une forte densité d'urbanisation, par la mise en pose d'un réseau pluvial de gros diamètre.[\[36\]](#)

2.3.3.2 Principe de fonctionnement

Le principe repose sur le volume de stockage généré par le surdimensionnement de la canalisation d'eau pluviale en amont immédiat de l'ouvrage d'alimentation, qui peut être un réseau classique, une technique alternative,... Le volume total de la canalisation ne représente pas le volume de stockage utile puisqu'il faut tenir compte du volume d'écoulement de l'épisode pluvial. Le stockage permis est donc dans certains cas restreint. Le volume utile de stockage est la différence entre le volume total de la canalisation surdimensionnée et le volume nécessaire à l'écoulement des eaux collectées.



FIGURE 2.6 – Exemples de conduites surdimensionnées pour le stockage sous un stationnement à Charly - Rue du Clos Chaland -France-

2.3.3.3 Réalisation

La mise en oeuvre de cette solution doit être conforme à la pose d'un réseau pluvial classique, mais il faut assurer un bon écoulement des eaux pluviales. Elle peut également être mise en oeuvre chez le particulier, aussi dans une ville dense. Le re-dimensionnement d'un réseau existant implique des travaux conséquents (dépose et pose du réseau) et nécessite donc un budget assez élevé. Cette solution sera moins coûteuse si on l'intègre dans un plan d'aménagement d'un nouveau réseau. Peut être utilisée en complément d'autres (infiltration ou rétention), lorsque l'emprise ou le coût de l'opération le nécessite. Ainsi, elle peut permettre, entre autre, de libérer un volume de rétention avant mise en charge du réseau et débordement dans un bassin ; ou constituer un volume de rétention entre deux puits d'infiltration par exemple.

2.3.4 structures réservoirs

2.3.4.1 Présentation

Les structures réservoirs sont des ouvrages enterrés, stockant temporairement la pluie dans le corps de la structure. Elle est caractérisée par le coefficient de vide définissant leur capacité de stockage des eaux et la résistance à la compression définissant leur solidité et domaine d'utilisation. Nous avons distingué deux grandes familles, la première les chaussées à structures réservoirs et la deuxième les structures réservoirs à base de matériaux préfabriqués ou bien naturels.

a. Chaussées à structures réservoirs

Les chaussées a structure réservoir (CSR) ont pour but d'écrêter les débits de pointe de ruissellement en stockant temporairement la pluie dans le corps de la chaussée. Elles peuvent être assimilées a des bassins de retenue enterres remplis de matériaux poreux. Ce type de technique est adapté à la gestion des eaux pluviales en milieu urbaines, peut être mise en place sous des surfaces supportant circulation ou stationnement telles que des chaussées, des voiries, des parkings ou des terrains de sport.[27]



FIGURE 2.7 – Aménagement d'une cour d'école avec un revêtement poreux.

b. Structures réservoirs à base de matériaux préfabriqués ou bien naturels

Des ouvrages volumiques, de géométrie variable, adaptée à l'aménagement. Elles ont une emprise souterraine importante assimilable à un bassin de rétention enterré, rempli de matériaux poreux. Les structures réservoirs à base de matériaux préfabriqués ou bien naturels, se sont des structures couramment composé de grave poreuse sans fine ou bien de matériaux plastique adapté (nid d'abeille, casier réticulés, pneus, ...etc.). Les structures

alvéolaires sont des structures synthétiques possédant un indice de vide de l'ordre de 90 %. Ces structures peuvent être mises en place sous des voies piétonnes, cyclables ou chez un particulier (sous une aire de garage). [36]



FIGURE 2.8 – Structure alvéolaire à Charly - Rue du Clos Chaland- France.

2.3.4.2 Principe de fonctionnement

Leur fonctionnement est simple. L'eau est stockée dans le volume vide des matériaux. Le mode d'évacuation des eaux diffère selon le type de structure et la nature du sol. Elles peuvent être évacuées : à débit régulé, par un drain vers un exutoire classique (réseau public, milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration). Par infiltration directe si le sol présente des horizons géologiques favorables.

Pour les CSR, si le revêtement de surface est poreux (enrobés drainants, béton poreux ou pavés poreux), les eaux s'infiltrent directement dans la structure . Par contre, si le revêtement est étanche, les eaux sont injectées dans la structure par l'intermédiaire d'avaloirs. Les eaux stockées sont ensuite évacuées soit par infiltration directe dans le sol support, soit par restitution vers un exutoire (par exemple le réseau d'assainissement ou le milieu naturel).

Pour d'autre structure, leur fonctionnement consiste donc à stocker l'eau dans le volume vide des matériaux. L'eau est évacuée par infiltration ou vers le réseau public. Le fonctionnement hydraulique de la structure réservoir est assuré par trois fonctions : une injection de l'eau dans l'ouvrage, un stockage temporaire de l'eau et une évacuation.

2.3.4.3 Réalisation

Le corps de la structure est couramment composé de grave poreux sans fine. Pour les revêtements drainants, plusieurs matériaux peuvent être utilisés : les enrobés drainants, les bétons poreux, les pavés poreux, les dalles poreuses. La réalisation des chaussées à structure réservoir demande une mise en oeuvre plus rigoureuse que ceux effectués sur des chaussées traditionnelles et un contrôle des matériaux mis en place, une attention particulière devra être apportée aux différents éléments comme la granulométrie, pose des drains, diamètre des drains adaptés. Pendant la réalisation il faut éviter une réduction du volume porosité et une épaisseur trop faible pour la réalisation du fond de forme résiste à la compression.

On étudie les caractéristiques des matériaux poreux constituant la structure, leur résistance à la compression, pour vérifier qu'ils soient bien adaptés à l'environnement de l'ouvrage. La collecte des eaux pluviales en amont et l'alimentation de la structure sont réalisées par à l'aide des bouches à grille ou avaloirs, bouches d'injection, canalisations, caniveaux, systèmes de " dégrillage ", de pièges à flottants, de pièges à particules fines, regards de répartition, regards visitables ou permettant l'entretien. Une étude sur les possibilités de pollution de nappe devra être menée pour les zones " à risques ". En cas de risques majeurs, il est conseillé d'avoir une distance minimale de 1 mètre entre le fond de l'ouvrage et le niveau des plus hautes eaux afin de " filtrer " les eaux grâce au sol en présence. Si cela s'avère nécessaire, des systèmes de traitement adéquats (décanteur, déshuileur, débourbeur,...) seront mis en oeuvre avant infiltration des eaux collectées.

2.3.5 Tranchées drainantes et infiltrantes

2.3.5.1 Présentation

Une tranchée est un ouvrage superficiel, linéaire, utilisé pour l'assainissement pluvial des voiries et de toitures. Elles sont remplies de matériaux poreux (massifs de graviers ou de galets, structure réservoir,...etc.) et revêtues de dalles de béton ou de pelouse. Elles sont le plus souvent équipées d'un système de drainage.[36]



FIGURE 2.9 – Tranchée drainante (Vernaison - Impasse Port Rave- France.)

2.3.5.2 Principe de fonctionnement

On note qu'il existe deux principaux types de fonctionnement :
Les tranchées drainantes : c'est un système de rétention des eaux. L'eau est évacuée grâce à un drain, selon un débit régulé vers l'exutoire (le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel, un système d'infiltration).

Les tranchées infiltrantes : c'est un système d'infiltration, couplé au système de rétention. L'évacuation des eaux pluviales se fait par infiltration directe dans le sol mais on peut également la coupler avec un écoulement régulé. Ceci permettra la vidange complète de l'ouvrage.

La collecte des eaux pluviales en amont et l'alimentation de la tranchée sont réalisées par ruissellement direct ou bien par des bouches à grille ou avaloirs, canalisations, aussi par un regards de répartition, un regards visitables ou permettant l'entretien (tringlage, curage, ...etc). L'exutoire est composé d'un organe ou orifice de régulation ou bien un système de clapet de décharge et un système de drainage des eaux stockées (caniveau, drain d'évacuation, ... etc).

2.3.5.3 Réalisation

Ils peuvent être sous la forme d'espaces verts, de chemins piétonniers, comme des promenades ou des trottoirs ou bien en voies d'accès pour les véhicules comme des parkings. Pour mettre en oeuvre la solution, le terrain naturel doit être faiblement pentu et un sous-sol non encombré pour les tranchées infiltrant, il faut s'assurer que la perméabilité du sol permette l'infiltration des eaux pluviales. En cas de risques majeurs, il est conseillé

d'avoir une distance minimale de 1 mètre entre le fond de l'ouvrage et le niveau des plus hautes eaux afin de "filtrer" les eaux grâce au sol en présence, on plus il est nécessaire, avant infiltration des eaux collectées de menu la solution par un système de prétraitement (décanteur, déshuileur, débourbeur, ...etc.) seront mis en oeuvre.

La tranchée est composée par du roulé, concassé et galets de porosité supérieure à 30, matériaux alvéolaires ou structures préfabriquées de porosité élevée; un drain, que peut être placé en fond de tranchée, elle est remplie par mise en charge. Placé en haut de tranchée, l'eau ruisselle avant infiltration dans le sol. D'un géotextile et/ou une géomembrane en fonction de la destination de la tranchée et du type d'eau retenue (possibilité de contamination, zone à "risques").

2.3.6 Puits d'infiltration et d'injection

2.3.6.1 Présentation

Les puits sont des ouvrages ponctuels, profonds ou non. Ils permettent le transfert des eaux vers les couches perméables du sol par l'infiltration. Ils sont dimensionnés pour répondre au besoin de la zone collectée et alimentés soit directement par ruissellement, soit par des drains ou collecteurs. Ils peuvent venir en compléments de dispositifs de stockage et de traitement. Ils peuvent être vides ou comblés de matériaux (galets ou structures alvéolaires). Ils s'adaptent à tout type d'opération, de la simple parcelle aux espaces publics.[36]



FIGURE 2.10 – Puits d'infiltration avec tampon(France).

2.3.6.2 Principe de fonctionnement

Il existe deux principaux types de fonctionnement, les puits d'infiltration, qui ne sont pas en contact direct avec la nappe phréatique et les puits d'injection, qui eux, sont en contact direct avec la nappe et injectent donc directement l'eau dans la zone saturée. Le recours aux puits d'infiltration afin de réduire les rejets d'eaux de pluie et de ruissellement est une technique longuement éprouvée. Elle permet l'infiltration au plus près du point de collecte. Anciennement, ils pouvaient être comblés par des matériaux poreux, assurant la stabilité de l'ouvrage, la filtration des eaux pluviales et ainsi réduisant l'effet de colmatage en fond.

2.3.6.3 Réalisation

Cette technique est adaptée pour la gestion des eaux pluviales d'un particulier, le long d'un bâtiment, le long d'une voirie ou sur des parkings à stationnement peu intense. Afin de pouvoir mettre en oeuvre cette technique, il convient avant tout de s'assurer de la présence d'un horizon géologique favorable à l'infiltration. Que ce soit dans les couches superficielles ou inférieures. La réalisation d'une étude hydrogéologique s'avère nécessaire afin de réaliser un dimensionnement précis et rigoureux de l'implantation et du nombre de puits d'infiltration à mettre en oeuvre en fonction de l'opération. Pour éviter les risques de pollution de la nappe, le puits ne doit pas se trouver à proximité d'une zone de stockage de produits dangereux ou de produits polluants.

Les puits peuvent être installés sur un réseau d'assainissement traditionnel, en parallèle du réseau. Mais dans chaque installation il faut éviter les risques de colmatage pendant la réalisation du projet (phasage des travaux et protection du puits) et par la suite (séparation vis-à-vis des surfaces productrices de fines); et bien prévoir l'accès à l'ouvrage pour l'entretien.

L'alimentation du puits pouvant se faire directement au niveau du terrain naturel après ruissellement (au milieu d'une place ou en fond d'un système de rétention par exemple), ou au sein de l'ouvrage lui-même grâce à des canalisations menu par un système de pré-traitement.

2.3.7 Fossés et noues

2.3.7.1 Présentation

Ouvrages linéaires, un fossé est un ouvrage très ancien et très bien connu, qui de part sa nature, peut rester en eau. Une noue est un modelé de terrain, souvent sous forme d'un fossé large, peu profond avec un profil présentant des rives à pentes douces. Fossés et noues constituent deux systèmes permettant de ralentir l'évacuation de l'eau, avec un écoulement et un stockage de l'eau à l'air libre.[27]



FIGURE 2.11 – Exemples d'aménagement pour noue ou fossé sans retenue permanente-Québec-

2.3.7.2 Principe de fonctionnement

Les fossés et les noues sont deux ouvrages, permettant de collecter et de réguler les eaux de pluie et de ruissellement en ralentissant leur écoulement vers un exutoire. L'exutoire peut être le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration. L'eau est amenée dans les fossés soit par des canalisations, soit par ruissellement direct. Elle est évacuée par infiltration et/ou de manière régulée vers un exutoire (puits, bassin, réseau de collecte).

Une noue peut fonctionner de manière tout à fait autonome sans organe de collecte ni de régulation. La collecte des eaux de pluie se fait de façon naturelle par ruissellement, le stockage temporaire se fait au sein de la noue et l'évacuation est réalisée :

Si le sol est perméable : par infiltration directe. Cette infiltration permet d'éviter d'avoir des zones où l'eau va stagner, induisant divers types de nuisances.

Si le sol est imperméable : la noue doit être raccordée à un exutoire qui permettra l'évacuation de l'eau à débit régulé. La noue est utilisée comme un bassin de rétention, de rétention infiltrant ou d'infiltration quand le sol le permet. La noue peut constituer un exutoire à part entière, mais elle peut également être utilisée pour suppléer le réseau d'assainissement pluvial traditionnel ou bien pour compléter un ouvrage alternatif pluvial enterré qui serait saturé lors d'un épisode pluvieux.

2.3.7.3 Réalisation

Mise en place de géotextiles en fonction de la destination du fossé ou de la noue et du type d'eau retenue, la stabilisation des talus par végétalisation . Les fossés et les noues

peuvent être placés dans le sens d'écoulement des eaux de ruissellement, ou perpendiculairement, permettant ainsi d'intercepter l'eau de ruissellement et de ralentir les vitesses d'écoulement.

La réussite d'une noue ou d'un fossé réside dans sa bonne exploitation (entretien régulier et suivi sérieux). Dans le cas inverse, ils peuvent rapidement devenir des endroits insalubres

2.3.8 Toit stockant

2.3.8.1 Présentation

Cette technique consistant à stocker provisoirement l'eau de pluie est utilisée pour ralentir le plus tôt possible le ruissellement, grâce à un stockage temporaire de quelques centimètres sur les toits, le plus souvent plats.[7]



FIGURE 2.12 – Toits végétalisés à Noisy-le-Grand(France)

2.3.8.2 Principe de fonctionnement

Les toits stockants collectent l'eau directement sur leur surface. Ils ne nécessitent donc pas d'ouvrage de collecte. le principe consiste à retenir grâce à un revêtement d'étanchéité, généralement protégé par une couche de gravillons (gazon) grâce à un parapet en bordure de toiture, une certaine hauteur d'eau, puis à la relâcher à faible débit vers un exutoire, peut être le réseau d'assainissement traditionnel, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration ou bien une citerne. Sur toits en pente, le stockage est également possible, en utilisant des caissons cloisonnant la surface. De plus, un système de trop-plein permet d'éviter une surcharge de la structure lors d'un épisode pluvieux qui saturerait les systèmes de stockage et de régulation.

2.3.8.3 Réalisation

La réalisation nécessite la mise en oeuvre de plusieurs contrôles et vérification de la qualité et de la performance des matériaux vis à vis de l'étanchéité. En cas de volume important à stocker, il faut assurer une sécurité de la structure et un trop plein devra être placés au dessus de la toiture. Vérification du bon fonctionnement des organes de vidange, les systèmes de régulation et les trop-pleins de sécurité doivent être munis de dégrilleurs. Cette technique n'est pas très répandue car son développement est freiné par des à priori et des réticences. Ce qui est dommage car cette solution, peu coûteuse, est bien adaptée, en milieu urbain dense, à l'assainissement pluvial de petites surfaces imperméabilisées comme des habitations de particuliers.[33],[15],[15]

2.4 Avantages /inconvénients de chaque technique alternative.

D'après l'représentation des TA ci-dessus, nous constatons que ces techniques se différencient par le principe de fonctionnement et la structure de l'ouvrage. Le tableau 2.1 et 2.2 récapitule ces TA en ajoutant les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles. Certes, il n'existe pas de technique idéale. Le choix d'une technique pour la GEPLU peut dépendre d'autres facteurs.[15].[7].[31]

TABLE 2.1 – Récapitulatif des avantages /inconvénients de chaque technique alternative

TA	Avantages	Inconvénients
Bassin sec à ciel ouvert	Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation des particules ; Conservation d'espaces verts en zone urbaine ; De part leur aspect plurifonctionnel les bassins secs ont une bonne intégration paysagère ; Entretien simple ; Réduction des débits de pointe à l'exutoire. Entretien simple.	Importante emprise foncière la plupart du temps ; Risques de nuisances olfactives (stagnation d'eau, putréfaction de végétaux,...) par défaut de réalisation ou manque d'entretien.
Bassin en eau	Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation des particules ; Très bonne intégration paysagère ; Possibilité de recréer un écosystème ; L'aménagement d'un plan d'eau déjà existant ne demande que peut d'investissement ; Possibilité de conserver la totalité des eaux pluviales collectées ; Possibilité de réutiliser les eaux de pluie.	Importante emprise foncière; Risques de nuisances olfactives (stagnation d'eau, putréfaction de végétaux,...) par défaut de réalisation ou manque d'entretien ; Assurer une gestion appropriée afin de prévenir l' eutrophisation du bassin (suppression des aérateurs), la prolifération de moustiques, de grenouilles,... ; Dépôts de flottants
Bassin enterré	Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation des particules ; Ils sont enterrés et donc discrets. ; La surface au sol reste disponible et permet d'autres usages (parking, voirie, espace vert,...) ; Mise en œuvre des bassins individuels aisée (éléments souvent préfabriqués) ; Possibilité de réutilisation des eaux si le volume disponible du bassin est supérieur au volume de réten tion utile.	Réalisation plus coûteuse ; Faible valeur ajoutée à l'aménagement de l'opération (pas d'intégration paysagère) ; Risques de nuisances olfactives (stagnation d'eau, putréfaction de végétaux,...) par défaut de réalisation ou manque d'entretien ; Risques pour la sécurité du personnel d'exploitation (risque de formation de poches de gaz) ; Difficultés d'accessibilité et donc d'entretien (curage et nettoyage).
Bassins d'infiltration	Très bonne intégration paysagère de part leur aspect plurifonctionnel (espaces verts, aire de jeu, aire de détente...) ; Conservation d'espaces verts en zone urbaine (zones humides pouvant abriter une faune et une flore) ; Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation dans le bassin puis par « filtration » par interception dans le sol ; Réalimentation des nappes phréatiques ; Sensibilisation du public par visualisation directe du problème du traitement des eaux pluviales.	Emprise foncière pouvant s'avérer importante ; Dépôts de boues de décantation qu'il faut évacuer lorsque leur quantité induit une modification du volume utile de réten tion ; Dépôts de flottants ; Dépend de la nature des eaux retenues dans le bassin ; Risques de stagnation d'eau ; Nécessité d'une conception soignée et d'un entretien régulier ; Possible contamination des nappes phréatiques par une éventuelle pollution accidentelle (en zone à risque).
Surdimensionnement de réseau	Réduction des débits de pointe à l' exutoire ; Emprise foncière très faible ; Implantation possible sous voiries, parkings, espaces verts,... ; Conception et réalisation aisées, connues (pose d'un réseau pluvial) ; Entretien classique des canalisation d'eaux pluviales (manuel, curage, hydrocurage,...) ; Pas de contraintes particulières pour les riverains.	Solution tributaire de l'encombrement des sols ; Volume de stockage relativement limité ; Altimétrie de raccordement peut être difficile suivant le site ; Investissement non valorisable (pas de plurifonctionnalité, pas d'intégration paysagère,...) ; Aspect dépollution inexistant.

TABLE 2.2 – Récapitulatif des avantages /inconvénients de chaque technique alternative(suite)

Structures réservoirs	Réduction des débits de pointe vers les exutoires ; Ouvrages enterrés donc discrets ; Insertion en milieu urbain sans consommation d'espace vert ; La surface au sol reste disponible (Implantation possible sous des voiries, des parkings,...) ; Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation et « filtration » par interception des particules au travers de la structure (dépendant du type de structure) ; Réalimentation des nappes phréatiques (si infiltration).	Risque de colmatage de la structure ; Entretien difficile ; Conception souvent coûteuse (surtout pour les modèles « préfabriqués »). Solution tributaire de l'encombrement des sols ; Pour les structures réservoirs infiltrantes risque de pollution de la nappe ; Risques de stagnation d'eau par défaut de réalisation ou manque d'entretien ; Difficilement applicable pour des terrains naturels à forte pente.
Tranchées drainantes / infiltrantes	Réduction des débits de pointe et des volumes s'écoulant vers les exutoires ; Réalimentation des nappes phréatiques (si infiltration) ; Technique peu coûteuse ; Mise en œuvre facile et maîtrisée ; adaptées aux terrains plats dont l'assainissement pluvial est difficile à mettre en place ; Peuvent être couplées avec d'autres TA .	Risque de colmatage ; Risques de stagnation d'eau, par défaut de réalisation ou manque d'entretien ;, surtout pour les tranchées le long des voies circulées et arborées ; Nécessité d'un entretien régulier spécifique ; Difficilement applicable pour des terrains naturels à forte pente ou bien l'encombrement du sous-sol ; Risque de pollution de la nappe.
Puits d'infiltration / d'injection	Faible emprise au sol et la possibilité de réutiliser la surface en parking, route ; Technique bien adaptée au milieu urbain dense où l'assainissement est difficile à mettre en œuvre ; Large utilisation, de la simple parcelle aux espaces collectifs ; Réduction des débits de pointe et des volumes s'écoulant vers les exutoires ; Possibilité de coupler le puits avec d'autres techniques alternatives ; Contribution à l'alimentation de la nappe phréatique, avantages liés à l'infiltration.	Risque de pollution du sol et de la nappe ; Risque de colmatage du puits ; Risques de stagnation d'eau par défaut de réalisation ou manque d'entretien ; Les puits d'infiltration sont à une distance minimale de 2 m par rapport à toute plantation (arbres) afin d'éviter la pénétration des racines dans la structure et à plus de 5 m des bâtiments.
Noue / Fossé	Fonctions multiples de rétention, régulation et écrêtement qui limitent les débits de pointe à l'aval ; Intégration paysagère et création d'espaces verts ; Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation et « filtration » par interception dans le sol ; Réalimentation des nappes ; Réalisation possible par phase, selon les besoins en stockage ; Entretien simple et classique (type espace vert) .	Risques de nuisances olfactives (stagnation d'eau) par défaut de réalisation ou manque d'entretien ; Il peut présenter un risque pour les riverains et pour les enfants en particulier ; Nécessité d'un entretien régulier ; risque de pollution du sol (si infiltration) ; dépôts de boues de décantation à évacuer lorsque leur quantité induit une modification du volume utile de rétention.
Toit stockant	Procédé de stockage immédiat et temporaire à la parcelle ; Réduction des débits de pointe s'écoulant vers les exutoires ; Mise en œuvre ne demandant pas de technicité particulière. Ils ne nécessitent donc pas d'ouvrage de collecte.	Volumes stockés très limités ; Obturation des systèmes d'évacuation par des feuillages ou des branchages ; Risque pour la sécurité, garantir une parfaite étanchéité, risques de stagnation d'eau par défaut de réalisation ou manque d'entretien ; Difficile à mettre en place pour des toits de pente importante.

2.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté une description aussi générales de la plus parts des TA de GEPMU, certes, il n'existe pas de technique idéale et le choix d'une technique pour la GEPLU peut dépendre d'autres facteurs. L'utilisation de ces TA pour la gestion des eaux pluviales urbaines demande à l'homme d'étude la construction d'un guide méthodologique destiné aux acteurs ou décideurs, dans le but de facilité de prendre la décision sur un ensemble d'action proposé répond à certaine critères. Le chapitre suivant présentera la méthode d'aide à la décision répondre à ces situation.

Chapitre 3

Aide multicritère à la décision

3.1 introduction

Le développement des TA de gestion (à la source, dans le réseau et en aval) des eaux pluviales en milieu urbain a ainsi permis de lutter contre les problèmes d'inondations et de pollution. Du fait de la diversité de ces TA, des contraintes d'application et des critères de différentes nature, les hydrauliciens se trouvent confrontés à un problème multi-objectifs d'une part, et d'autre part, d'aider un décideur de prendre son avis dans le cas d'un projet de GEPMU. Dans ce chapitre, nous présentons la problématique et les principes de base d'aide à la décision, après on donnera la définition et le principe de base de la méthode d'aide multicritère à la décision ELECTRE III.

3.2 L'aide à la décision

3.2.1 Définition

L'aide à la décision multicritère se présente comme une alternative aux méthodes d'optimisation classiques. L'approche classique des problèmes de décision, c'est-à-dire l'optimisation d'une unique fonction, souvent exprimée en terme économique (monétaire), montre certaines faiblesses (limites) dans le cas d'une approche multicritère, auxquelles les méthodes multicritère semblent largement répondre.[\[37\]](#)

L'intérêt des méthodes multicritère est de considérer un ensemble de critères de différentes natures (exprimés en unités différentes), sans nécessairement les transformer en critères économiques, ni en une fonction unique.

Le domaine de l'aide à la décision s'est alors naturellement installé pour définir des modèles de décision formelles dans l'intention d'aider un individu ou un ensemble d'individus (que l'on appelle décideurs) à décider. Il ne s'agit pas de rechercher un optimum, mais une solution compromis qui peut prendre diverses formes : choix, affectation ou classement.

3.2.2 Problématique d'Approche multicritère d'aide à la décision

La problématique est l'une des premières étapes du processus d'aide à la décision, qui utilise un ensemble d'informations disponibles à une situation donnée, afin de formuler un problème et aboutir à une décision sur un objet précis. En décision multicritère, Roy et Bouyssou [1993] distinguent quatre types principaux de problématique d'aide à la décision : le choix (α), le tri (β), le rangement (γ) et la description (δ).

Problématique de choix : le problème est de fournir au décideur la ou les meilleures actions. La procédure d'investigation est une procédure de sélection.

Problématique de tri : le problème est d'affecter les actions potentielles à des catégories préalablement définies. La procédure d'investigation est une procédure de segmentation.

Problématique de rangement : le problème est de ranger les actions de la meilleure à la moins bonne, des ex aequo étant possibles. La procédure d'investigation est une procédure de classement.

Problématique de description : le problème est simplement de décrire dans un langage approprié toutes les actions potentielles et leurs conséquences. La procédure d'investigation est une procédure cognitive. [34]

3.2.2.1 Problématique de choix

La problématique est d'aider à choisir une "meilleure" action ou à élaborer une procédure de sélection. D'un point de vue mathématique, la problématique du choix consiste à poser le problème en terme de recherche d'un sous-ensemble propre des actions de A , de cardinal aussi faible que possible et contenant la ou les meilleures actions. C'est par exemple le cas de la problématique de l'optimisation qui consiste à rechercher les actions qui maximisent une fonction objective. [30]

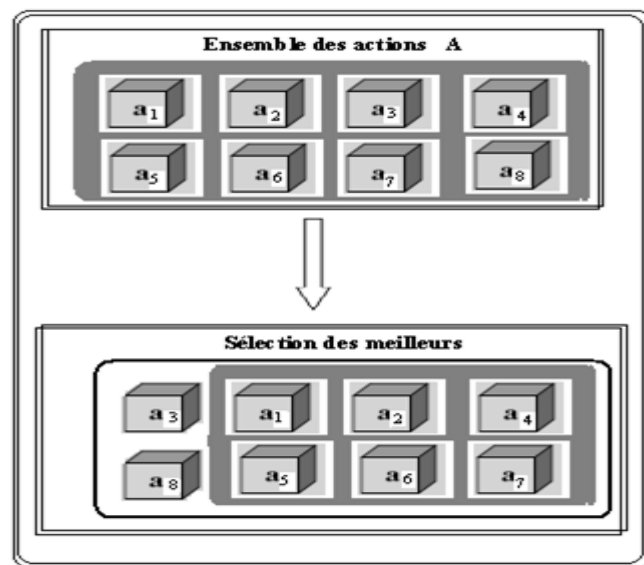


FIGURE 3.1 – Sélection des meilleurs actions(Problématique de choix)

3.2.2.2 Problématique de tri

c'est d'aider à trier les actions d'après des normes ou à aider à élaborer une procédure d'affectation. Cette formulation nécessite d'avoir préalablement défini ou délimité un certain nombre de catégories d'actions. La problématique du tri consiste alors à rechercher un protocole d'affectation, permettant de distribuer les actions de A sur l'ensemble des catégories prédéfinies.[30]

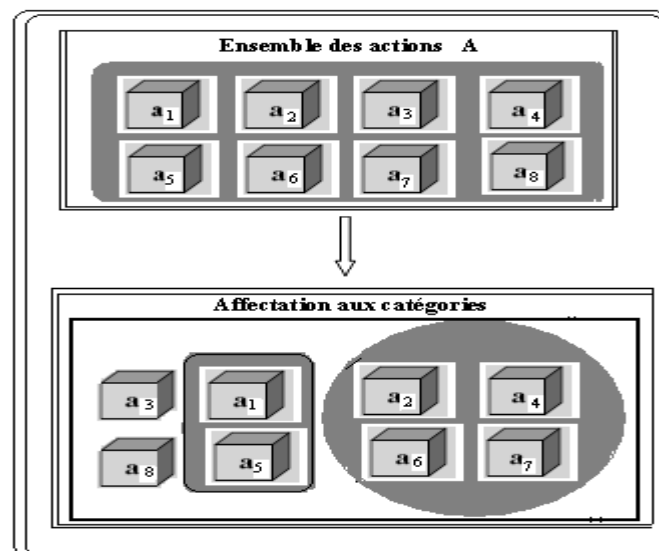


FIGURE 3.2 – Affectation aux catégories (Problématique de tri)

3.2.2.3 Problématique de rangement

c'est d'aider à ranger les actions selon un ordre de préférence décroissant, ou aider à élaborer une procédure de classement. D'un point de vue mathématiques, la problématique du rangement consiste à poser le problème en terme de recherche d'une relation binaire transitive, définie sur A (ou sur une partie de A), relation reflétant aussi fidèlement que possible les préférences exprimées ou plus simplement, susceptible d'entraîner une conviction dans le cadre des hypothèses de travail acceptées.[30]

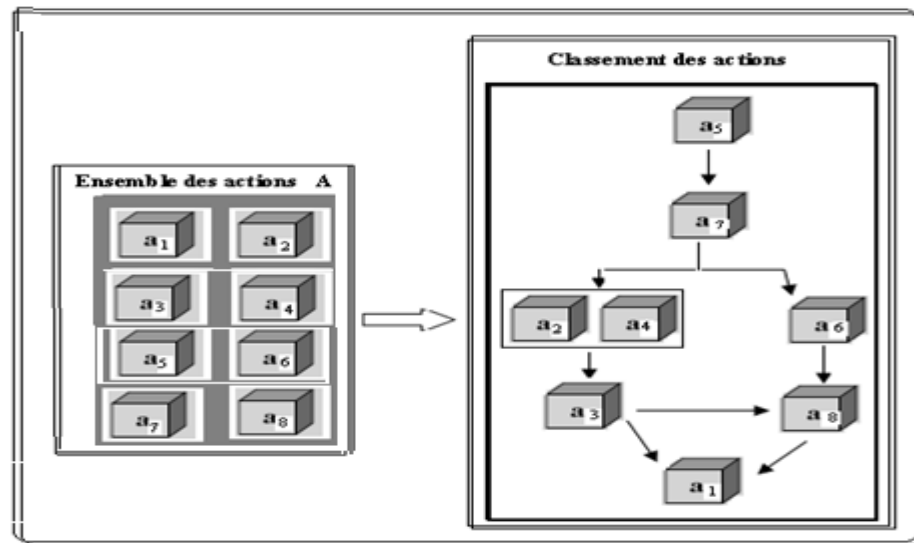


FIGURE 3.3 – classement des actions

3.2.2.4 Problématique de description

La problématique δ est de poser le problème en termes limités à une description des actions de l'ensemble A et /ou de leurs conséquences, c'est-à-dire à orienter l'investigation vers la mise en évidence d'informations relatives aux actions potentielles conçues en vue d'aider directement le décideur à les découvrir.[30]

3.2.3 Principes de base d'aide à la décision

3.2.3.1 Acteur et décideur

Bernard ROY [1985, p.42] définit un acteur du processus de décision comme suit : "un individu (ou un groupe d'individus) est acteur d'un processus de décision si, par son système de valeurs, que ce soit au premier degré du fait des intentions de cet individu (ou groupe d'individus) ou au second degré par la manière dont il faut intervenir ; il influence directement ou indirectement la décision. De plus, pour qu'un groupe d'individus (corps constitué ou collectivité) soit identifié comme un seul et même acteur, il faut que, relativement au processus, les systèmes de valeurs, systèmes informationnels et réseaux relationnels des divers membres du groupe n'aient pas à être différenciés".[9]

Décideur : c'est la personne à qui s'adresse l'aide à la décision. Il occupe une position centrale dans le processus. L'identifier, c'est préciser les objectifs au service desquels il est normalement placé (même s'il s'agit souvent d'une entité un peu mythique). Il désigne en dernier ressort l'entité qui apprécie le "possible" et les finalités, exprime les préférences et est censé les faire prévaloir dans l'évolution du processus.

3.2.3.2 Action

Une action potentielle est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins, [Roy et Bouyssou, 1993]. Au terme d'action se substitue parfois celui d'alternative ou bien de solution. Une action réelle est issue d'un projet complètement élaboré, pouvant être mis à exécution. Parallèlement, une action fictive correspond à un projet idéalisé, non complètement élaboré. Il est important à ce stade de définir l'objectif principal recherché. En effet, l'analyse multicritère peut apporter divers types d'aides, parmi lesquelles Barraud et Al. [2001] distinguent :

La comparaison des performances de solutions ou d'améliorations potentielles pour un même site ; L'étude de la performance d'un ouvrage à travers d'indicateurs de performance permettant de faire le suivi et éventuellement de juger de l'amélioration possible de l'ouvrage en terme de structure et de gestion ; la comparaison des performances de solutions en différents sites.

L'ensemble A des actions potentielles est stable s'il remplit les conditions de stabilité interne (compte tenu de sa conception interne, la phase d'étude ne remet pas en cause la définition initiale de l'ensemble A des actions potentielles) et externe (compte tenu du contexte extérieur, les recommandations résultantes de la phase d'étude n'ont pas pour conséquences de modifier l'ensemble A des actions potentielles) [Roy et Bouyssou, 1993]. [9]

3.2.3.3 Les critères

un critère est une fonction à valeur réelle définie sur l'ensemble A des actions potentielles qui rend possible la comparaison de deux actions a et b à partir des valeurs $g(a)$ et $g(b)$ de sorte que $g(a) \geq g(b) \Rightarrow a S_g b$ signifie "a est au moins aussi bon que b" relativement à l'axe de signification du critère g. [34] [34] Un critère est défini par :

Un nom : il sert à identifier le critère.

Une définition : elle sert à la bonne compréhension, par tous, de la signification du critère, notamment lorsque le nom de celui-ci, lapidaire pour des raisons pratiques, est peu informatif.

Une unité et une échelle : l'unité et l'échelle dépendent de l'information disponible sur le critère considéré, selon qu'elle soit cardinale ou ordinale.

Cardinale : l'information est reliée à une unité "naturelle" et peut être manipulée d'une manière correcte au moyen des quatre opérations de base (addition, soustraction, multiplication et division).

Ordinale : l'information est fournie sous forme d'une note, en général obtenue à partir d'une expression verbale, par exemple l'avis d'un expert. L'échelle est bornée aux deux extrémités -par un minimum et un maximum- et son étendue est fixée arbitrairement.

Un sens de la préférence : il convient de préciser si le critère doit être à minimiser (une bonne performance correspond à une valeur basse) ou à maximiser (une bonne performance correspond à une valeur élevée).^[5]

Exemple Selon Roy (1985), un critère est défini alors comme suit : Critère i : <Nom, Définition, Unité, Echelle, Préférence>.

Prenons l'exemple de AMGEPU qu'il faut ranger de la meilleure à la moins bonne selon ces critères :

Critère 1 : <coût, coût de réalisation, Mda, cardinale, min>.

Critère 2 : <coût, coût d'entretien, Mda, cardinale, min>.

Critère 3 : <dépollution, retenu de la pollution, note, ordinale, max>.

3.2.4 Matrice des performances

Les données d'entrée de l'analyse multicritère sont synthétisées dans un tableau à double entrée désigné sous le nom de matrice des performances (ou matrice des alternatives) (Figure 3.4). L'évaluation de la performance de l'action a_i pour le critère j est classiquement notée $g_j(a_i)$. De façon générale, le processus d'évaluation des performances des actions au regard de l'ensemble des critères peut se faire selon plusieurs modes, laissant plus ou moins au décideur la possibilité d'exprimer ses préférences :

La notation : attribution d'une note sur une échelle de valeurs ;

L'évaluation numérique : quantification numérique d'un impact ou d'une valeur.

Des méthodes ont été proposées pour pouvoir intégrer ces deux types d'informations à travers une même matrice [Hinloopen et Al., 2004].

Critère					
		J_1	j_2	...	J_n
Technique Alternative	T_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_n(a_1)$
	T_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_n(a_2)$
	...	...	...	...	...
	T_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_n(a_n)$

FIGURE 3.4 – Structure de la matrice des performances

Remarque : dans la figure précédente, la technique alternative T_i est une action a_i .

3.2.5 Méthode d'aide multicritère à la décision

Le rôle d'une MAMD est d'aider le décideur à comprendre et identifier les critères fondamentaux dans le problème de décision afin d'éviter des décisions inappropriées. A travers les années, plusieurs méthodes ont été développées dans la littérature. Ces méthodes sont répandues dans plusieurs domaines. Certaines ont été fondées particulièrement pour des problèmes spécifiques. D'autres sont plus universelles et plusieurs d'entre elles sont très populaires dans différents domaines. L'idée majeure de toutes ces méthodes est de créer un processus d'aide à la décision plus formalisé et mieux informatif.

Pour choisir une MAMD, plusieurs critères sont à considérer (Loken, 2007). Il faut tout d'abord chercher une méthode valide, c'est-à-dire celle qui reflète le mieux les "valeurs justes" du décideur. Ensuite, la méthode choisie doit fournir au décideur toutes les informations dont il a besoin tout en étant appropriée dans le sens d'être compatible avec les données accessibles. Enfin, elle doit être facile à utiliser et à comprendre. En fait, si le décideur n'arrive pas à comprendre ce qui se passe dans la méthodologie, il la percevra comme une boîte noire.

Garcia-Cascales et Lamata (2007) ont classé les MAMD selon deux écoles : l'école européenne et l'école américaine. Alors que Belton et Stewart (2002) ont partagé dans leur ouvrage ces méthodes en trois groupes : les modèles de mesure de la valeur, les modèles de but, aspiration et niveau de référence et les modèles de sur-classement. Roy (1985) a classé ses méthodes en trois familles, selon l'approches opérationnelles :

- Approche du critère unique de synthèse, évacuant toute incomparabilité.
- Approche du sur-classement de synthèse, acceptant l'incomparabilité.
- Approche du jugement local interactif avec itérations essai-erreur

3.2.6 Approche du critère unique de synthèse

Cette approche est d'inspiration américaine où les préférences locales (c'est-à-dire au niveau de chaque attribut) sont agrégées en une fonction de valeur ou d'utilité unique qu'il s'agit ensuite d'optimiser. Les travaux relatifs aux méthodes multicritère appartenant à cette approche s'intéressent aux conditions d'agrégation, aux formes particulières de la fonction agrégeant et aux méthodes de construction de ces fonctions aussi bien au niveau local que global. Les principales méthodes sont : Analytic Hierarchy Process (AHP), Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH).[9]

3.2.7 Approche du surclassement de synthèse

Cette dernière permet de ranger toutes les actions de la meilleure à la moins bonne. B. Roy a fondé l'approche de surclassement qui accepte l'incomparabilité et l'intransitivité à la faveur de la clarté des résultats. Cette approche, d'inspiration française, cherche, en premier lieu à construire des relations binaires, appelées relations de surclassement. ces relations sont exploitées dans le but d'aider à formuler une recommandation qui peut apporter une réponse au problème de décision. Roy (1974) définit une relation de surclassement comme étant " une relation binaire S définie dans A telle que aSb si, étant donné ce que l'on sait des préférences du décideur et étant donné la qualité des évaluations des actions et la nature du problème, il y a suffisamment d'arguments pour admettre que a est au moins aussi bonne que b , sans qu'il y ait de raison importante de refuser cette affirmation ". Cette approche renferme plusieurs méthodes dont les principales sont : Elimination Et Choix Traduisant la REalité I, II, III et IV (ELECTRE I, II, III et IV)et Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations I et II (PROMETHEE I et II).[9]

3.2.8 Approche interactive

Dans les méthodes précédentes, le décideur n'intervient que dans la définition du problème en donnant son ensemble de choix, ses préférences selon chaque attribut et sa problématique. Dans l'approche interactive, le décideur contribue directement à la construction de la solution en intervenant dans la méthode. Ainsi, le décideur peut apporter de l'information au fur et à mesure que le processus d'analyse multicritère se déroule. Une méthode interactive consiste donc en une alternance d'étapes de calculs et d'étapes de dialogue avec le décideur. Une première solution est obtenue avec la première étape de calculs. Face à cette solution, le décideur réagit en enrichissant ses préférences lors de l'étape de dialogue. Les informations supplémentaires sont injectées dans le modèle utilisé et permet d'obtenir une nouvelle solution. Parmi : méthode de Geoffrion, méthode du point de mire et méthode du point de référence.[9]

3.3 Méthode multicritère ELECTEE III

3.3.1 Définition

La méthode Élimination et Choix Traduisant la Réalité III (ELECTRE III) a été proposée par Roy (1978). Son objectif est de comparer et de classer des actions potentielles dont les performances sont connues sur un ensemble de critères. Elle est basée sur la construction d'un surclassement floue, l'élaboration de deux classements antagonistes et la synthèse selon un classement final.

3.3.2 Principe de la méthode

Le principe de la méthode est le suivant. La matrice des évaluations des performances des différentes actions potentielles ayant été établie, les critères définis et pondérés (importance relative des critères les uns par rapport aux autres), les actions sont alors comparées deux à deux (agrégation partielle) à partir d'une relation de surclassement.

ELECTRE III utilise à ce niveau la notion de "pseudo critère". Chacun des critères est caractérisé par : un seuil d'indifférence (q) et un seuil de préférence stricte (p) permettant de distinguer une préférence faible et une préférence stricte. Le seuil d'indifférence est défini de manière à tenir compte de l'incertitude qui entache les évaluations sur ce critères ou représente l'écart jugé insignifiant pour pouvoir faire une différence entre deux actions. Un troisième seuil est utilisé (le seuil de veto) qui est la limite au-dessus de laquelle deux actions sont considérées comme non comparables même si une des actions est en grande majorité meilleure que l'autre sur les autres critères.

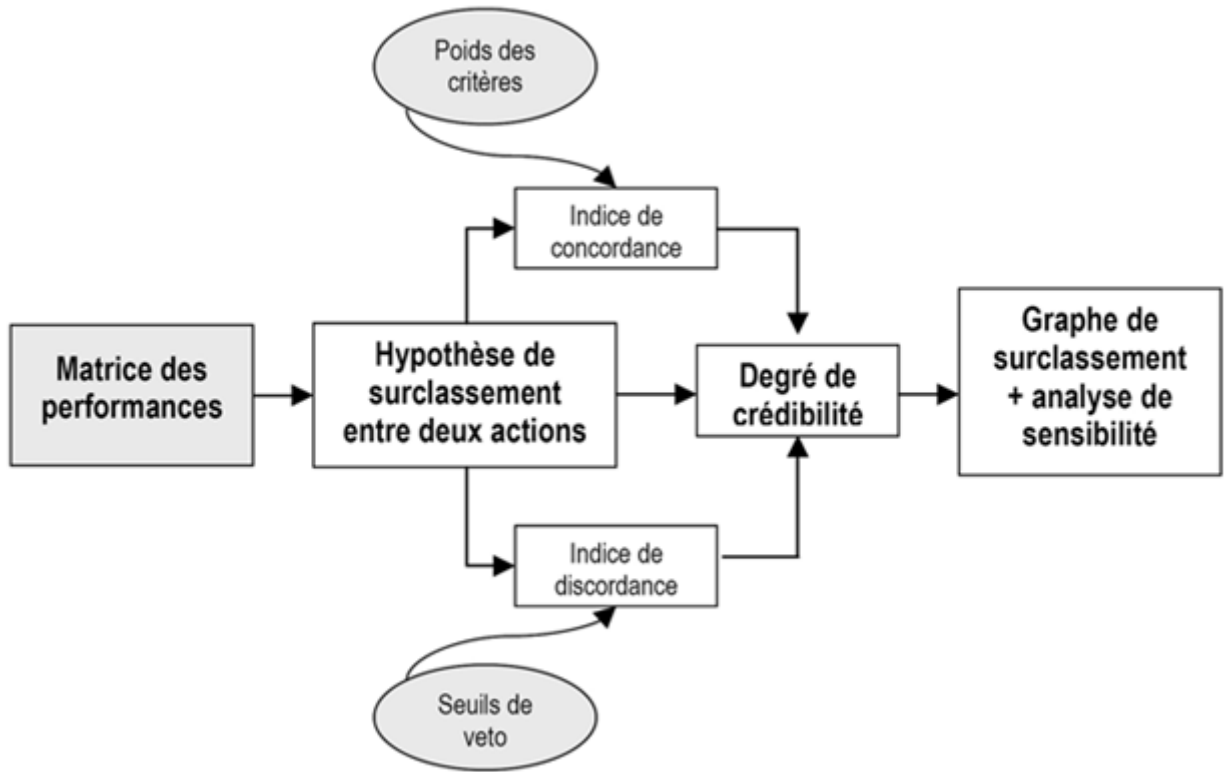


FIGURE 3.5 – Algorithme d'ELECTREIII

3.3.3 Pseudo-critère

Un pseudo-critère est une fonction dont le pouvoir discriminant est caractérisé par deux seuils $q(g)$ et $p(g)$ de la façon suivante :

$\forall a_i, a_k \in A :$

- a_i, a_k sont indifférentes quand la déférence entre les performances des deux actions est inférieure au seuil d'indifférence.
 $(a_i I a_k) \Leftrightarrow g_j(a_i) - g_j(a_k) \leq q_j(g_j(a_i))$
- a_i est faiblement préférée à a_k quand la déférence entre les performances des deux actions est comprise entre les seuils d'indifférence et de préférence :
 $(a_i Q a_k) \Leftrightarrow q_j(g_j(a_i)) \leq g_j(a_i) - g_j(a_k) \leq p_j(g_j(a_i))$
- a_i est strictement préférée à a_k quand la déférence entre les performances des deux actions est supérieure au seuil de préférence stricte :
 $(a_i P a_k) \Leftrightarrow p_j(g_j(a_i)) \leq g_j(a_i) - g_j(a_k)$

Pour un critère j , lorsque l'action a_i est moins bonne que l'action a_k , on regarde si la déférence entre les performances des actions a_i et a_k dépasse le seuil de veto v_j , c'est-à-dire un seuil au-delà duquel il est prudent de refuser toute crédibilité au surclassement de

l'action a_i par l'action a_k .

Le surclassement de l'action a_i par a_k n'est plus possible, même s'il existe sur tous les autres critères dans les conditions de l'équation suivante :

$$\text{non } (a_i S a_k) \Leftrightarrow g_j(a_i) - g_j(a_k) \geq v_j(g_j(a_i))$$

Les seuils d'indifférence q et p peuvent être considérés respectivement comme l'incertitude minimale et maximale liée à l'évaluation des performances [Maystre et Al., 1994]. Les seuils q_j , p_j et v_j peuvent être définis comme une constante ou comme une fonction (pourcentage par exemple) de la performance g de l'action considérée.

3.3.4 Indice de concordance

En matière d'indices, ELECTRE III utilise deux indices pour la concordance :

3.3.4.1 L'indice de concordance par critère

Cet indicateur affirme dans quelle mesure l'action a_i est au moins aussi bonne que l'action a_k , pour le critère j . Il est noté $c_j(a_i, a_k)$ et défini comme suit (voir figure)

$$\begin{aligned} c_j(a_i, a_k) &= 0 \Leftrightarrow p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \\ 0 < c_j(a_i, a_k) < 1 &\Leftrightarrow q_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j \\ c_j(a_i, a_k) &= 1 \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq q_j \end{aligned}$$

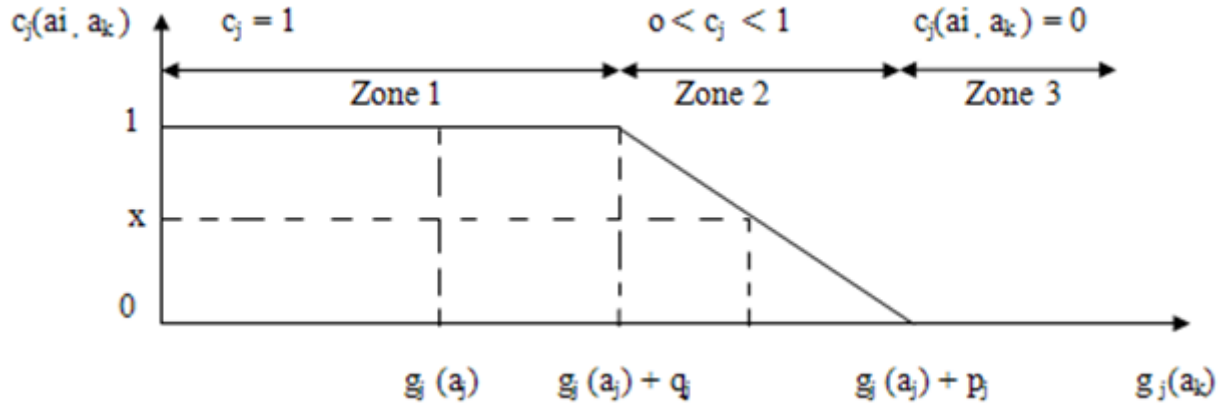


FIGURE 3.6 – Construction d'un indice de concordance

3.3.4.2 L'indice de concordance global

L'indice global de concordance C_{ik} , indique dans un temps l'importance de l'affirmation a_i Surclasse l'action a_k , c'est-à-dire cet indicateur affirme dans quelle mesure il y a concordance avec l'hypothèse " l'action a_i surclasse l'action a_k ". Deux actions sont d'autant plus concordantes que l'indice de concordance est fort. Il est défini par la formule suivante :

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot c_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m P_j} \quad (3.1)$$

Avec : P_j : poids du critère j .

3.3.5 Indice de discordance

Contrairement à l'indice de concordance, deux actions sont d'autant plus discordantes que l'indice de discordance est fort. La notion de discordance a pour objectif d'affaiblir la relation de concordance définie ci-dessus. Le moyen d'exprimer cette discordance est ici le seuil de veto ; le seuil de veto pour chaque critère j , noté v_j , est, par définition, la valeur de la différence $g_j(a_k) - g_j(a_i)$ à partir de laquelle il apparaît prudent de refuser toute crédibilité au surclassement de l'action a_k par l'action a_i , même si tous les autres critères sont en concordance avec ce surclassement.

L'indice de discordance est évalué à partir des seuils de préférence p_j et de veto v_j . Il est noté $d_j(a_i, a_k)$ et s'exprime sous la forme :

$$\begin{aligned} d_j(a_i, a_k) &= 1 \Leftrightarrow v_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \\ 0 < d_j(a_i, a_k) < 1 &\Leftrightarrow p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq v_j \\ d_j(a_i, a_k) &= 0 \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j \end{aligned}$$

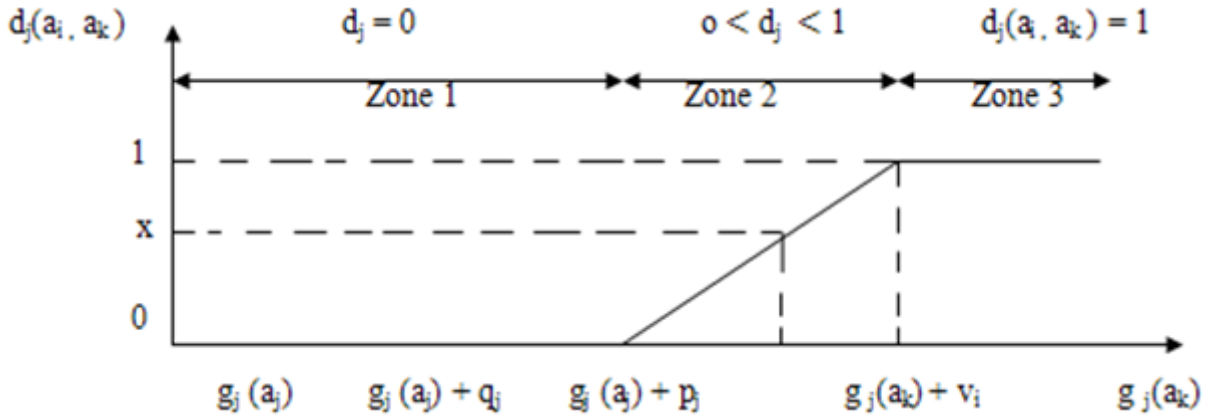


FIGURE 3.7 – Construction d'un indice de discordance

3.3.6 Relation de surclassement floue

Dans ELECTRE III, il y a toujours une relation de surclassement qui est établie entre deux actions potentielles ; mais cette relation est "floue" car il existe des couples où elle paraît indiscutable et des couples où elle paraît très peu convaincante. Cette possibilité variant d'un couple à l'autre est exprimée par un indice associé à chaque surclassement, le degré de crédibilité du surclassement :

$$\delta_{ij} = C_{ik} \cdot \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a_i, a_k)}{1 - C_{ik}} \quad (3.2)$$

C_{ik} : Indice de concordance global
 $\bar{F}$: sous ensembles de la famille F

Ou δ_{ij} est l'indice de concordance globale et $\bar{F}$ le sous ensemble de la famille F qui a comme éléments les critères pour lesquels l'indice de discordance est supérieur à l'indice de concordance globale :

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

Le degré de crédibilité δ_{ij} n'est autre que l'indice de concordance C_{ik} affaibli par les indices de discordance $d_j(a_i, a_k)$. Le degré de crédibilité δ_{ij} n'est autre que l'indice de concordance C_{ik} affaibli par les indices de discordance $d_j(a_j, a_k)$, mais $d_j(a_j, a_k)$ contribue à cet affaiblissement si et seulement si il est supérieur à C_{ik} . En effet, l'indice de concordance est un bon reflet de la crédibilité du surclassement et aussi longtemps que les indices de discordance ont des valeurs faibles par rapport à celle de l'indice de concordance, ce dernier continué à représenter correctement cette crédibilité.

Remarque

S'il existe au moins un critère j tel que $d_j(a_i, a_k) = 1$, alors le degré de crédibilité δ_{ij} sera nul, quelle que soit l'importance relative de ce critère : $\{\exists j \in F : d_j(a_i, a_k) = 1 \leftrightarrow \delta_{ij} = 0\}$

Lorsque l'indice de concordance globale égale à l'unité, alors ceci implique que tous les indices de discordance sont nuls et que le degré de crédibilité est aussi égal à l'unité :

$$C_{ik} = 1 \leftrightarrow \{ d_j(a_i, a_k) = 0, \forall j \in F \}$$

3.3.7 Exploitation de la relation de surclassement floue

Le but de cet algorithme est, en se fondant sur la relation de surclassement floue, d'arriver à un classement des actions. Mais comment distinguer les relations de surclassement qui doivent être prises en compte à chaque étape du classement ?

Il existe un moyen qui permet de sélectionner les relations de surclassement : le seuil de discrimination, noté $s(\lambda)$. ainsi, avant d'aborder l'algorithme de classement proprement dit, il faut introduire cette nouvelle notion.

3.3.8 Seuil de discrimination

Le but de crédibilité sert à apprécier la plus ou moins grande crédibilité du surclassement. Mais compte tenu de la part d'arbitraire (interpolation linéaire notamment) que recèle la formule définissant ce degré, la signification des valeurs du degré de crédibilité ne peut pas être absolue.

Autrement dit, il n'est pas possible d'admettre que, dès l'instant où $\delta_{ij} > \delta_{em}$, le surclassement de a_k par a_i est strictement plus crédible que le surclassement de a_m par a_e . Pour pouvoir distinguer si tel surclassement est plus crédible que tel autre, il serait opportun d'introduire un seuil, le seuil de discrimination.

Le seuil de discrimination $s(\lambda)$ est une fonction, définie pour toute valeur de $\lambda \in [0,1]$ qui vérifie :

Si $\delta_{ij} = \lambda$ et $\delta_{em} = \lambda - \eta$, avec $\eta > s(\lambda)$ alors le surclassement de a_k par a_i est strictement plus crédible que le surclassement de l'action a_m par a_e .

Remarque

Le seuil de discrimination peut être une constante. Mais afin de ne pas appauvrir inutilement l'information apportée par la relation floue, il sera souvent justifié de choisir une fonction décroissante avec λ : alors que 0.1 et 0.4 peuvent être considérées comme deux valeurs non significativement différentes, 0.7 et 1 peuvent fort bien l'être.

3.3.8.1 Principe de l'algorithme

Comme pour ELECTRE II, l'objectif visé ici, dans une première étape, est de construire deux préordres différents. Ces deux préordres seront complets, c'est-à-dire que toute action a_i , apparaîtra comme strictement préférée aux actions moins bien classées qu'elle, tandis que les actions mieux classées seront strictement préférées à a_i .

Les définitions suivantes se trouvent à la base de l'algorithme de classement de la méthode :

Puissance d'une action a_i , notée $p(a_i)$: nombre des actions auxquelles elle est strictement préférée.

Faiblesse d'une action a_i , notée $f(a_i)$: nombre des actions qui lui sont strictement préférées.

Qualification d'une action a_i , notée $q(a_i)$: $q(a_i) = p(a_i) - f(a_i)$.

La quantité $q(a_i)$ apparaît donc comme un indicateur dont la valeur est caractéristique de la position de a_i , dans le préordre.

ELECTRE III est fondée sur une généralisation de cette notion de qualification. Cette généralisation permet d'adopter le concept de base aux besoins de la relation de surclassement floue. Pour déterminer le nombre des actions strictement préférées à a_i , il faut faire intervenir un seuil λ tel que seuls les surclassements dont la crédibilité est supérieure à ce seuil ont lieu d'intervenir dans le dénombrement. Ceci conduit à définir un concept de λ qualification.

Le processus itératif consistant à rechercher un sous-ensemble d'actions de plus en plus réduit, ayant une qualification maximale pour des paliers de plus en plus bas, est appelé

distillation descendante. En réalité, il s'agit d'une chaîne de distillations descendantes. Lorsque la progression se fait dans l'autre sens, en prenant appui sur les actions de λ qualification minimale, une distillation ascendante est définie.

3.3.8.2 Description de l'algorithme

Soit λ_0 la valeur maximale qu'atteint le degré de crédibilité : $\lambda_0 = \max (\delta_{ij})$

L'algorithme procède en abaissant progressivement un seuil λ depuis λ_0 jusqu'à 0, en passant par des paliers successifs ; la détermination de ces derniers repose sur un concept de niveau de séparation.

Soit λ_0 un niveau de séparation défini comme :

$$\lambda_1 = \lambda_0 - s(\lambda_0)$$

Ne seront retenus de la relation de surclassement floue que les arcs (a_i, a_k) pour les quels : $(\delta_{ij}) > \lambda_1$

Ensuite, une relation de surclassement triviale $S(\lambda_1, A)$ est établie, définie par :

$$a_i S(\lambda_1, A) a_k \leftrightarrow \delta_{ij} > \lambda_1 \text{ et } \delta_{ij} > \delta_{ki} + s(\delta_{ij})$$

Autrement dit, l'assertion "l'action a_i , surclasse l'action a_k ", ne sera prise en compte que si elle est significativement plus crédible que l'assertion "l'action a_k surclasse l'action a_i ".

Pour toute action a_i , et à partir de la relation de surclassement floue, les quantités suivantes, correspondant à un nombre d'actions, sont calculées :

$$\text{La } \lambda_1 \text{ puissance : } p(\lambda_1, A) = \{ a_k \in A / a_i S a_k \}$$

$$\text{la } \lambda_1 \text{ faiblesse : } f(\lambda_1, A) = \{ a_k \in A / a_k S a_i \}$$

La λ_1 qualification de l'action a_i par rapport à l'ensemble A :

$$q(\lambda_1, A) = p(\lambda_1, A) - f(\lambda_1, A)$$

En utilisant les notions et définitions exposées ci-dessus, la procédure est maintenant prête à démarrer. L'algorithme pour la distillation descendante est décrit par la figure suivante.

Remarque

Comme il a déjà été mentionné, une "distillation descendante" est constituée d'une chaîne de distillations. A chaque distillation, une nouvelle classe d'actions est dégagée (par exemple à la $(n + i)^{\text{ime}}$ distillation, c'est la $(Cn+i)^{\text{ime}}$ classe. A l'intérieur de chaque distillation il existe plusieurs étapes ; à chaque nouvelle étape correspond un effort grandissant pour départager les ex aequo. En ce qui concerne la distillation ascendante, le même algorithme est utilisé, sauf que cette fois les actions retenues sont celles à qualifi-

cation minimale. Ceci signifie qu'au lieu de :

$$q' = \max q^{(l+1)}(a_i), a_i \in D_l$$

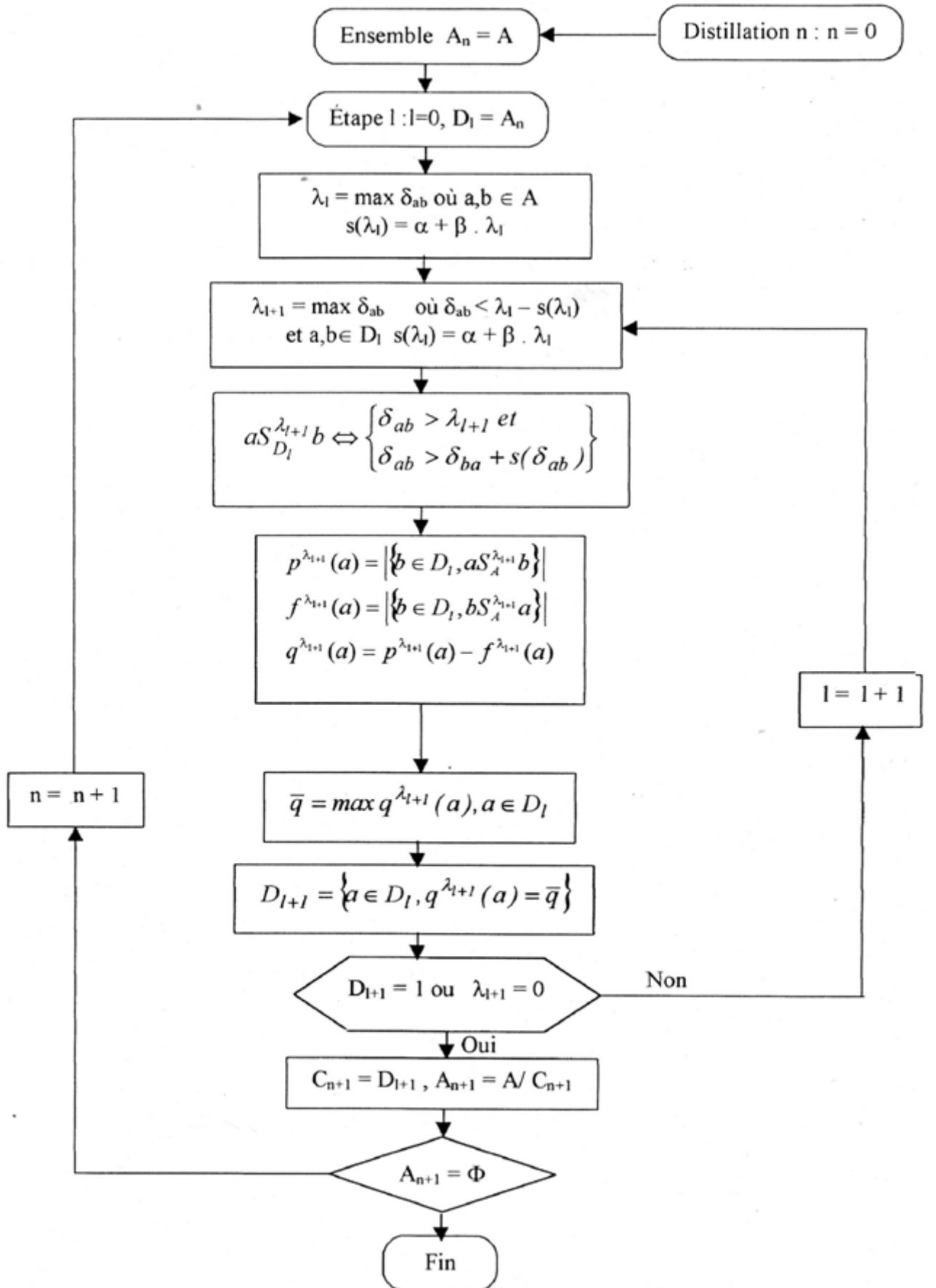
$$q'' = \min q^{(l+1)}(a_i), a_i \in D_l$$

et au lieu :

$$D_{l+1} = \{ a_i \in D_l / q(a_i) = q' \}$$

Il faudra poser

$$D_{l+1} = \{ a_i \in D_l / q(a_i) = q'' \}$$



3.3.9 Analyse de robustesse

Analyse cherchant à déterminer le domaine de variation de certains paramètres dans lequel une recommandation reste stable. Elle sert à fournir au décideur une recommandation synthétique et robuste, qui l'informe quant à la capacité de la solution proposée à résister à des variations entre la réalité et le modèle censé la représenter. [32] [23]

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'aide multicritère à la décision. Certes, il n'existe pas de méthode d'aide à la décision idéale et le choix d'une MAMCD peut dépendre de la nature du problème et de la personnalité du ou des décideurs. Dans notre travail APM-GEPU traite la troisième problématique, soit la problématique de rangement, qui nous permis de construire des relations de surclassement des actions. La méthode d'ELECTRE III sera utilisée, mais tous d'abord, nous nous développons une analyse multicritères pour la GEPU.

Chapitre 4

Analyse multicritères pour la gestion des eaux pluviales urbaines

4.1 Introduction

L'objectif de ce travail est de faire une approche multicritère pour la gestion des eaux pluviales en milieu urbaine. L'outil principal utilisé pour atteindre cet objectif est une analyse multicritère basée sur les éléments suivants : -la nature du projet, les caractéristiques générales de la ville ; -le mode de vie et la responsabilité d'évacuer les eaux pluviales ; -les acteurs qui peuvent intervenir ; -les solutions ou les techniques alternatives des eaux pluviales urbaines possibles et réalisables ; -les critères de jugement ; -la méthode pondération des critères ; -la méthode multicritères choisie .

4.2 Conditions d'emploi de l'analyse multicritères

L'analyse multicritère est une science technique vouée à l'éclaircissement et la compréhension d'un problème de décision et à sa résolution. Elle devient multicritère lorsque le problème comporte plusieurs objectifs, souvent contradictoires. Analyse qui vise à expliciter une famille cohérente de critères pour permettre de concevoir, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision. [35]

Conditions d'emploi de l'analyse multicritères : ce sont les informations nécessaires concernant la ville à étudier, ces informations généralement, en globent la nature des projets, le mode de vie et la responsabilité d'évacuer les eaux pluviales .

4.2.1 Nature du projet

Elle est une information de base. Elle sert à la mise en place des techniques alternatives dans le cas de plusieurs contraintes et l'approche à obtenir. Dans le cas d'un projet futur, le coût peut être le seul critère à optimiser, il s'agit d'une approche monocritère, dans le cas contraire, plusieurs critères interviennent. A partir des objectifs scientifiques et techniques, sociaux et économiques proposés, selon les caractéristiques des activités, na-

ture de l'habitat, possibilités des débordements admissibles des réseaux, l'homme d'étude devra prendre en considération la condition d'emplois et les critères, qui pourra évoluer, notamment après négociation entre les diverses parties prenantes (architecte, urbaniste, géomètre). Dans notre travail, on va traiter un cas réel, projet actuel de la ville de Béjaia.

4.2.2 Le mode vie

Est que la population très riche, le degré de développement et la propreté dans tous les secteurs, la discipline des citoyennes et leur pensée vers la gestion quantitatif et qualitative des eaux pluviales. Éviter les solutions non adaptables, et les techniques alternatives sélectionnées en fonction du mode de vie des citoyens.

4.2.3 La responsabilité

La responsabilité d'évacuer les eaux pluviales en milieu urbain, est une information qui nous donne le degré et la possibilité d'accepter des solutions proposées par les citoyens, les acteurs et le décideur. Dans ce cas la responsabilité est locale, les acteurs, comme les propriétaires des terrains privés, les associations et les entreprises pouvant refuser d'implanter quelques techniques alternatives. Aussi dans le cas contraire, on trouve des difficultés pour gérer les eaux pluviales. En Algérie, les eaux pluviales (terrain sur lequel elles ruissellent) sont sous la responsabilité de l'état, donc la responsabilité de la gestion des eaux pluviales n'est pas locale, les propriétaires des terrains privés ou public, l'état prend en charge l'évacuation des eaux qui ruissellent sur leur territoire générale.

4.3 Les solutions

4.3.1 Contraintes pratiques des TA

La solution proposée a_i pour gérer les eaux pluviales dans un secteur donné, passe nécessairement par le choix de techniques alternatives adaptables au site d'implantation. Cette étape dépend de plusieurs facteurs, comme les contraintes pratiques. On distingue trois contraintes majeurs :

a . Contrainte naturelle

La contrainte naturelle liée au site d'implantation de chaque type de TA se limite ici à quelques paramètres clés permettant dans le premier temps de connaître les ouvrages susceptibles d'être mis en place. Comme :

a .1 La hauteur de la nappe

Pour bien protéger la nappe et le bon fonctionnement des TA, dans le cas où le débit de fuite est assuré par infiltration, les dispositifs doivent se situer en milieu non saturé et pas de risque de contaminer la nappe avec une distance minimale entre le fond de l'ouvrage d'infiltration et la hauteur maximale du toit de la nappe de 1 mètre.[6]

a .2 La topographie du terrain

Contrainte majeure. Elle conditionne la possibilité de réaliser une technique et les capacités de rétention et d'infiltration des ouvrages.

a .3 Encombrement du sous-sol

En cas de manque d'espace en surface, dont la plupart des cas, il faudra prévoir d'utiliser les techniques entrées. Mais en ville, il faudra penser aux réseaux divers (assainissement, gaz, électricité, téléphone, ...) qui sont souvent enterrés.

a.4 Capacité d'absorption du sol

Pour les TA, l'infiltration peut se produire en surface de couche supérieure, à faible profondeur ou vers des horizons plus profonds. Il faudra particulièrement vérifier ensuite que les surfaces d'infiltration envisagées sont compatibles avec le débit de fuite et surtout que la capacité d'absorption est bien celle qui a été estimée lors de la faisabilité.

a . L'existence d'un exutoire

Lorsque les capacités d'infiltration sur place sont insuffisantes ou inexistante, on peut évacuer le débit de fuite vers le réseau d'assainissement (avec un débit admissible) ou vers des voies superficielles. Il faut alors chercher si des exutoires sont disponibles ou possibles.

b .Contrainte économique

La contrainte économique, dans chaque étude de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain, peut être le problème de financement pour remplir les divers objectifs de protection contre les inondations et la protection du milieu récepteur. La gestion de l'eau pluviale demande des financements qui peuvent être importants dans des villes où l'assainissement naturel ne peut pas être une solution réalisable. En général, les moyens de financement favorisent la bonne pratique des techniques alternatives (TA).

c. Contrainte technique

Les techniques alternatives ont plusieurs caractéristiques techniques. Elles facilitent la maîtrise de la qualité et de la quantité de l'eau pluviales à gérer. En cas d'infiltration, la grande majorité des polluants restent dans la première couche et contribue à la recharge des nappes phréatiques. En cas de stockage, les polluants de l'eau pluviale peuvent se décanter vers le fond de l'ouvrage. La contrainte technique est la demande de technicité dans la partie réalisation et opération et maintenance des ouvrages, aussi de prévenir les risques majeurs dans le cas où les installations sont abandonnées ou ne font plus l'objet d'un entretien régulier.

4.3.2 Approche analytique des TA

Cette approche, consiste à prendre en considération des points essentiels avant de proposer des actions efficaces et l'approche multicritère.

a. Approche initiale des techniques alternatives

Après avoir présenté dans la partie précédente les conditions d'emploi de l'analyse multicritère pour la gestion des eaux pluviales en milieu urbain, on distingue que le moyen de financement du projet, apportera des informations générales pour la bonne pratique des

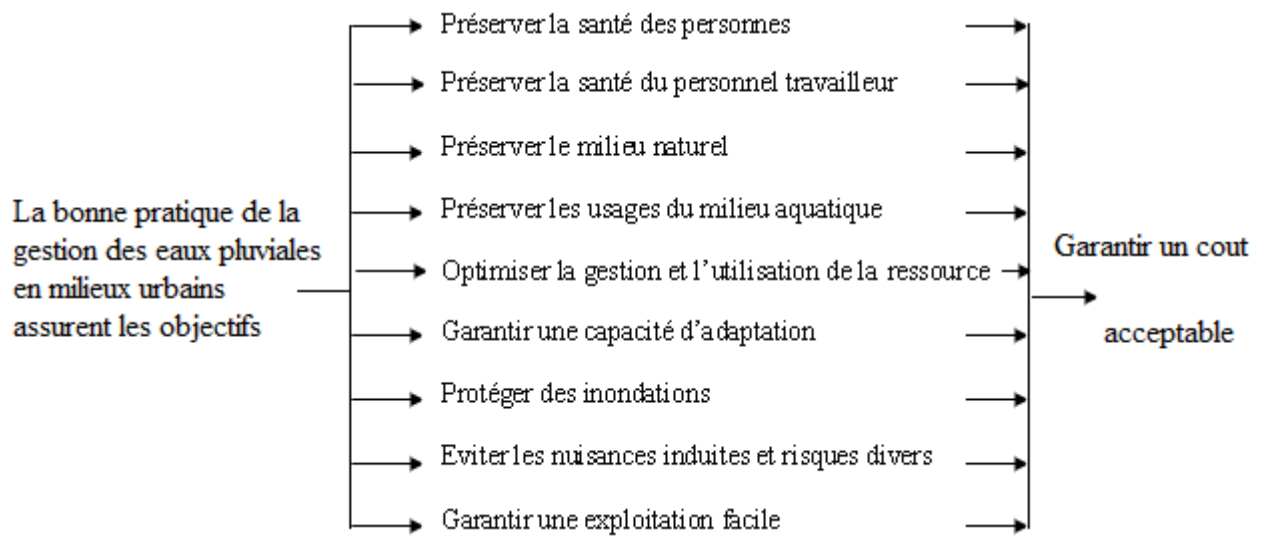


FIGURE 4.1 – Approche initiale des techniques alternatives

TA. La figure 4.1 montre les fonctions de la bonne pratique de la gestion des eaux pluviales.

D'après, la figure 4.1, garantir un coût acceptable par le décideur est proportionnelle au nombre de fonctions à attendre.

La figure 4.2 montre la variation des fonctions en fonction du coût acceptable.

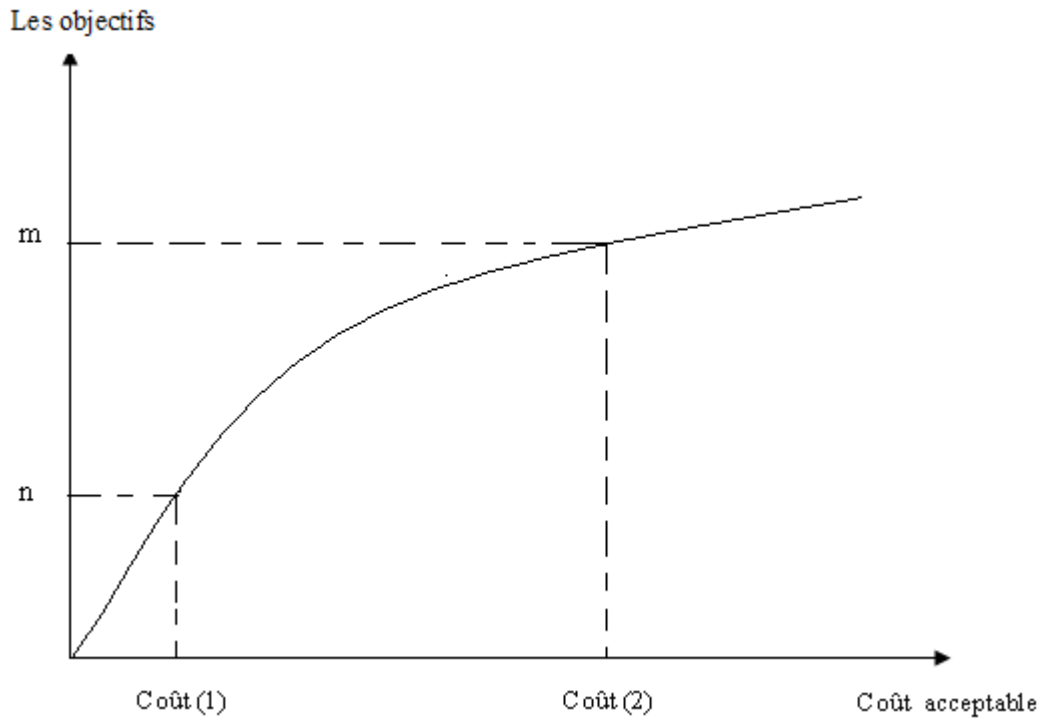


FIGURE 4.2 – La variation des objectifs en fonction du coût acceptable

D'après, la figure 4.2 la difference entre un coût acceptable (2) et le coût acceptable (1) nous donne $(m-n)$ nombre de fonctions à attendre.

b . Contraintes principales d'éliminer une TA

Il existe des techniques alternatives, qui peuvent être éliminées par une contrainte principale, cette contrainte dépend du type de fonctionnement de l'ouvrage, de l'endroit d'implantation, le climat ,...., le tableau 4.1 présent la cause(s) principale(s)

TABLE 4.1 – Contraints principales d'adoption d'une technique alternative

Ouvrage	Type	Condition de réalisation
Toiture	Végétales Non Végétales	dans des pays où la responsabilité est locale, solution prise au cours de la construction .
Citerne	Enterrée Sous sol	dans les pays où la responsabilité est locale et les précipitations intenses.
Puits	Injection D'infiltration	selon la qualité des eaux à gérer et le niveau de la nappe. selon la qualité des eaux à gérer
Tranchées	Drainante Filtrante	réalisable à la source réalisable selon la qualité des eaux et le niveau de la nappe
Fossés et Noues	Rétention Filtrant	réalisable selon la qualité des eaux réalisable selon la qualité des eaux et le niveau de la nappe
Chaussées à structure réservoir	Classique drainante Classique filtrante Poreuse drainante Poreuse filtrante	réalisable à la source réalisable selon la qualité des eaux et le niveau de la nappe réalisable à la source et selon la qualité des eaux réalisable à la source selon la qualité des eaux et le niveau de la nappe
Structures réservoir	Poreuse drainante Poreuse filtrante	réalisable dans des zones urbanisées plates pouvant être inondables et le sous sol non encombré réalisable dans des zones urbanisés plats peuvent être inondables, avec un sous sol non encombré ;selon la qualité des eaux et le niveau de la nappe.
Conduite	Stockant	réalisable dans des zonesurbanisées inondables avec un sous sol non encombré
Bassins sec	bassins sec étanche bassins sec infiltrant	réalisable selon l'espace disponible réalisables selon l'espace disponible,la qualité des eaux et le niveau de la nappe.
Bassin en eau	Bassin en eau étanche Bassin en eau infiltrant	réalisable dans le cas où il existe un écoulement d'eau permanent réalisable dans le cas où il existe un écoulement d'eau permanent et selon la qualité des eaux et le niveau de la nappe.
Bassin	Bassins enterrées	réalisable avec un sous sol non encombré

c. Les techniques alternatives sélectionner (voir le tableau 4.2)

TABLE 4.2 – Les techniques alternatives sélectionner

Techniques	Type	Accepté	Cause
Toiture	Végétale	Non	Urbanisation non maîtrisée, la responsabilité non locale
	Non Végétale	Non	
Citerne	Enterré	Non	responsabilité non locale, la nature des climat, récupération non assurée durant l'année
	Sous sol	Non	
Puits	Injection	Oui	
	Injection	Oui	
Tranchées	Drainante	Oui	
	Filtrante	Oui	
Fossés et Noues	Rétention	Oui	
	Filtrant	Oui	
Chassées à structure réservoir	Classique drainante	Oui	Demande une technicité non maîtrisée le problème de colmatage
	Classique filtrante	Oui	
	Poreuse drainante	Non	
	Poreuse filtrante	Non	
Structures réservoirs	Poreuse drainante	Non	Des structures non disponible et le problème de la gestion et de fonctionnement
	Stockantes	Non	
Bassins	bassins sec étanche	Oui	grand capacité de retention
	bassins sec infiltrant	Non	
	Bassin en eau étanche	Oui	
	Bassin en eau infiltrant	Non	
	Bassins enterrées	Oui	

d . Faisabilité des techniques alternatives sélectionner

Bien qu'il soit possible, d'implanter un système sur tous les types de sol et sans contrainte, mais dans la réalité il est préférable de bien caractériser la technique afin de déterminer la possibilité et l'endroit le plus favorable et ainsi d'éviter les risques majeurs, provoquons des dégâts. Les figures 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 montreront la faisabilité d'un puits, tranchées, fossés et nous, CSR et les bassins

4.4 les acteurs

Dans le but d'avoir la meilleure solution de coté technique, environnement et économique la prise en compte des acteurs est très importante. Les acteurs de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain sont nombreux. Nous distinguerons les acteurs publics (l'urbanisme, l'eau et l'assainissement, la protection de l'environnement) et les acteurs privés (usagers, association, entreprises) de déférentes spécialités, répartissent sur plusieurs niveaux national, régional, départemental et local.

Identification des acteurs à intégrer au processus décisionnel est une étape déterminante pour le décideur car les résultats d'approche peuvent être critiqués et les solutions proposées sont infaisables. L'omission d'acteur peut entraîner des conséquences défavorables.

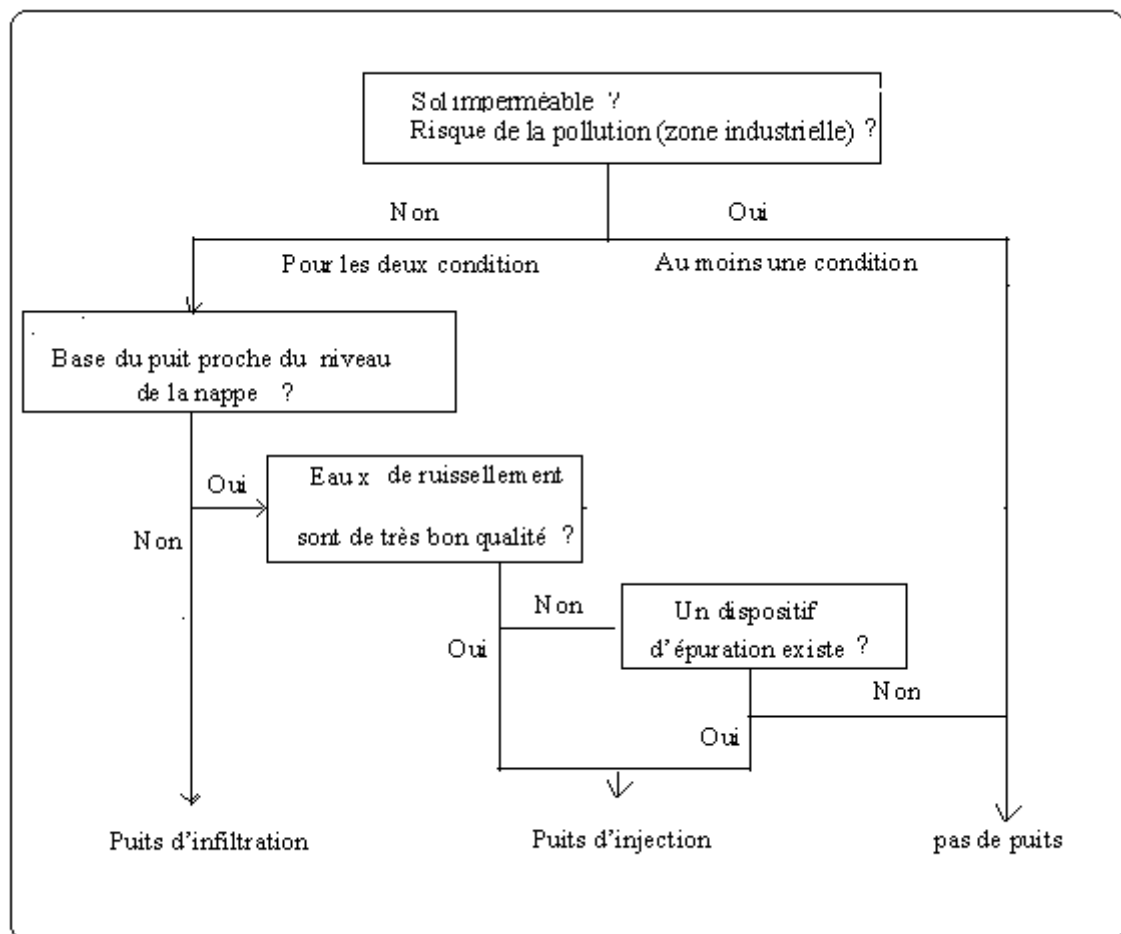


FIGURE 4.3 – Faisabilité d'un puits

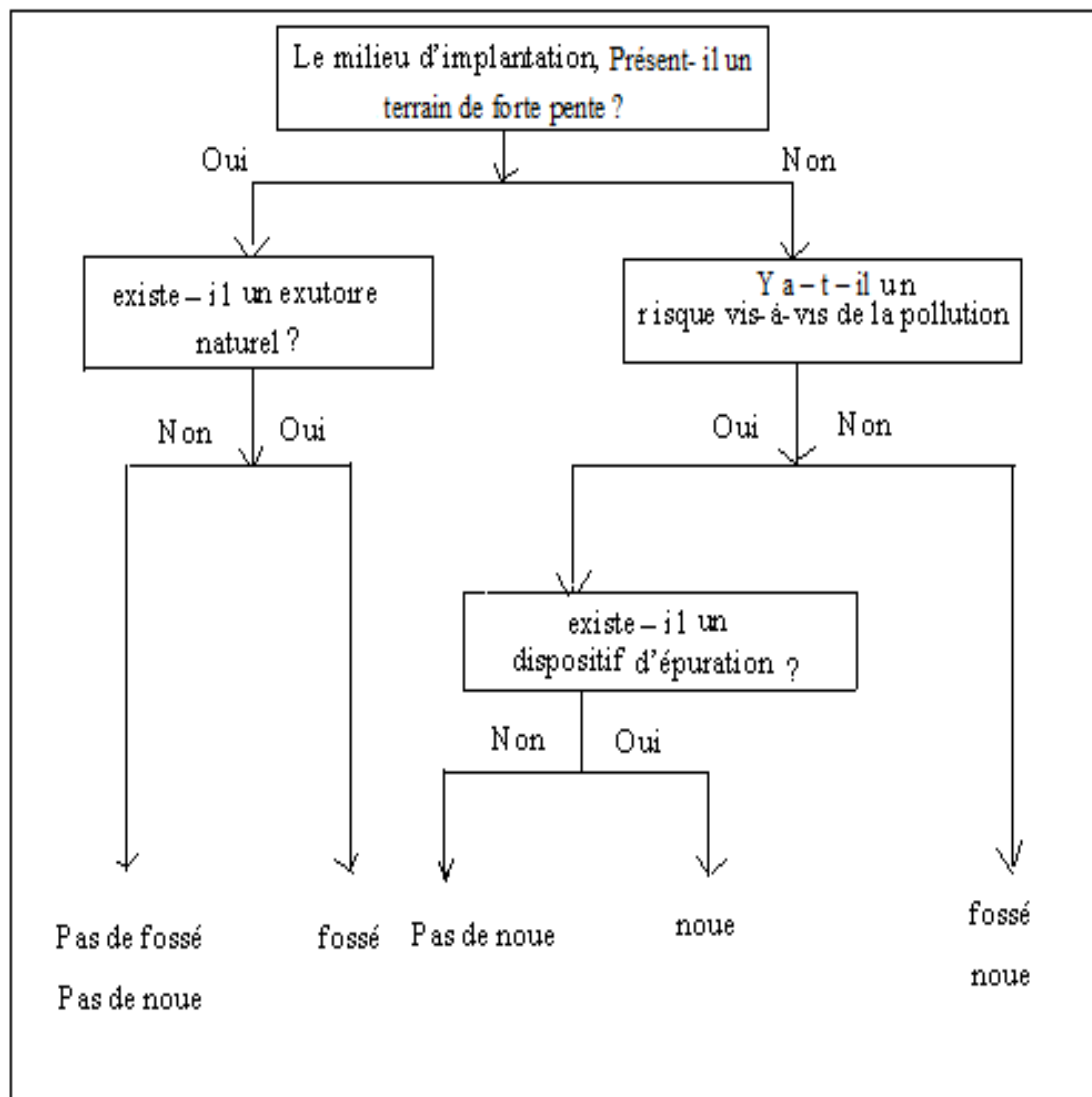


FIGURE 4.4 – Faisabilité d'un fossé ou d'une noue

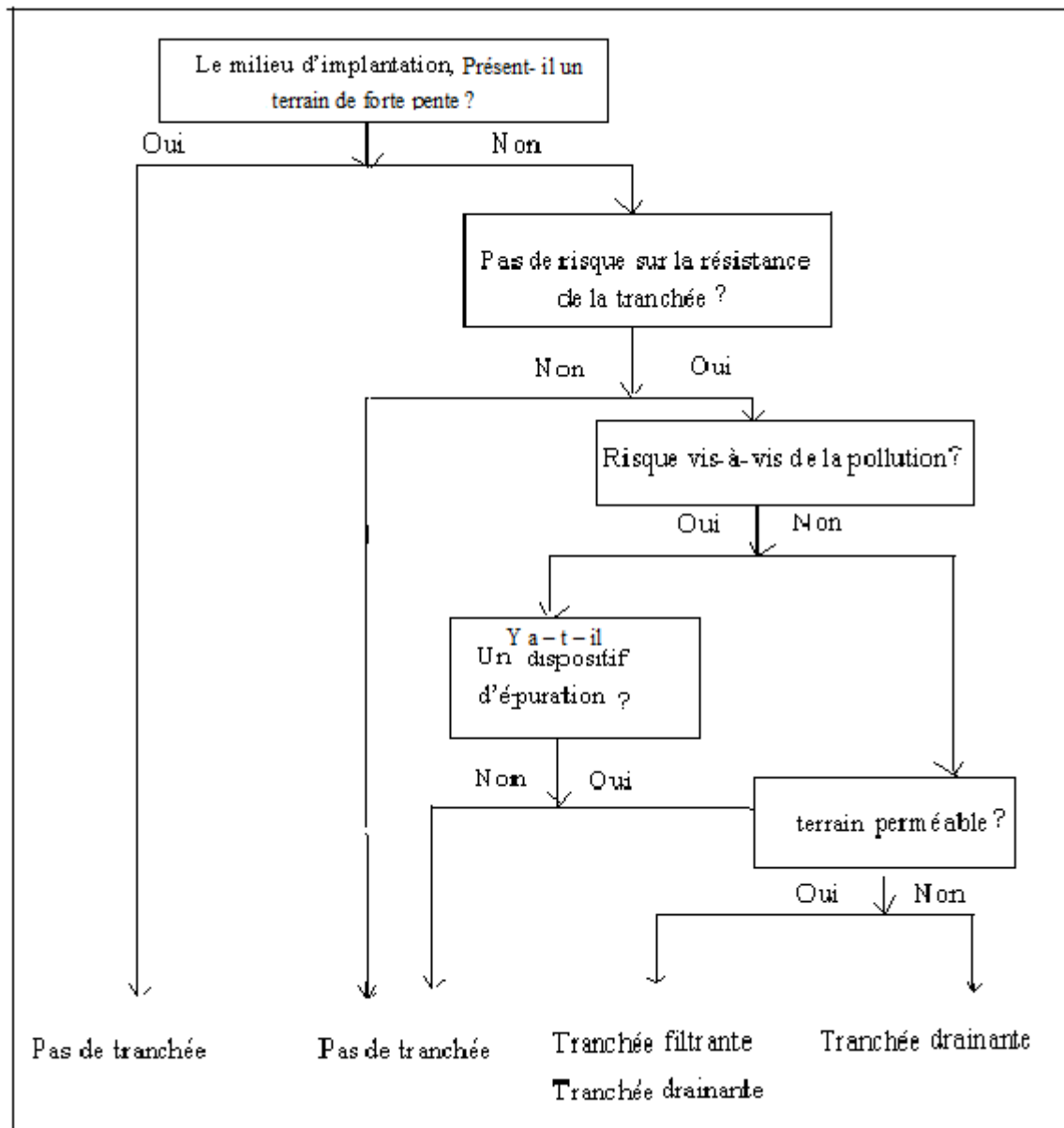


FIGURE 4.5 – Faisabilité d'une tranchée

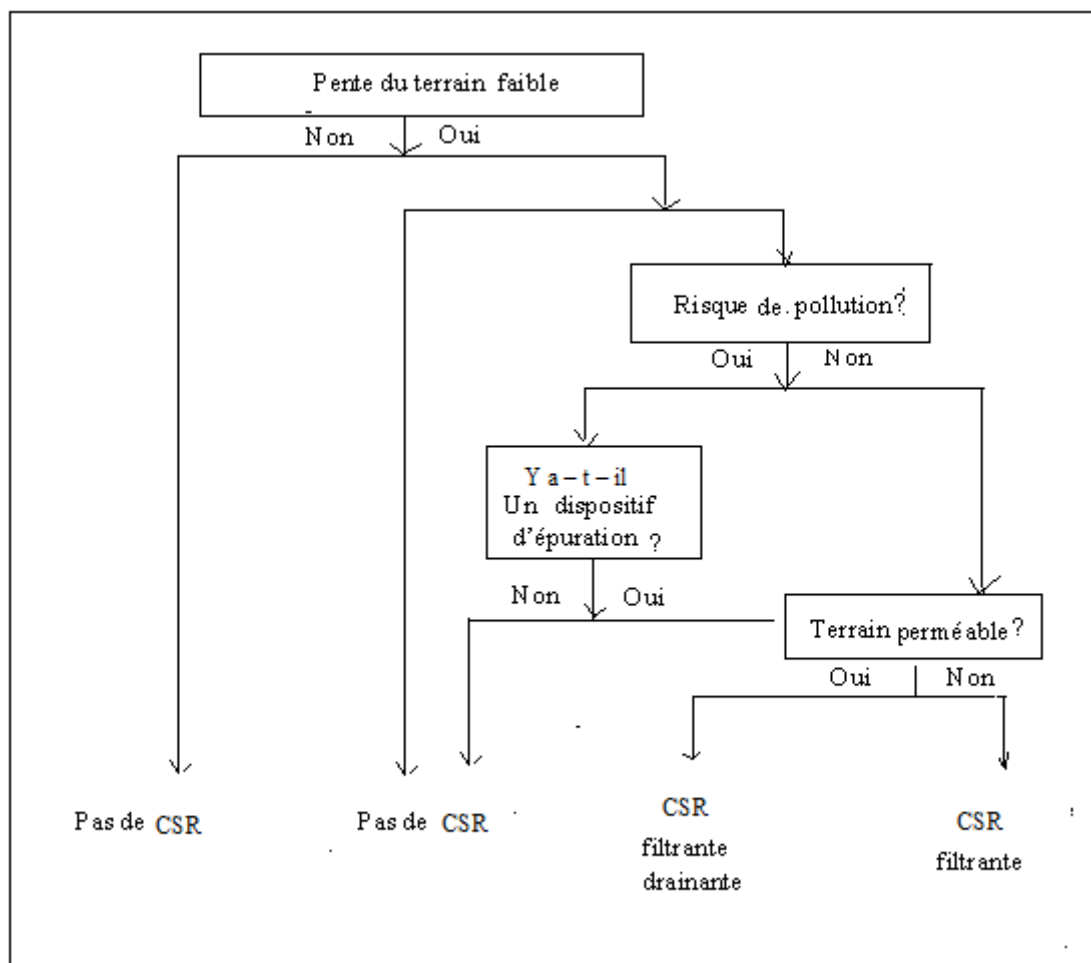


FIGURE 4.6 – Faisabilité chaussée à structure réservoir (CSR)

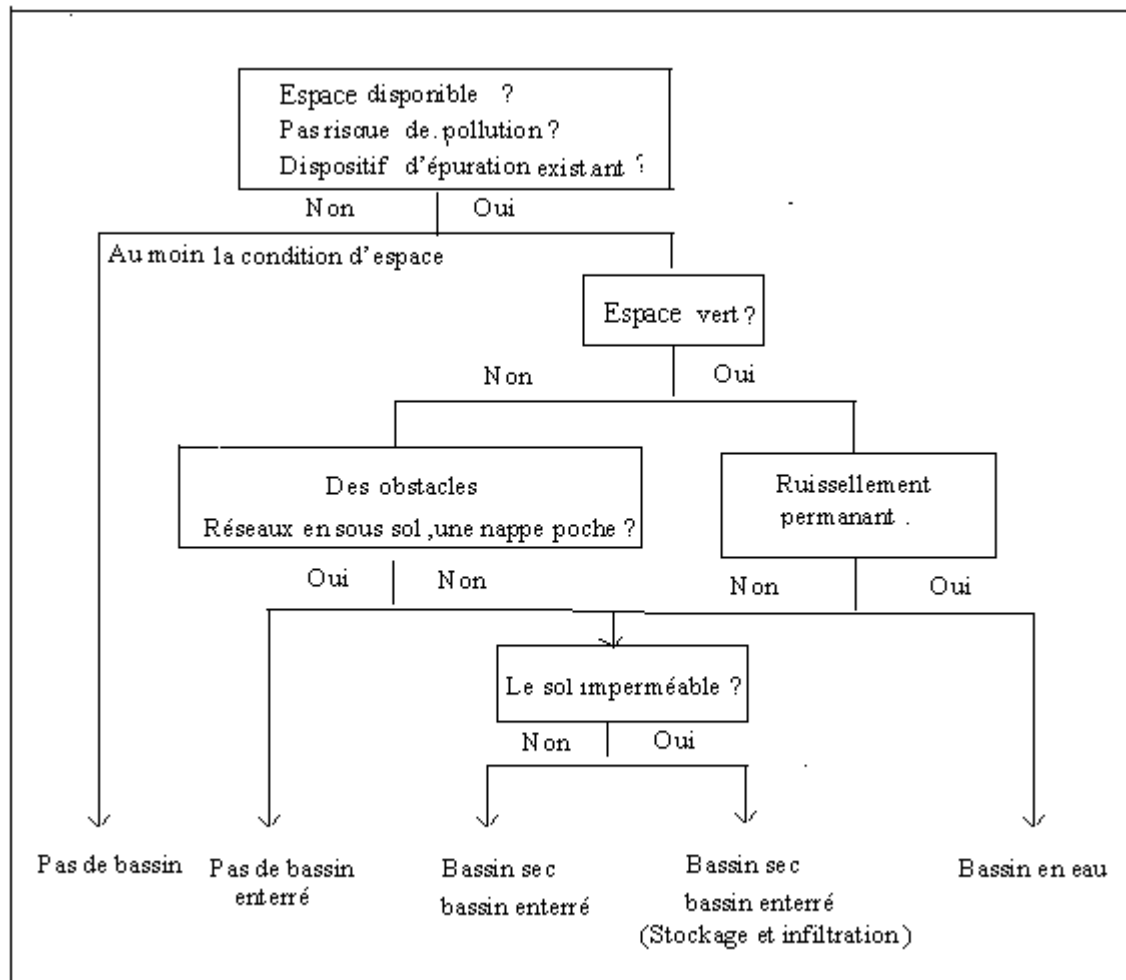


FIGURE 4.7 – Faisabilité d'un bassin de rétention d'EP

Il y a de typologie pour identifier les acteurs, la première typologie fonctionnelle, elle consiste de s'appuyer sur la liste de l'ensembles des acteurs qui fonctionnent le systèmes ou qui le font évoluer (constructeur, gestionnaires-exploitants, contrôleurs, usagers,...) et la deuxième institutionnelle, qui fait référence à la nature de l'organisation à laquelle appartient l'acteur (bureaux d'études, expertise, structures publiques, association,...)

Une étude récente réalisée dans le cadre de donner à l'utilisateur des clefs de compréhension de la méthode multicritère ELECTRE III (Définitions et principes) avec un exemple d'application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain (Charlotte MARTIN, Michel LEGRET, 2005), on été choisis.

Acteur 1 : logique de planification, choisit de privilégier les critères économiques (coût d'investissement et d'entretien, besoin et fréquence des opérations de maintenance).

Acteur 2 : logique de développement urbain, choisit dans une optique de développement durable urbain, d'accorder une importance plus forte aux critères sociaux et porteurs de bénéfices à la communauté urbaine (niveau d'agrément et contribution aux politiques de développement durable).

Acteur 3 : logique de protection de l'environnement dans un souci de protection des milieux naturels, privilégiera les critères environnementaux (rétention de la pollution et impact sur la qualité des eaux souterraines)

4.5 Les critères

4.5.1 Les objectifs

4.5.1.1 Les objectifs scientifiques et techniques

Ils permettent de prendre en compte l'efficacité de la solution compensatoire, en terme de débordements, risques de colmatage et, son aptitude à retenir les pollutions, qu'elles soient particularisées ou dissoutes. Ce critère permet également de rendre compte des capacités d'adaptation ou de modification de la solution dans le temps et l'espace .

4.5.1.2 Les objectifs d'opérations et de maintenance

Ils permettent de prendre en compte l'ensemble des opérations de maintenance (entretiens préventifs et curatifs), que ces dernières soient régulières ou occasionnelles .

4.5.1.3 Les objectifs environnementaux

Ils permettent de prendre en compte l'impact en termes quantitatifs et qualitatifs des rejets sur le milieu naturel. La diversité écologique est également prise en compte dans ce critère.

4.5.1.4 Les objectifs sociaux

Ils permettent de prendre en compte l'impact paysager, le caractère multifonctionnel de la solution (notamment les fonctions de loisirs), l'impact sur la population (en terme d'information et de risques), la contribution aux politiques de développement durable (consommation d'énergie, recyclage des déchets).

4.5.1.5 Les objectifs économiques

Ils permettent de prendre en compte les coûts d'investissement, de fonctionnement, d'opération et de maintenance (incluant les prix des terrains, les charges liées à l'assainissement pluvial), ainsi que les risques financiers liés au projet et la rentabilité à long terme du projet.

4.5.1.6 Les objectifs réglementaires

Ils permettent de prendre en compte le respect des différentes législations (locales, nationales, européennes), la conformité aux normes de construction, ainsi que le statut légal de l'ouvrage.^[23]

4.5.2 Les critères quantitatifs

Cette analyse porte trois critères quantitatifs, coût de réalisation, coût d'entretien et la capacité de rétention. Selon Roy (1985), on peut définir les trois critères comme suit :

- Critère 1 < Coût, Coût de réalisation, MDa, cardinale, *min* >
- Critère 2 < Coût, Coût d'entretien, MDa, cardinale, *min* >
- Critère 3 < Capacité, Capacité de rétention, m^3 , cardinale, *max* >

4.5.2.1 Le coût de réalisation

C'est le critère le plus important pour la pratique de la GEPMU , les éléments à prendre en compte pour établir le coût de réalisation incluent notamment le nombre de techniques alternatives et les tâches des composantes de chaque étape des travaux préparatoires, terrassement et construction.

a . Les travaux

a .1. Les travaux préparatoires (Étape 1)

Ce sont les travaux qui nous permet d'avoir la possibilité d'implanter nous techniques, l'aménagement et le manque d'espace, en milieu urbain, les travaux préparatoires doivent être prises en considération, donc on doit préciser les taches à effectuer selon les cas . Les principales composantes des travaux préparatoires en milieu urbain ce sont la demande du terrain, les travaux de débroussaillage, décapage, démolition, piste d'accès et déviation de circulation.??

a.1.1. Terrain

La mise en place des TA implique généralement l'utilisation de terrains qui pourraient autrement être indisponibles, même c'est le contraire, demande de négocier la possibilité d'avoir l'espace correspond à chaque technique qui peut être très variable.

Prix unitaire dépend de la surface demandée (Type de l'ouvrage), nature du terrain et l'entourage.

a.1.2. Débroussaillage

Il s'agit de couper au raz les plantes herbacées, les arbustes et élaguer les branches basses sur une hauteur de deux mètres. Bien entendu, les végétaux ainsi coupés ne doivent pas rester sur place, à sécher ce qui représenterait une masse de combustible et un danger toujours présent, il faut donc s'en débarrasser. Les tâches principales de la composante se sont :

- **Tache1** : Débroussaillage des végétaux et arbustes d'un diamètre très faibles au dessus du sol.
- **Tache2** : Abattage d'arbres, l'élagage et tronçonnage
- **Tache3** : L'arrachage de souches d'arbre

Prix unitaire dépend :

- Densité de la végétation et la nature des arbres ;
- Profondeur des racines ;
- Diamètre, hauteur des arbres ;
- Chargement sur camion et sa mise en dépôt.

a.1.3. Décapage et mise en place de terre végétale

En plus du débroussaillage, dessouchage, arrachage des arbres, etc. L'entrepreneur décapera la terre végétale sur une profondeur moyenne de trente (30) cm, dans l'emprise des terrassements en déblai ou en remblai (déviations provisoires, voies de chantier, zone d'installation de chantier, zones de mise en dépôt provisoire ou définitive de matériau de déblai ou de matériau d'apport pour remblai).

Les tâches principales de la composante sont :

- **Tâche 1** : Décapage par un moyen mécanique de la de terre végétale
- **Tâche 2** : Reprise de la terre, selon le volume utilisé.
- **Tâche 3** : Evacuation par chargement sur camion du reste de la terre.

Prix unitaire dépend :

- Profondeur à décaper.
- Moyen mécanique ou manuel utilisé.
- Chargement sur camion et sa mise en dépôt.

a.1.4. Démolition de chaussées, trottoirs

cette composante, comprend la démolition de la couche de roulement ou trottoir manuelle ou mécanique, les découpes soignées du périmètre de démolition, le réglage et compactage du fond de forme. Les tâches principales de la composante se sont :

- **Tâche1** : Découpage ou sciage.
- **Tâche2** : Démolition des chaussées et trottoirs.
- **Tâche3** : Démontage des bordures et des caniveaux.

Prix unitaire dépend :

- Épaisseur à décaper.
- Béton, goudron,...
- Moyen mécanique ou manuel.
- Chargement sur camion et évacuation, réutilisation.

a.1.5. Piste d'accès

Une construction isolée au milieu d'un terrain peut comporter un chemin d'accès. Au début de la réalisation et, tant que le terrassement n'a pas été effectué, on se contentera de faire réaliser un chemin d'accès résistant au passage des engins les plus lourds. La réalisation de ce chemin consiste en :

- **Tâche1** : Décaissement(enlèvement de la terre végétale).
- **Tâche2** : Evacuation.
- **Tâche3** : Traitement du sol et épandage d'une couche de roche concassée.

Prix unitaire dépend :

- Épandage, réglage, compactage.
- Moyenne mécanique ou manuel utilisé.
- Chargement sur camion et évacuation, réutilisation.

a.1.6. Déviation de la circulation

Cette composante comprend les demandes d'arrêtés des véhicules et piétons, la fourniture de la signalisation. Les tâches principales de la composante sont :

- **Tâche1** : Signalisation
- **Tâche2** : Déviation.

Prix unitaire dépend :

- Nombre de panneaux de signalisations nécessaires.
- Nombre de pilotes.

a.2. Les travaux de terrassement (Étape 2)

Le creusement d'un ouvrage de rétention/infiltration des eaux pluviales nécessitera des terrassements en déblai de près de 0.5m à 5m de profondeur au maximum ; on distingue deux types : le premier en tranchée et le deuxième en profondeur, comprennent les remblaiement et le transport soit des déblais en dépôt, soit des matériaux d'apport.

a.2.1. Déblaiement

L'extraction d'un mètre cube de terrassement, demande des engins de forte puissance (notamment plus on descend en profondeur), comme elle peut s'effectuer manuellement. Dans les deux cas, le type d'ouvrage à réaliser et l'environnemental du site conditionne l'utilisation de telle ou telle faisabilité.

- **Tâche1** :Excavation, dans la majorité des cas, c'est l'exécution mécanique qui prévaut, elle peut être faite manuellement.
- **Tâche2** :Démolition d'une roche.
- **Tâche3** :Franchissement d'un obstacle.

Prix unitaire dépend :

- Terrain dur,rocheux,roche de dureté moyenne ou bien meuble.
- Exécuté à la main, par moyen mécanique.
- Profondeur.

a.2.2. Remblaiement

Le remblaiement commence après le déblaiement, suivi de la réalisation de la structure de l'ouvrage et la pose des éléments assurent leur alimentation et leur vidange. L'utilisation d'un engin est préférable pour faciliter et d'assurer la stabilisation du remblai dans le cas des grands systèmes pour tenir compte du tassement qui peut s'effectuer durant de nombreuses années

- **Tâche1** :Remblaiement mise en place.
- **Tâche2** :Remblaiement mise en dépôt.
- **Tâche3** :Remblaiement par matériaux d'apport.

Prix unitaire dépend :

- Mise en oeuvre
- Exécuté à la main ou par moyenne mécanique
- Distance entre
- Type de matériaux d'apport et chargement sur camion, exécuté à la main ou par moyenne mécanique

a.2.3. Evacuation

Evacuation des déblais non utilisés. Les taches principales de la composantes sont :

- **Tâche1** :Chargement sur camion.
- **Tâche2** :Transport.

Prix unitaire dépend :

- Chargement sur camion exécuté à la main ou par moyenne mécanique
- Distance entre le point de chargement et la décharge.

a.3. Les travaux de construction (Étape 3)

Les composantes, à prendre en compte pour établir le coût de construction sont trois, la première c'est la déviation des réseaux, après c'est le drainage et l'évacuation et la dernière c'est la structure du système.

a.3.1. Déviation des réseaux

- **Tâche1** :Déviation du réseau d'assainissement, d'AEP, de gaz,.....ect.
- **Tâche2** :Elimination des venues d'eau par le pompage ou bien déviation vers un autre réseau.

a.3.2. Drainage

- **Tâche1** :Drainage les eaux de fondation.
- **Tâche2** :Alimentation directe ou bien à l'aide d'un drain.
- **Tâche3** :Dispositifs de prétraitement. Cette tâche est à compléter pour chacun des techniques. On peut utiliser un dégrilleur, dessableur, déshuileur, décanteur et séparateur d'hydrocarbure.
- **Tâche4** :Dispositifs de vidange.
- **Tâche5** :Systeme de vidange.

a.3.3. Structure

Le tableau 4.3 montre les tâches principales pour la réalisation d'une technique

TABLE 4.3 – Les tâches principales composant les TA sélectionnées

Techniques	Type	Tâche
Puits	Infiltration, injection	Le dépôt du tampon
		Bétonnage de la structure
		Remplissage d'une quantité de matériaux poreux
		Accès au fond du puits
Tranchées	Drainante	Pose géomembrane d'étanchéité
		Pose des drains
		Remplissage avec de matériaux poreux
	Filtrante	Pose d'un géotextile Remplissage avec de matériaux poreux
Fossés, noue	Rétention, filtrant	Mise en oeuvre de terre végétale
		Mise en oeuvre de gazon en plaque
CSR classique	Drainante	Couche de formation et de forme
		Pose d'un géotextile
		Pose de drains
		Couche de surface Mise en oeuvre de la couche de base
	Filtrante	Même tâches que la drainante, mais il faut éviter une réduction du volume (porosité)
Bassins	Sec étanche	Terrassement
	Sec infiltrant	Le pendage du talus
	En eau étanche	Mise en oeuvre de la terre végétale
	En eau infiltrant	Mise en oeuvre de revêtement (gazon en plaque, roches)
Bassins	Enterrées	Terrassement
		Bétonnage de la structure
		Accès au bassin

Prix unitaire dépend en fonction de :

- La fourniture et de la mise en oeuvre de matériau de remblai, terre végétale, gazon.
- La fourniture et de la mise en oeuvre mécanique ou manuelle.
- La fourniture et pose de géotextile tel que définie par chaque techniques.

b. Evaluation du coût de réalisation

Le coût de réalisation d'une action, c'est une composante de l'analyse multicritère à évaluer pour établir la viabilité économique de gestion des eaux pluviales urbaines et la comparaisons entre les différents coûts d'actions. Peut être déterminé par la somme des coûts des techniques alternatives de chaque actions, comme le montre la relation 4.1 :

$$CR_{(ai)} = CRT_{(1)} + CRT_{(2)} + \dots + CRT_{(n)} \quad (4.1)$$

D'une manière générale

$$CR_{(ai)} = \sum_{j=1}^n CRT_j \quad (4.2)$$

avec :

n : Nombre de techniques alternatives de la action a_i

a_i : Action numéro i

T_j : Technique alternative

$CR(a_i)$: Coût de réalisation total de l'action a_i

CRT_j : Coût de réalisation de la technique alternative T_j

Le coût de réalisation d'une technique alternative

Les trois étapes à prendre en considération pour établir le coût de réalisation incluent notamment les travaux préparatoire, terrassement et construction. Comme le montre la relation 4.3 :

$$CRT_{(j)} = CRET_{(1)} + CRET_{(2)} + CRET_{(3)} \quad (4.3)$$

D'une manière générale :

$$CRT_j = \sum_{k=1}^3 CRET_k \quad (4.4)$$

CRT_j : coût de réalisation de la technique alternative T_j

$CRET_k$: coût des travaux de réalisation de l'étape k

$k \in [1,3]$

Étape $k = 1$: c'est les travaux préparatoires

Étape $k = 2$: c'est les travaux terrassement

Étape $k = 3$: c'est les travaux construction

Le coût des travaux préparatoires, terrassement et construction

C'est le produit matriciel $Q_{ij} \cdot P_{ji}$, comme le montre la relation 4.5

$$CRE(T_j) = Q_{kl} \cdot P_{lk} \quad (4.5)$$

$$\begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{1m} \\ Q_{21} & \dots & \dots \\ Q_{n1} & \dots & Q_{nm} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1n} \\ P_{21} & \dots & \dots \\ P_{m1} & \dots & P_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CRET1 \\ CRET2 \\ CRET3 \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

$k \in [1,3]$

l : max (nombre de tâches de l'étape 1, 2 et 3)

Q_{kl} : Matrice des quantités des travaux (tâches)

P_{lk} : Matrice des prix unitaire (tâches)

4.5.2.2 Le coût d'entretien

Pour s'assurer que les TA fonctionneront de la façon prévue lors de la réalisation avec une durée de vie adéquate, en maintenant les fonctions qui peuvent être associées à chaque TA, donc l'entretien est un élément nécessaire et très important à prendre en compte lors de la sélection, choix ou bien classement des différentes TA. La mauvaise performance des ouvrages est souvent causée par le manque d'entretien adaptable. Une bonne pratique d'entretien, doit être effectuée sur trois points essentielles. On distingue :

a. Entretien de la technique alternative

a.1. Entretien des dispositifs

Les zones où les eaux de ruissellement entrent, sortent aux TA doivent faire l'objet d'une attention particulière de la part de l'employeur. Toutes les TA ont une structure d'entrée, sortent, à laquelle on ajoute souvent une structure de contrôle permettant spécifiquement de bénéficier d'un prétraitement, vidange et limiter les débits. Par exemple, des grilles peuvent être utilisées, mais elles nécessitent un suivi adéquat et un nettoyage régulier sans quoi elles peuvent devenir elles mêmes la cause des problèmes importants.

a.1.2. Entretien de la structure

L'entretien d'une TA, les zones où les eaux de ruissellement sont stockés, retardés ou bien infiltrés demande un entretien spécifique dépendant du type de l'ouvrage et la surface active

a.2. La fréquence entretien

On distingue deux fréquences entretiens

En préventif

Environ tous les mois pour minimiser le colmatage

- nettoyer les surfaces drainées

En curatif

Environ de deux fois par an

- Le suivi pendant un événement pluvieux.
- Entretien le système après un épisode pluvieux.

b. Les frais d'entretien

Ils comprennent les frais de personnel lors des intervention et les frais des matériels.

b.1. Frais de personnel

Les frais de personnel depend de nombre d'agents composant l'équipe d'intervention, leur qualification, la durée d'effectuer la tache et la fréquence. Personne non qualifiée, comme agent polyvalent, ou bien une personne qualifiée comme technicien. De plus, selon la complexité de fonctionnement du TA.[17]

b.2. Frais des matériels

Il s'agit d'une part des frais des matériels simple fourni aux agent d'effectuer une tache facile et d'autre part des frais des matériels lourds .

c. faisabilité Chaque tache caractérise par un degrés de faisabilité

- L'accès aux ouvrages est normal, aux équipements à entretenir est difficile ou compliqué.
- Le matériel nécessaire est très spécifique. Il est particulier et difficilement disponible (cas des hydrocureuses , aspiratrices pour les enrobés drainants, par exemple).
- Le matériel prescrit est spécifique, c'est-à-dire, particulier, mais facilement disponible.
- Les méthodes ou le matériel prescrits sont ordinaires et courants (tondeuse, ramassage manuel des papiers ou des gros déchets) aucune assurance de bon entretien
- Le bon entretien peut être contrôlable, l'entretien a de très bonnes chances d'être contrôlé ; les sources de contrôle sont nombreuses

d. Entretien programmé

- Nettoyage des surfaces de drainage.
- Nettoyage système de prétraitement, structure et vidange.
- Enlèvement des débris et les corps flottants.
- Enlèvement des sédiments.
- Coupe de gazon et mauvais arbres.
- Entretien des équipements installés.
- Evacuation des sédiments et de boues.
- Entretien le système après un épisode pluvieux.

d.1. Entretien d'un puits(voir le tableau 4.4)

TABLE 4.4 – Entretien d'un puits

Tâche	Facilité	Moyen	Fréquence	Personnel	durée
Nettoyage des surface de drainage	Facile	Manuel	1 fois/ jours	1 personne	2h
Nettoyage système de prétraitement	Facile	Manuel	2fois/ mois	1 personne	2h
Enlèvement et evacuation des sédiments	Moyen	Manuel Camion	1 par mois 1 par mois	3 personne	2h
Vidange	Moyen	Pompe	1 fois par an	3personne	variable *

* Fonction des caractéristiques de la pompe et de volume d'eau à vidanger

d.2. Entretien d'une tranchée(voir le tableau 4.5)

TABLE 4.5 – Entretien d'une tranchée

Tâche	facilité	Moyen	Fréquence	Personnel	durée
Nettoyage des surfaces de drainage	Facile	Manuel	1 fois/mois	1 personne	2h
Nettoyage système de prétraitement	facile	Manuel	1 fois/ mois	1 personne	2h
Enlèvement des sédiments	Moyenne	Manuel	2 fois/ mois	1 personne	2
		Camion	1 fois/ mois	3 personnes	1h
Nettoyage système de vidange	facile	Manuel	1 fois/mois	1 personne	2h

d.3. Entretien fossés noues(voir le tableau 4.6)

TABLE 4.6 – Entretien des fossés, noues

Tâche	facilité	Moyen	Fréquence	Personnel	durée
Nettoyage des surface de drainage	Facile	Manuel	1 mois	1 personne	2h
Nettoyage système de prétraitement	facile	Manuel	1 fois/ mois	1 personne	2h
Enlèvement des sédiments	moyen	Camion,	0.5 fois/ mois	2 à 3	2h
		jet d'eau		personnes	
Coupe de gazon	facile	Tondeuse	2 fois/ mois	1 personne	4h
Nettoyage système de vidange	facile	Manuel	1 fois /mois	1 personne	2h

d.4. Entretien des CSR(voir le tableau 4.7)

TABLE 4.7 – Entretien CSR

Tâche	facilité	Moyen	Fréquence	Personnel	durée
Nettoyage des surface de drainage	Facile	Manuel	1 mois	1 personne	2h
Nettoyage système de prétraitement	facile	Manuel	1 fois/ mois	1	2h
Enlèvement des sédiments	moyenne	Camion,	2fois/ mois	2 à 3	2h
		jet d'eau		personnes	
Nettoyage système de vidange	facile	Manuel	1 par mois	1 personne	2h

d .5. Entretien des bassins(voir le tableau 4.8)

TABLE 4.8 – Entretien des bassins

Sec					
Tâche	facilité	Moyen	Fréquence	Personnel	durée
Nettoyage système de prétraitement	Moyenne	Manuel	2 fois/an	3 personne	2h
Enlèvement des sédiments	Moyenne	Camion, jet d'eau	2 fois/an	3 personne	2h
Coupe de gazon	facile	Tondeuse	2 fois/an	1 personne	8h
Nettoyage système de vidange	Moyenne	Manuel	2 fois/ an	1 personne	2h
En eau					
Nettoyage système de prétraitement	Moyenne	Manuel	2 fois/an	3 personne	2h
Enlèvement des débris et les corps flottants	Moyenne	Manuel jet d'eau	2 fois/an	3 personne	2h
Enlèvement des sédiments	Difficile	Camion,	2 fois / an	3 personne	2h
Nettoyage système de vidange	Moyenne	Manuel	2 fois/an	1 personne	2h
Enterrée					
Nettoyage système de prétraitement	Moyenne	Manuel	2 fois/an	3 personne	2h
Enlèvement des sédiments	Difficile	Camion, jet d'eau	2 fois/an	5 personne	2h
Coupe de gazon	facile	Tondeuse	2 fois/ mois	1 personne	4h
Nettoyage système de vidange	Moyenne	Manuel	2 fois/an	1 personne	2h

e. Calcul du coût d'entretien

Peut être déterminé par la somme des coûts d'entretien des techniques alternatives chaque action, comme le montre la relation suivante 4.7 :

$$CE(a_i) = CET_{(1)} + CET_{(2)} + \dots + CET_{(n)} \quad (4.7)$$

D'une manière générale :

$$CE(a_i) = \sum_{j=1}^n CET_j \quad (4.8)$$

$CE_a(i)$: coût d'entretien de l'action a_i

CET_j : coût d'entretien de la techniques alternative j

Le coût d'entretien d'une technique alternative c'est la somme des frais de chaque composant.

$$CET(j) = Frais_{(1)} + Frais_{(2)} \quad (4.9)$$

Composition du coût d'entretien d'une TA

Frais de personnel ($Frais_{(1)}$).
Frais des équipements ($Frais_{(2)}$).

D'une manière générale :

$$CET_j = \sum_{k=1}^2 Frais_k \quad (4.10)$$

4.5.2.3 Capacité de rétention

Capacité de rétention c'est un critère quantitatif depend du type de l'ouvrage, la surface active et le volume utile. L'objectif principal étant de régler les volumes reçus par apport à la capacité totale ou partielle d'un exutoire. La figure suivante montre la procédure de dimensionnement d'une technique alternative.

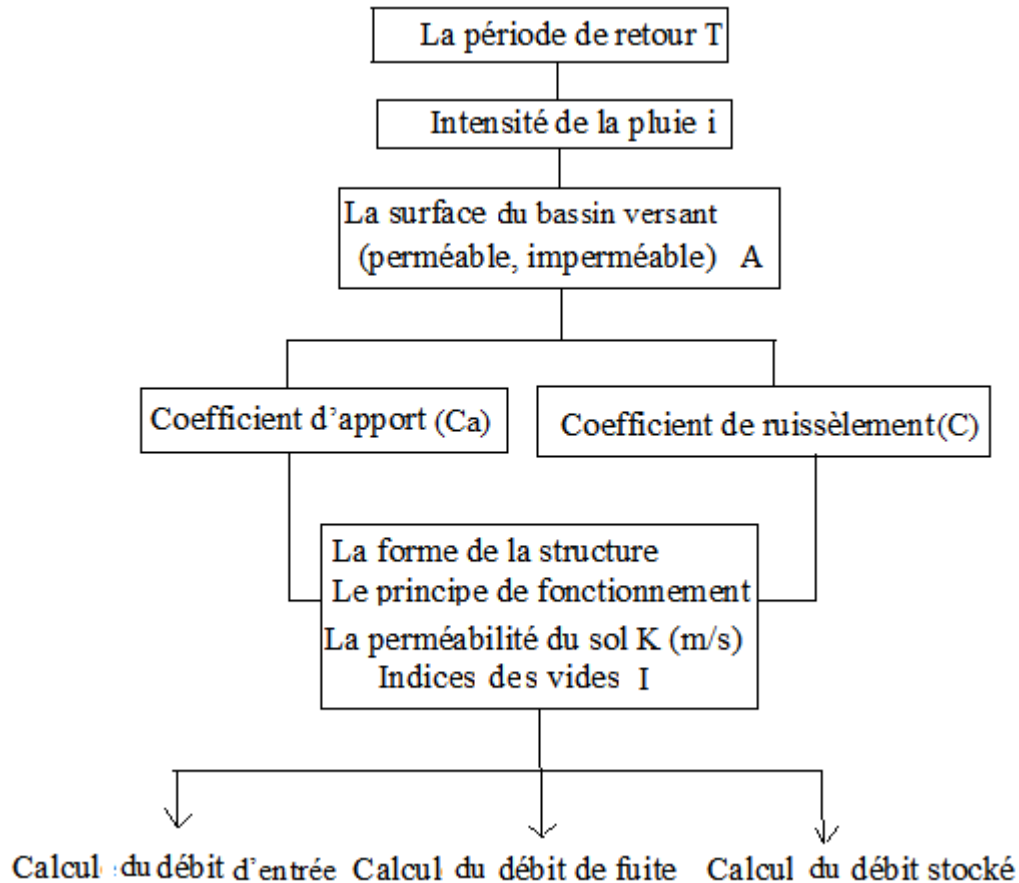


FIGURE 4.8 – Procédure de dimensionnement d'un bassin de rétention

Les étapes de dimensionnement.[6]**Etape1**

Acquisition des données nécessaires aux calculs, on a : Les données hydrologique, pluie, intensité, durée, fréquence

Les aspect hydrogéologiques, des connaissances sur la perméabilité des terrains et la transmissivité à travers les couches géologique.

Le degré de boisement et de couverture végétale ; ces élément intervenant généralement comme retardeurs de ruissellement

Etape2

On prendra en compte :

Le débit de pointe

Ce débit peut être calculé par la méthode rationnelle, comme suite (equation 4.11) :

$$Q_p = 10.A.C.i_{max}(T, t_c) \quad (4.11)$$

Avec :

$Q_p(T)$: débit de pointe de temps de retour T (m^3/h)

$i_{max}(T; t_c)$: intensité moyenne maximale de période de retour T sur la durée du temps de concentration (mm/h)

C : coefficient de ruissellement

A : surface du bassin versant (ha)

Le débit de fuite

Le débit de fuite dépend de l'exutoire, on distingue trois cas possible :

Dans le cas d'infiltration, le débit de fuite Q_s peut être estimé par le produit de la surface d'infiltration S_{inf} et de la capacité d'absorption (d'infiltration) q_{as} . Le risque de colmatage pris en considération par l'introduisant d'un coefficient de sécurité qui va dépendre de l'environnement de l'ouvrage (apports de fines) et du type d'entretien. Le débit de fuite est alors donné par l'expression ?? :

$$Q_s = \alpha.q_{as}.S_{inf} \quad (4.12)$$

avec :

α : coefficient minrateur.

q_{as} : capacité d'absorption par unité de surface infiltrante en $m^3/s/m^2$

S_{inf} : surface d'infiltration en m^2 .

Dans le cas d'un réseau d'assainissement, le débit de fuite est fixé par les autorités concernées.

Dans le cas d'un canal, écoulement superficiel

Etape3 on prendra en compte :

Le volume de stockage(retention)

La différence entre le volume ruisselé et le volume admissible à l'exutoire, elle nous donne le volume de stockage

Peut être calculé comme suit :

$$V_p = Q_p \cdot t \quad (4.13)$$

$$V_s = Q_s \cdot t \quad (4.14)$$

$$V_{rtention} = V_p - V_s \quad (4.15)$$

Avec :

$V_{rtention}$: le volume de rétention requis en m^3

V_p : le volume ruisselé m^3

V_s : le volume admissible à l'exutoire en m^3

Q_p : le débit de pointe pour une pluie de fréquence donnée en m^3/s

Q_s : le débit admissible à l'exutoire m^3/s

t : la durée de la pluie en secondes

Connaître les ouvrages de rétention/ infiltration

Après le calcul du volume à stocker pour une pluie donnée, la capacité de rétention d'une technique dépend du site d'implantation et ces dimensions. Une tranchée de longueur 5m ça capacité de rétention est inférieur à une tranchée de 20 m de longueur. Le choix premier d'implantation d'une technique demande de vérifier les contraintes pratiques des ouvrages de rétention. Le tableau suivant présente le mode de calcul du volume de stockage(voir le tableau 4.9)

TABLE 4.9 – Volumes et surfaces filtrantes des TA

Techniques	Paramètres	Volume utile (V0)	Surface d'infiltration
Puits	Section(S)	S.h	On prend (3/4) de hauteur réelle
	Profondeur (h)	$S = \pi.r^2$	La section de base
Tranchées	Section transversale(S)	V(totale) - V(solide)	On prend la section de base
	Longueur (L)	V(totale)=S.L.I	
	Indice de vide(I)		
Fossés, noues	Section(S)	S.L	On prend la section de plus haut du fossé ou noue
	Longueur(L)		
CSR classique	Section(S)	V(totale) - V(solide)	On prend la section de base
	Longueur (L)	V(totale)=S.L	
	Indice de vide		
Bassins à ciel ouvert	Section moyenne(S)	S.h	On prend la section de plus haut du CSR
	Profondeur moyen(h)		
Bassins enterrées	Section(S)	S.h	
	Profondeur(h)	S.h	

c - Capacité de rétention

La capacité de rétention d'une action a_i peut être déterminée par la relation 4.16 :

$$V(a_i) = V(T_{(1)}) + V(T_{(2)}) + \dots + V(T_{(n)}) \quad (4.16)$$

D'une manière générale :

$$V(a_i) = \sum_{j=1}^n V(T_j) \quad (4.17)$$

$V(a_i)$: Volume retenu par l'action a_i

$V(T_j)$: Volume retenu par la technique alternative j

4.5.3 Les critères qualitatifs

Sur la base du croisement des risques d'apport de l'eau et la pollution au milieu urbanisé et la sensibilité des techniques alternatives, on a pris les critères de probabilité dysfonctionnement, retenue de la pollution, intégration paysage et la sécurité d'une action. cette analyse porte quatre critères qualitatifs, selon Roy (1985), on peut les définir comme suit :

Critère 1 < Dysfonctionnement, Probabilité dysfonctionnement ,%, ordinale, min>

Critère 2 < Pollution, Retenu de pollution, Note, ordinale, max>

Critère 3 < Intégration, intégration paysage, Note, ordinale, max >

Critère 3 < Sécurité, sécurité, Note, ordinale, max >

Pour les évaluer, la proposition consiste à donner une note à chaque type de TA.

Pour l'obtention de cette note particulière à chaque critère traitée, on doit sélectionner des paramètres et les notes sont attribuées par réponse de chaque TA aux paramètres proposés. Le critère de probabilité dysfonctionnement est évalué en (%), les autres critères sont évalués sur une échelle de 1 à 5.

4.5.3.1 Probabilité de dysfonctionnement

La probabilité de dysfonctionnement(%) d'une technique alternative est la possibilité de perdre ces caractéristiques structurelles, ou bien le risque de perdre ces fonctionnalités. Pour évaluer ce critère, on s'est basé sur les cinq paramètres suivants :

1. Sensibilité de l'ouvrage à un orage intense, à un événement critique. Dans notre analyse, on considère que ce paramètre est non vérifié pour l'ensemble des systèmes.
2. Risque de colmatage : plus le risque de colmatage est grand, plus la fonctionnalité d'infiltration du bassin est défaillante.
3. Type d'ouvrage : à ciel ouvert ou enterré. Si dans le cas le système à ciel ouvert le paramètre est vérifié sauf pour les bassins entrés, à cause de sa capacité de retention.
4. Volume retenu par ouvrage : plus le système est grand, plus le paramètre est vérifié.
5. Manque d'entretien : dans notre analyse, on considère que la Technique Alternative est entretenue. Ce paramètre est vérifié dans tous les cas.

La figure 4.9 montre les cas possibles de probabilité de dysfonctionnement (PRD) d'une technique

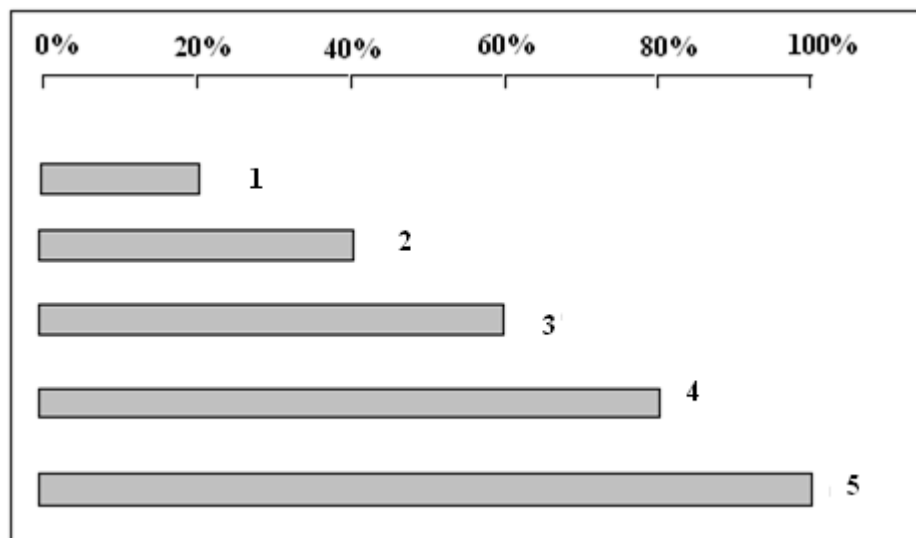


FIGURE 4.9 – Les paramètres d'évaluation du probabilité dysfonctionnement

L'évaluation du critère de probabilité de dysfonctionnement d'une technique alternative est montrée dans le tableau suivant : 4.10) :

TABLE 4.10 – L'évaluation du critère (Probabilité de dysfonctionnement)

N	Pourcentage	Paramètre	PRD (%)	Remarque
(1)	20%	Un seul paramètre vérifié	20 %	Dans notre travail, on considère que la sensibilité à un orage intense
(2)	40%	Deux paramètres vérifiés	20%	événement critique non vérifier et manque d'entretien dans tous
(3)	60%	Trois paramètres vérifiés	20%	donc PRD les cas vérifier. d'une technique
(4)	80%	Quatre paramètres vérifiés	20%	varier entre 20% et 80%
(5)	100%	tous les paramètres sont vérifié	...	
NB				
PRD : Probabilité dysfonctionnement				

Pour trouver la probabilité dysfonctionnement d'une technique on a utilisé la relation 4.18 :

$$PRD(T_j) = \sum_{k=1}^5 P(\text{paramètre pris}) - \sum_{k=1}^n P(\text{paramètre vérifié}) \quad (4.18)$$

Avec

n : Nombre de paramètre vérifié.

PRD : Probabilité dysfonctionnement d'une technique

$\sum P$ (paramètre prise) : la somme totale % des pourcentages des paramètres pris en considération

$\sum P$ (paramètre vérifié) : la somme des pourcentages des paramètres vérifiés

La probabilité dysfonctionnement des TA : voir le tableau 4.11

Les notes des techniques alternatives sont représentées dans le tableau suivant

TABLE 4.11 – La probabilité dysfonctionnement des TA

Techniques	Type	Note	Remarque
Puits	Injection	80%	Puits entretenu est le seul paramètre vérifié
	Infiltration	80%	
Tranchées	Drainante	60%	Le risque de colmatage pas grand et la tranchée est entretenue sont les deux paramètre vérifiés
	Filtrante	60%	
Fossés, noue	Rétention	40	Sensibilité à un orage intense et volume retenu sont les deux paramètre non vérifiés
	Filtrant	40%	
CSR classique	Drainante	80%	CSR entretenu est le seul paramètre vérifié
	Filtrante	80%	
Bassins	sec étanche	20%	Sensibilité à un orage intense le seul paramètre non vérifié
	Sec infiltrant	20%	
	En eau étanche	20%	
	En eau infiltrant	20%	
	Enterrées	20%	

La probabilité dysfonctionnement d'une action a_i c'est la moyenne pondérée des volumes stockés pour chaque technique alternative de la même action et leur probabilité dysfonctionnement sur le volume retenu, comme le montre la relation 4.19 :

$$PRD(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n (V_j \cdot PRD(T_j))}{\sum_{j=1}^n (V_j)} \quad (4.19)$$

Avec :

$PRD(a_i)$: La probabilité dysfonctionnement d'une action A_i

V_j : Le volume géré par la technique j

$\sum(V_j)$: Le volume géré par l'action a_i

4.5.3.2 Retenu de la pollution

Les techniques alternatives, elles ont pour but soit de retarder le ruissèlement des volumes d'eau (stockage, infiltration) soit de retenir la pollution transportée par l'eau. Mais chaque système à ses capacités de piéger les polluants (infiltration, décantation) qui dépend du principe de fonctionnement de l'ouvrage et la surface active. Dans notre travail on a pris trois paramètres où ci dessous :

1. Principe de fonctionnement. Si dans le cas il y a une possibilité de décantation, la TA est plus efficace à la dépollution des eaux stoké par rapport aux autres systèmes.
2. Capacité de l'ouvrage et la surface active. La quantités des polluants retenus dans un système et proportionnelle au volume stoké et la surface active de ce dernier.
3. Le lieu d'implantation. La retenue de la pollution depend de l'alimentation de l'ouvrage, qui peuvent être directe par des eaux moins chargées (avant ruissèlement) ou bien indirecte par des eaux chargées, depend aussi de la zone d'implantation (dense, industrielle, marché ,....).

Les notes d'états sont :

- **Note 1** : Si le système donne un rendement très faible de dépollution , on donne une note de 1.
- **Note 2** : Si le système donne un rendement de dépollution faible, on donne une note de 2.
- **Note 3** : Si le système donne un rendement de dépollution moyen, on donne une note de 3.
- **Note 4** : Si le système donne de bons rendements de dépollution, on donne une note de 4 .
- **Note 5** : Si le système donne de très bons rendements de dépollution, possibilité de décantation et une faible vitesse d'infiltration favorise la rétention des polluants, on donne une note de 5.

Les notes de Retenue de la pollution des TA :(voir le tableau 4.12)

TABLE 4.12 – Les notes des TA

Techniques	Type	Note	Définition de la note
Puits	Injection	4	Les puits donne de bons rendements de dépollution
	Injection	4	
Tranchées	Drainante	2	les tranchées donnent un rendements de dépollution faible
	Filtrante	2	
Fossés, noue	Rétention	3	les fossés , nous donne un rendement de dépollution moyen
	Filtrant	3	
CSR à classique	Drainante	3	Les CSR donne un rendement de dépollution moyen
	Filtrante	3	
Bassins	sec étanche	5	Les bassins de rétention donne de très bons rendements de dépollution
	Sec infiltrant	5	
	En eau étanche	5	
	En eau infiltrant	5	
	Enterrées	5	

La retenue de la pollution d'une action a_i c'est la moyenne pondérée des volumes stockés pour chaque technique alternative de la même action et leur note sur le volume retenu , comme le montre la relation suivante :

$$Note(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n V_j \cdot Note(T_j)}{\sum_{j=1}^n (V_j)} \quad (4.20)$$

Avec :

Note (a_i) :La note de la action i

Note (T_j) :La note de la technique j

V_j : Le volume géré par la technique j

$\sum(V_j)$: La somme des volume

4.5.3.3 Intégration paysage

Les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales peuvent, dans la plus part des cas, être plus ou moins bien vues pour les habitants ou usagers. L'acceptabilité sociale d'une TA va être liée aux autres paramètres que ces ouvrages gardent et à leur insertion dans le tissu urbain. Nous avons a proposé trois paramètres à vérifier pour chaque type de technique alternative. Les paramètres sont :

1. Type d'ouvrage. Ouvrage enterré ou bien a ciel ouvert, si dans le cas où la TA est a ciel ouvert et la couche superficielle,est une couche de gazon, va tout à fait dans le sens des souhaits des habitats.
2. Possibilité de fonctions de loisir. Si dans le cas où la technique peut être utilisé, d'une part comme un ouvrage dont le but de retarder l'écoulement des eaux pluviales et d'autre part comme un lieu de loisir, l'acceptabilité sociale va être d'autant mieux assurée.
3. Risque de moustique et mauvaises odeurs. Si dans le cas d'un système a ciel ouvert profond, plus le risque de pollution du sol et la surface active de l'ouvrage, on aura le problème d'odeurs causé par la stagnation d'eau de pluie aussi le risque de moustique. l'acceptabilité sociale va être moins assurée.

Les notes d'états des techniques alternatives sont :

- **Note 1** : Si dans le cas où la technique alternative est enterrée et l'espace non utilisable, on donne une note de 1.
- **Note 2** : Si dans le cas où la technique alternative est enterrée et l'espace utilisable, on donne une note de 2.
- **Note 3** : Si dans cas où la technique alternative à ciel ouvert engazonné et l'espace non utilisable, on donne une note de 3.
- **Note 4** : Si la technique alternative est à ciel ouvert engazonné plus l'espace utilisable, on donne une note de 4.
- **Note 5** : Si dans le cas la technique alternative est à ciel ouvert en eau engazonné et la surface active est grande plus l'espace utilisable, on donne une note de 5.

Les notes des TA :(voir le tableau 4.13)

TABLE 4.13 – Les notes d'intégration des TA

Techniques	Type	Note	Définition de la note
Puits	Injection	2	La TA est enterrée et l'espace est utilisable
	Infiltration	2	
Tranchées	Drainante	2	La TA est enterrée et l'espace est utilisable , mais dans le cas engazonné on donne la note de 3
	Filtrante	2	
Fossés, noue	Rétention	3	La TA est à ciel ouvert engazonnée et l'espace non utilisable
	Filtrant	3	
CSR classique	Drainante	2	La TA est enterrée et l'espace est utilisable
	Filtrante	2	
Bassins	sec étanche	4	La TA à ciel ouvert engazonné et l'espace est utilisable si non on donne 3
	Sec infiltrant	4	
	En eau étanche	5	La TA en eau à ciel ouvert engazonné et l'espace est utilisable , si non on donne 4
	En eau infiltrant	5	
	Enterrées	2	La TA est enterré et l'espace est utilisable

L'intégration paysage d'une action A_i c'est la moyenne des performances des technique alternatives de la même action, comme le montre la relation suivante :

$$Note(a_i) = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n Note(T_j) \quad (4.21)$$

Note (a_i) :La note d'une action (a_i)

Note (T_i) :La note d'une technique (T_i)

4.5.3.4 Sécurité

Ce critère de jugement vise à prend en considération la santé et sécurité des usagers personnels.Dont le choix, affectation ou bien classement des actions, chaque système à ses effets, sur la santé et la sécurité des personnes, les risques sont principalement liés à leur structure et le milieu d'implantation. pour évaluer ce critère on s'est basé sur trois paramètres ci-après :

1. Le type de système. Ouvrage enterré ou bien à ciel ouvert, dans le cas enterré moins dangereux pour les personnels et les véhicules qu'un système à ciel ouvert.
2. Le lieu d'implantation . Si la TA à ciel ouvert se trouve dans une zone dense, à coté des écoles, des marchés et le mode d'accès potentiel à cette techniques facile le risque va être plus important, par contre si l'ouvrage et visible et l'accès difficile le risque moins important.
3. Dispositifs de protection. L'absence de signalisation,de dispositifs de sécurité autour de la TA ayant de forte profondeur, de sécurisation de l'ouvrage lui-même, sensibilité du milieu récepteur et difficulté d'évacuation de l'ouvrage peut être un risque majeur.

Les notes des différent états sont :

- **Note 1** : Si le système est à ciel ouvert , avec un dispositif de protection et risque de stagnation de l'eau de pluie , et accès facile aux personnes on donne une note de 1.
- **Note 2** : Si le système est à ciel ouvert avec des dispositifs de protection, accès difficile aux personnes et facilité d'évacuation, on donne une note de 2.
- **Note 3** : Si le système est enterré sans dispositifs de protection, accès faciles aux personnes on donne une note de 3.
- **Note 4** : Si le système est enterré filtrant , avec des dispositifs de protection, accès faciles et facilité d'évacuation on donne une note de 4.
- **Note 5** : Si le système est enterré de retention avec des dispositifs de protection, accès difficile aux personnes et facilité d'évacuation, on donne une note de 5.

Les notes des TA : (voir le tableau 4.14)

TABLE 4.14 – Les notes de sécurité des TA

Techniques	Type	Note	Remarque
Puits	Injection	5	Système enterré
	Infiltration	5	
Tranchées	Drainante	4	Système enterré
	Filtrante	4	
Fossés, noue	Rétention	3	Système à ciel ouvert
	Filtrant	3	
CSR à classique	Drainante	4	Système enterré et risque de stagnation d'eau
	Filtrante	4	
Bassins	sec étanche	3	Système à ciel ouvert sec
	Sec infiltrant	3	
	En eau étanche	2	Système à ciel ouvert en eau
	En eau infiltrant	2	
	Enterrées	5	

La note de l'action (a_i) a été considéré comme la moyenne des notes obtenues pour chaque technique comme le montre la relation suivante :

$$Note(a_i) = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n Note(T_j) \quad (4.22)$$

Note (A_i) : La note de l'action i

Note (T_j) : La note de la technique j

4.5.4 La pondération (poids) des critères par la méthode des cartons

Une des règles de l'analyse multicritères est de pondérer ces critères entre eux afin de prendre en compte leur importance relative aux yeux des acteurs. La pondération des

critères permet une meilleure prise en compte de l'ensemble des critères choisis et garantit une meilleure transparence dans l'approche multicritères pour la GEPMU par la répartition des poids sur les critères. Dans notre cas, la méthode des cartons [simon, 1990] a été choisie, parmi les différentes méthodes de pondération proposée.[32]

Ce choix vient du fait que la méthode nécessite peu de calculs. On distingue deux étapes :

La première, le décideur ordonne les cartons à sa convenance dans un classement, chaque carton contient un nom d'un seul critère, c'est une étape de distribution des cartons (voir le tableau 4.15)

TABLE 4.15 – Classement des critères par la méthode de cartons (175 livre ELECTRE)

Rang	Cartes	Rang inverse
1	Pour chaque rang on classe les critères par ordre décroissant, de plus important jusqu'au plus faible . Le nombre de critères de rang r est le nombre de carton placé.	n
2		n - 1
...		...
n		1

La deuxième étape, c'est la transformation de ces rangs en poids, se fait comme suit : Incrire le nombre N_r de critères du rang obtenu dans le classement inverse des critères (le tableau distribution des cartons).

Donner un poids relative P_r à chaque critère, ce poids dépend de nombre de carton déjà sont classés calcul :

Poids moyen par la relation suivante :

$$Q_r = \frac{\sum P_r}{N_r} \quad (4.23)$$

Poids relatif (en % arrondis) par la relation suivante :

$$R_r = \frac{Q_r}{\sum P} \quad (4.24)$$

Teste de contrôle par la relation :

$$\sum (N_r \cdot R_r) = 100\% \quad (4.25)$$

4.6 Méthode multicritere choisie

La méthode multicritere qui a été choisie pour l'agrégation des différents critères de jugement est la méthode ELECTEE III. Ce choix vient :

Du fait que l'objectif est de choisir une action parmi plusieurs action de projet (problématique gamma)

Du fait que nous avons des critères de natures différentes et évalués selon des modes et des échelles divers.

Du fait que les incertitudes de certains indicateurs sont importantes et doivent pourtant être prises en compte (recours aux pseudo-critères)

De plus, nous préférons des méthodes d'agrégation partielle, pour ne pas avoir de compensation entre les critères.

4.7 Conclusion

Aucune analyse multicritères n'est complète, chacun a un type d'analyse et tous sont améliorables. Ce chapitre avait pour but de donner des éléments de base concerts pour spécifier l'approche multicritères au cas de la GEPMU. Pour cela nous avons évalué d'une manière générale les actions et les techniques alternatives adaptables au site d'étude (chapitre 5) sur sept critères de jugement, en s'appuyant sur les informations nécessaires (disponibles) et les contraintes pratiques de la gestion des eaux pluviales. Ces éléments vont servir de base à la plantation des techniques alternatives en milieu urbain, sur un exemple réel sera présenté dans le chapitre suivant, et d'attendre la solution optimal, on utilise la méthode multicritère ELECTRE III.

Chapitre 5

Etude d'un cas réel

5.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation d'une application de la méthode ELECTRE III à la gestion des eaux pluviales d'une partie de la ville de Bejaia. Cette application reste dans le cadre d'optimisation basée sur l'analyse de chapitre précédent, non opérationnel, c'est-à-dire dans un nombre de situations nous avons été amenés à jouer le rôle de décideur. Ce dernier se décompose en deux parties. La première présente la problématique des eaux pluviales de la ville de Bejaia et nous détaillerons ensuite les éléments nécessaires à l'application de la méthode ELECTRE III sur le site d'étude. La deuxième partie présentera les résultats de surclassement des actions.

5.2 La problématique des eaux pluviales de la ville de Bejaia

5.2.1 Présentation de la ville Bejaia

5.2.1.1 Situation géographique

La willaya de Bejaïa s'étend sur une superficie de 3 223,48 Km², située sur le bassin méditerranéen, elle est limitée en point de vue administratif par la willaya de Jijel à l'Est, les willayas de Bouira et de Tizi-Ouzou à l'Ouest et les Willayas de Sétif et de Bordj Bou Arreridj au Sud.

La ville de Bejaïa est limitée par la mer méditerranée au Nord et à l'Est, la commune de Toudja à l'Ouest et les communes d'Oued Ghir et de Tala hamza au Sud. Voir la figure suivante :



FIGURE 5.1 – Photo aérienne de la ville de Bejaïa

5.2.1.2 Caractéristiques générales de la ville de Bejaïa

Grace à sa situation géographique, le plus important pôle industriel de la région, notamment par la concentration de nombreuses industries et, la présence d'un des plus grands ports pétroliers et commerciaux de Nord d'Algérie.

a - Le climat

Le climat de la ville de Bejaia est de type méditerranéen, étés chauds et secs, hivers humides et frais. Les deux paramètres climatiques essentiels dans la GEPMU sont les précipitations et la température.

b - Les précipitations

Les précipitations mensuelles moyennes d'intervalle de 1993 jusqu'à 2006 en mm, enregistrées dans la station pluviométrique d'Aéroport (voir le tableau) indique que le mois de Décembre représente la pluie mensuelle moyenne plus forte de 134.6mm.

TABLE 5.1 – Précipitations mensuelles moyennes (1993-2006) de la station pluviométrique d'Aéroport de Bejaia

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
pluie	126.4	92.8	45.3	69.6	39.8	143.2	26.2	10.2	55.1	56.4	92.4	134.6	762.1

c - Les Températures

Les mois les plus chauds sont Juin, Juillet, Aout et Septembre d'un écart de températures faibles par rapport aux autres mois. Le tableau suivant montre les températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la période : 1993 jusqu'à 2006.

TABLE 5.2 – Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la période : 1993 jusqu'à 2006

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Tmax	16.5	16.7	19.0	20.5	23.3	27.1	29.4	30.8	28.1	25.7	20.9	17.7	23.0
Tmoy	11.2	11.4	13.6	15.4	18.8	22.5	24.9	26.1	23.3	20.1	15.3	12.6	17.9
Tmin	07.4	7.4	09.2	10.8	14.5	18.0	20.5	21.7	18.8	13.2	11.7	09.0	13.8

5.2.2 Les causes principales des inondations de la ville de Bejaïa

Dans le cas de la ville de Bejaia, on a deux situations déferentes se produisent l'inondation, la première dans la période d'hivers où l'intensité de la pluie ne peut pas être gérée par la voie des superficies plus le réseau d'assainissement, la deuxième situation, l'inondation peut être produite dans une période sèche par une pluie de faible durée moyennement intense par rapport à la pluie plus forte dans la période d'été .

5.2.2.1 Les zones inondables de la ville de Bejaïa

Une urbanisation galopante, anarchique et non durable fortement destructrice des espaces agricoles et des espaces naturels, cause principalement du risque d'inondations, comme le cas de la ville de Bejaia, une concentration élevée des hommes et des activités industrielles et urbaines dans un espace réduit, fait de la ville souffrir du problème d'inondations pendant les périodes pluvieuses.

La ville de Bejaïa connaît, depuis des années des précipitations causent des inondations dans certains quartiers (zones) de la ville, notamment les quartiers :

Arrière port, Cité Tobale, Carrefour Dawadji, Carrefour d'Amriw, Stade, Tazebouchte, Ihddadaen, Ighil Ouazoug et Quatre chemins .

5.2.2.2 Causes principales des inondations de la ville de Bejaïa

La ville de Bejaïa souffre du problème d'inondations pendant les périodes pluvieuses, les causes principales sont :

- Manque d'entretien du réseau d'assainissement, nettoyage de la ville et aménagement des cours d'eaux.
- Occupation des espaces verts dans des zones inondables.

- Construction des infrastructures sur cours d'eaux.
- Diminution de la section des canaux, dans des points sensibles (intersection, traversée de la route).
- La géographie de la ville, en amont donne un terrain accidenté contrairement en aval un terrain plat.

5.3 Analyse des conditions d'implantation des techniques alternatives dans la zone d'étude

L'objectif est de mettre en place une stratégie de gestion des eaux pluviales d'une partie de la ville de Bejaïa. Pour répondre aux problèmes, actuels et avenir d'inondation et de pollution des zones risquées et les milieux récepteurs. On vise également avec l'absence de diagnostic sur l'évolution de l'occupation du sol et de l'imperméabilisation des espaces verts à mettre en oeuvre des TA.

5.3.1 Description la zone d'étude

Le site à l'étude est un terrain d'environ 211.43 ha, localise dans le centre ville de Bejaïa, délimité par Oued Seghir du côté Sud, Targa Ouzmour et Oussama du côté Ouest, de Dar Nacer et Djebel Gouraïa du côté Nord et la mer méditerranée mentant du point limite Alkoudes et Porte-Sarasine vers Djebel Gouraïa suivant la topographie du terrain dont le but d'assurer le volume des eaux de pluies vers la zone d'étude du côté Est. Comme la montre la figure suivante :

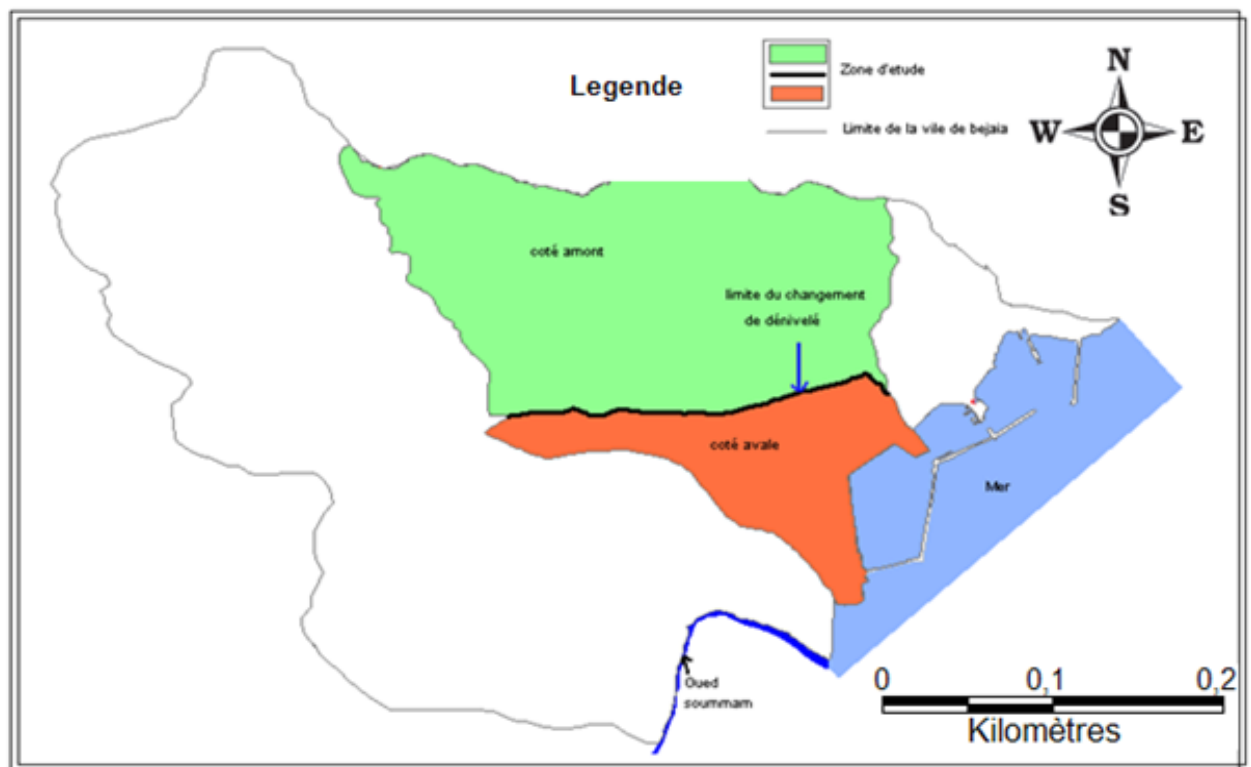


FIGURE 5.2 – Zone d'étude

D'après, la figure précédente, notre champ d'étude est composé de trois importantes surfaces, la première du côté aval à faible pente, la deuxième surface de limite approximative de dénivelée et la dernière du côté amont à forte pente. Pour gérer les eaux de pluie de cette zone, on propose une interprétation réelle sur laquelle se base l'implantation des TA.

5.3.2 Gérer les eaux pluviales de zone d'étude

Les écoulements des eaux de pluies, sont assurés par les chemins drainants, naturels (oued, rivière) ou artificiels (canal, conduite), mais les conditions générales d'écoulement sont commandées par la topographie du terrain. Donc, avant de guider le gestionnaire(s) (décideur(s)) de l'eau dans la ville vers la où les meilleures actions possibles, on doit proposer une idée générale sur laquelle se base l'implantation des TA adaptables au site.

Dont le cadre de notre travail et après avoir déterminé les causes principales du problème d'inondations par les eaux de pluie de la ville de Bejaïa, la figure suivante montre la topographie de la zone d'étude.

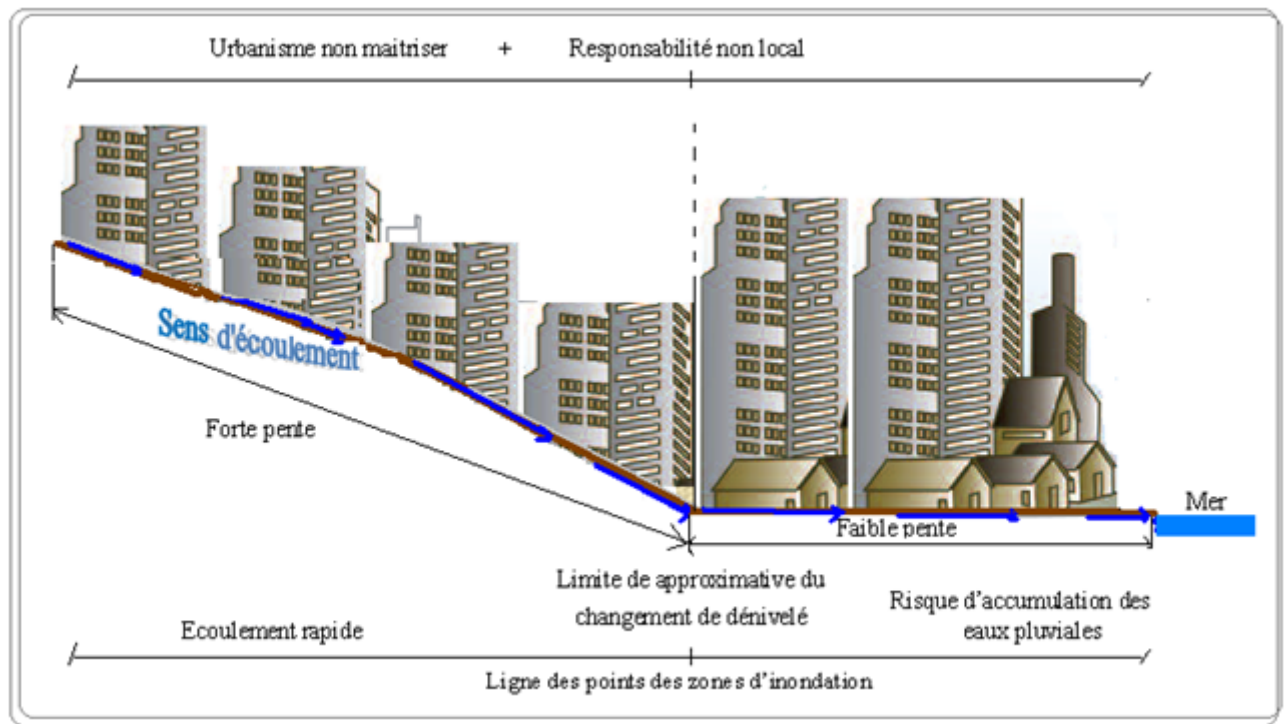


FIGURE 5.3 – Topographie de la zone d'étude

D'après la figure précédente, plusieurs hypothèses peuvent être imaginées, mais l'hypothèse qu'on a proposée, c'est de créer une chaîne des TA sur l'axe de la limite approximative du changement de dénivelée pour recevoir un volume d'eau du côté amont. On pourra s'en tenir à cette hypothèse pour les raisons suivantes :

- Le contrôle à la source des eaux de pluie est apparu une de ces hypothèses, mais les contraintes pratiques des ouvrages, comme la forte pente du terrain, urbanisation non maîtrisée et la responsabilité non locale, nous nous condamnons pour le choix des TA adaptables.
- Aussi, le contrôle en aval apparu une solution défavorable du point de vue technique, puisque le terrain du côté aval est à faible pente et la plupart des zones où se produit l'inondation sont situées en amont.

5.3.3 Présentation des points d'implantation des techniques alternatives

Après avoir présenté l'hypothèse d'analyse sur le principe de gérer les eaux de pluie de la zone d'étude, nous montrons dans le paragraphe suivant les sous bassins du côté amont et les espaces disponibles pour la pratique et la mise en place des TA.

5.3.3.1 Les sous bassins

Afin de pouvoir étudier et comparer les solutions possibles, il est important d'identifier les sous bassins concernés par le projet, dont le but d'estimer le volume d'eau à prendre en considération et les systèmes alternatives qui seront plantés. La partie de la zone d'étude est formée de quatre sous bassins versants, nous avons délimité les SB à partir du plan topographique, les estimations des superficies et des longueurs (L) ont été mesurées sur la carte de la ville callée sur MapINFO, comme les montre la figure suivante :

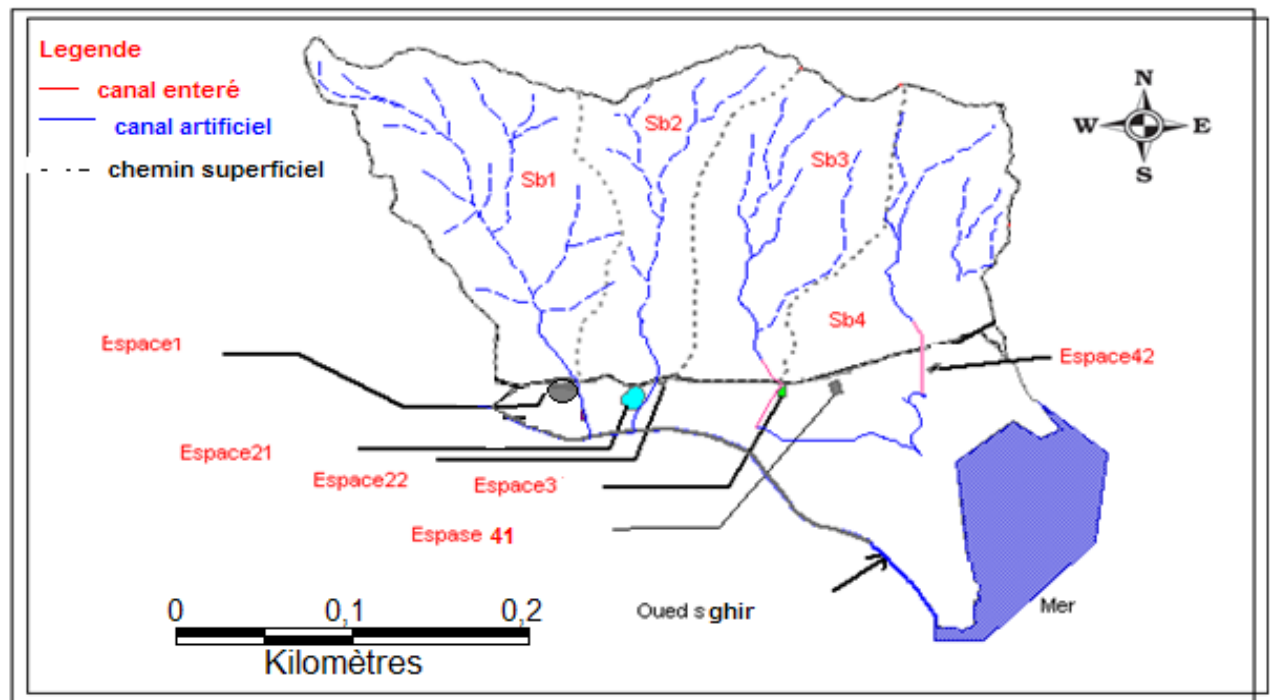


FIGURE 5.4 – Sous bassins

La superficie de la partie de la zone d'étude est 159.11 ha, composée de quatre sous bassins :

- Le premier SB correspond à une zone moyennement urbanisée, occupé par des habitats individuels, débouchant en Stade (canal artificiel) d'une superficie de 58.10 ha, Il est limité par la rue Targa ouzmour vers le Stade au Sud vers Dar nacer et Oussama au Nord
- Le second est un territoire moyennement urbanisé, occupé par des habitats individuels, débouchant en Amriw (canal artificiel) d'une superficie de 32.80 ha, Il est limité par la rue du Stade vers Amriw au Sud vers Dar nacer et Gouraïa au Nord .
- Le troisième est moyennement urbanisé, occupé par des habitats individuels et d'habitats collectifs d'une superficie de 36.75 ha, Il est limité par la rue Amriw vers

Dawadji au Sud et Gouraïa au Nord.

- Le dernier est moyennement urbanisé, occupé par des habitats individuels et d'habitats collectifs d'une superficie de 31.45 ha, Il est limité par la rue Dawadji vers la place de Guidant au Sud, vers Gouraïa au Nord.

5.3.3.2 Espaces choisir

Nous avons considéré ici des espaces disponibles et un espace privé au niveau de la willaya. La photo aérienne montre les espaces disponibles pour l'implantation des TA.

- Au niveau du Stade (E1), (ancien arrêt de bus), c'est un terrain plat imperméable, d'une superficie de 210.30 m².
- Au niveau d'Amriw(E21, E22) , il y a une possibilité d'utiliser le bassin en eau du Parc de la willaya de Bejaia(E21), d'une superficie de 319.93 m², aussi la scène de la maison de la culture (E22), d'une superficie de 13.45 m².
- Au niveau de Dawadji(E3), c'est un terrain engazonné à faible pente, d'une superficie de 56.61 m² .
- Au niveau de la willaya(E41), c'est un terrain plat imperméable, d'une superficie de 142.9 m² .
- Au niveau de Lakhmis(E4), c'est un terrain plat imperméable, ancien arrêt de bus , d'une superficie de 79.4 m² .



FIGURE 5.5 – Espaces d'implantation des techniques alternatives

TABLE 5.3 – Récapitulative des zones et espaces utilisables

Sous bassin	Zones	Espace	Surface	
			Sb(ha)	Espace (m ²)
Sb1	Stade	E1	5.81	210.3
Sb2	Amriw	E21	3.28	319.93
		E22		13.45
Sb3	Wilaya	E3	3.67	56.61
Sb4	Nouvelle- ville	E41	3.14	142.9
		E42		79.4

5.3.3.3 Calculs le volumes d'eau pluviale

Les volumes d'eau variant suivant la période de retour d'une pluie donnée (Tableau 5.4). Dans notre cas pratique, on prend trois périodes de retour pour une pluie de durée de 30 mn. Les volumes d'eau pluviale à été calculés pour les trois périodes de retour : 5ans, 10ans et 20ans (Tableau 5.5).

TABLE 5.4 – Caractéristiques des pluies de déférentes périodes de retour : 5ans,10ans et 20ans

Période de retour ans	Durée (mn)	Intensité maximale	Pluie (mm)
T=5	30	32.4	64.8
T=10	30	38.2	76.4
T=20	30	43.3	86.6
Direction générale d'hydraulique Bejaia.			

TABLE 5.5 – Volume d'eau pluviale à gérer

Sous bassin	Débit de pointe (m ³ /h)	Volume totale (m ³)
Sb1	7906,25	3953,12
Sb2	5101,06	2550,53
Sb3	6310,71	3155,36
Sb4	4891,10	2445,55
Sb1	9321,56	4660,78
Sb2	601421	3007,10
Sb3	7440,41	3720,20
Sb4	5766,67	2883,34
Sb1	1056734	5283,67
Sb2	681778	3408,89
Sb3	843355	4216,78
Sb4	6535,94	3267,97

5.3.4 Choisir le type d'ouvrage à utiliser

Une différence fondamentale sépare les techniques alternatives et les espaces d'implantation en milieu urbain, cette dernière ne peut satisfaire que des seules exigences de base qui sont : la durabilité, la sécurité, l'intégration, l'économie et la facilité d'entretien. Cinq types de techniques alternatives ont été considéré dans notre travail, les autres techniques ont été éliminé par la contrainte du site (terrain) et, leurs demande de technicité.

Proposition

Cinq types de techniques alternatives destinés au contrôle du ruissellement peuvent s'intégrer aux projets urbains de la ville de Bejaïa ; qui nous paraît être des solutions les mieux adaptées pour répondre aux problèmes actuels en matière de la gestion des eaux

pluviales de la zone d'étude (voire fig. ci-dessous).

5.3.4.1 Noue

Noue autour d'espace (E41) au niveau de la willaya. Elle accueillera le surplus d'eau de ruissellement d'une partie de sous bassin (4), alimentée à partir d'un regard avec des différents dispositifs d'épuration (avaloir, panier, décanteur), l'eau stockée est ensuite évacuée vers un exutoire-réseau d'assainissement, puits vers l'Oued Salomon.

5.3.4.2 Chaussée à structure réservoir

CSR classique sera drainante et permettra de stocker temporairement un volume d'eau d'une partie de sous bassin (4). Celle-ci, placée en perpendiculaire de la route de la willaya ; l'alimentation et le vidange se fait à partir d'un regard avec différents dispositifs d'épuration (avaloir, panier, décanteur), l'eau stockée est ensuite évacuée vers un exutoire-réseau d'assainissement, puits vers l'Oued Salomon.

5.3.4.3 Bassin à ciel ouvert sec

Le Bassin sera à ciel ouvert sec engazonné au niveau du Stade et de Dawadji, Il est destiné à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement. Le premier bassin de retention permettra de stocker un volume d'eau de sous bassin(1). Alimenter à partir d'un canal artificiel, l'eau stockée est ensuite évacuée vers le même canal. Le deuxième bassin à ciel ouvert sec permettra de stocker un volume d'eau de sous bassin (3) .Alimenter à partir d'un bassin enterré, ensuite l'eau stockée est évacuée vers un exutoire-réseau d'assainissement, puits vers l'Oued Salomon.

5.3.4.4 Bassin en eau

L'utilisation du bassin à ciel ouvert du Parc de Bejaïa comme solution à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement de sous bassin(2). Alimenter à partir d'un canal artificiel, l'eau stockée est ensuite évacuée vers un canal artificiel.

5.3.4.5 Bassin enterré

Le premier bassin sera au niveau de l'Akmis, Il permettra de stocker un volume d'eau d'autre partie de sous bassin (4), alimenter à partir d'un réseau d'assainissement, ensuite évacuée vers un réseau d'assainissement. Le deuxième bassin sera la deuxième proposition dont le but de gérer les eaux pluviales de sous bassin (3) dans le même espace, l'alimentation et le vidange de l'ouvrage sera identique au bassin à ciel ouvert sec engazonné. Le troisième bassin au niveau d'Amriw, il sera la deuxième proposition, qui permettra de stocker un volume d'eau de sous bassin (2) et le dernier bassin au niveau de Stade à la place du bassin sera à ciel ouvert sec engazonné.

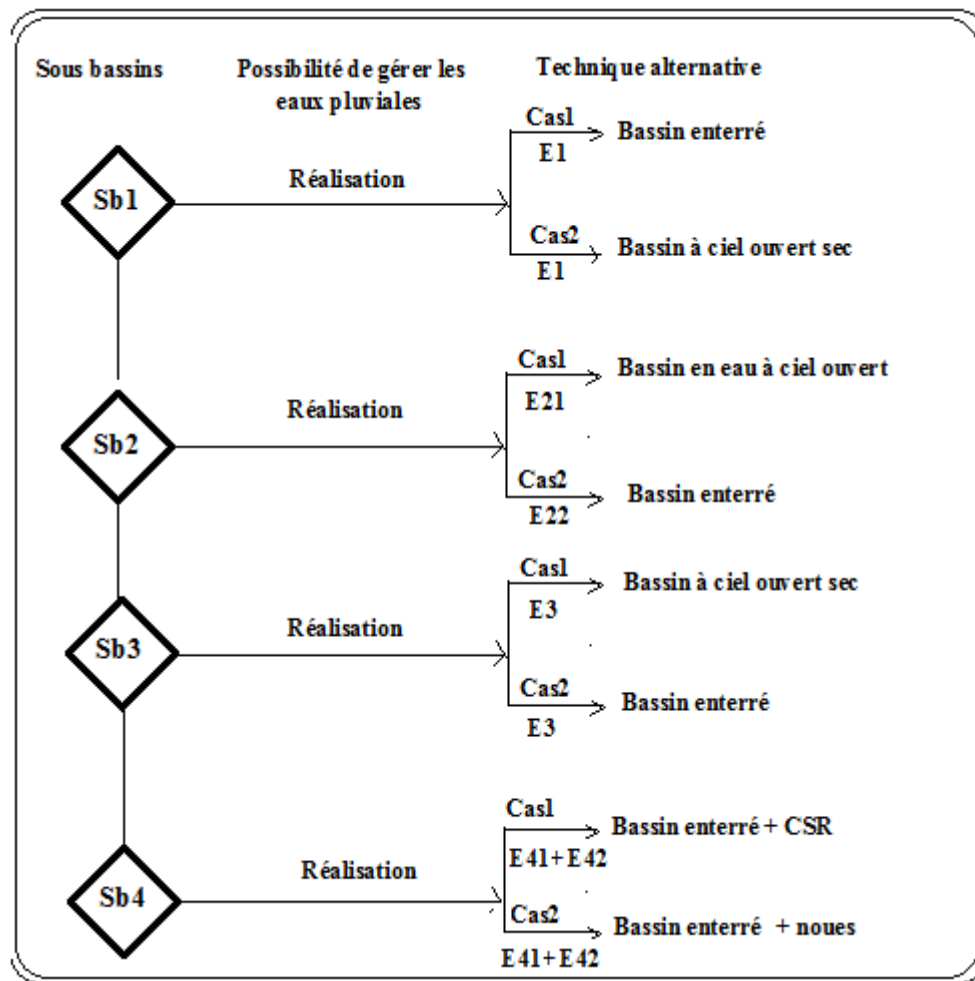


FIGURE 5.6 – Cas possibles d’implantation des techniques alternatives dans la zone d’étude

5.4 Application de la méthode ELECTRE III

5.4.1 Choix des critères et évaluation des actions

Dans le cadre de cet exemple et dans le but d’appliquer la méthode ELECTRE III, l’évaluation des actions a pris les sept critères développés dans le chapitre précédent, le coût de réalisation, le coût d’entretien, la capacité de rétention, la probabilité de dysfonctionnement, l’intégration paysage et la sécurité. L’évaluation des actions selon les échelles de chaque critère demande d’abord la première partie d’écrire la matrice des performances des techniques alternatives.

5.4.2 Matrice des performances des techniques alternatives

Les critères qualitatifs, la probabilité de dysfonctionnement, retenues de la pollution, l’intégration paysage et la sécurité, ont été évalués d’après l’analyse du chapitre précédent. Le critère de probabilité de dysfonctionnement est évalué en %, les autres critères, ils sont évalués sur une échelle de 1 à 5. Les critères quantitatifs, coût de réalisation, coût

d'entretien et la capacité de rétention de chaque technique sont évalués numériquement. La matrice des performances des techniques alternatives est représentée dans le tableau 5.6 suivant :

TABLE 5.6 – Matrice des performances des techniques alternatives

Critère			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
			Cout de réalisation	Cout d'entretien	Capacité de rétention	Probabilité dysfonctionnement	Retenu de la pollution	Intégration paysage	Sécurité
Unité			DA	DA/an	M ³	%	1...5	1....5	1...5
Sens			↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑
Technique Alternative	E1	Bassin à ciel ouvert sec	2342884	18000,00	360	20%	5	4	2
	E1	Bassin enterré	782519	35000,00	350	20%	5	2	5
	E21	Bassin en eau à ciel ouvert	273950	66000,00	250	20%	5	4	3
	E22	Bassin enterré	1693500	18000,00	200	20%	5	2	5
	E3	Bassin à ciel ouvert sec	651210	35000,00	250	20%	5	5	3
	E3	Bassin enterré	1540010	18000,00	240	20%	5	2	5
	E41	CSR classique drainante	5712695	22000,00	160	80%	3	2	4
	E41	Noues	969608	37000,00	188	40%	3	3	3
	E42	Bassin enterré	1074000	18000,00	120	20%	5	2	5

5.4.3 Définir les actions possibles

Dans le cadre de cet exemple d'application, l'action contient cinq techniques, on fixe à chaque fois une TA et on cherche tous les possibilités d'assembler cette dernière avec d'autres techniques dans des espaces déferents, comme le montre le tableau ci-dessous :

TABLE 5.7 – Définition des actions

Action	Techniques alternatives								
	Bassin enterré	Bassin à ciel ouvert sec	Bassin en eau à ciel ouvert	Bassin enterré	Bassin à ciel ouvert sec	Bassin enterré	CSR classique drainante	Noues	Bassin enterré
A1		❖	❖			❖	❖		❖
A2		❖	❖			❖		❖	❖
A3		❖	❖		❖		❖		❖
A4		❖	❖		❖			❖	❖
A5		❖		❖		❖	❖		❖
A6		❖		❖		❖		❖	❖
A7		❖		❖	❖		❖		❖
A8		❖		❖	❖			❖	❖
A9	❖		❖			❖	❖		❖
A10	❖		❖			❖		❖	❖
A11	❖		❖		❖		❖		❖
A12	❖		❖		❖			❖	❖
A13	❖			❖		❖	❖		❖
A14	❖			❖		❖		❖	❖
A15	❖			❖	❖		❖		❖
A16	❖			❖	❖			❖	❖

5.4.4 Matrice des performances des actions

La matrice des performances des actions proposées en fonction de différents critères retenus est donnée dans le tableau 5.6.

TABLE 5.8 – Matrice des performances des actions

Critère		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
		Cout de réalisation	Cout d'entretien	Capacité de rétention	Probabilité dysfonctionnement	Retenu de la pollution	Intégration paysage	Sécurité
Unité		DA	DA	M ³	1....5	%	1....5	1...5
Sens		↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑
Action	Mode de calcul	Σ	Σ	Σ	MP	MP	M	M
	A1	9383174,00	159000,00	1120,00	28,57	4,71	3,00	3,80
	A2	4640087,00	174000,00	1148,00	23,28	4,15	3,20	3,60
	A3	8494374,00	176000,00	1130,00	28,50	4,72	3,40	3,40
	A4	3751287,00	191000,00	1158,00	23,25	4,68	3,60	3,20
	A5	10802724,00	111000,00	1070,00	28,97	4,70	2,40	4,40
	A6	6059637,00	126000,00	1098,00	23,42	4,66	2,60	4,20
	A7	9913924,00	128000,00	1080,00	28,89	4,70	2,80	4,00
	A8	5170837,00	143000,00	1108,00	23,39	4,66	3,00	3,80
	A9	10943539,00	142000,00	1130,00	28,50	4,72	2,60	4,20
	A10	6200452,00	157000,00	1158,00	23,25	4,68	2,80	4,00
	A11	10054739,00	159000,00	1140,00	28,42	4,72	3,00	3,80
	A12	5311652,00	174000,00	1168,00	23,22	4,68	3,20	3,60
	A13	12363089,00	94000,00	1080,00	28,89	4,70	2,00	4,80
	A14	7620002,00	109000,00	1108,00	23,39	4,66	2,20	4,60
	A15	11474289,00	111000,00	1090,00	28,81	4,71	2,40	4,40
	A16	6731202,00	126000,00	1118,00	23,96	4,66	2,60	4,20
Σ : Somme M : Moyenne arithmétique MP : Moyenne pondéré								

5.4.5 Choix des paramètres

La méthode ELECTRE III nécessite la pondération des critères par la répartition des poids sur les cinq (5) critères et le choix de trois seuils pour chaque critère, seuil d'indifférence, de préférence stricte et de véto.

Dans notre étude, nous avons opté pour l'utilisation de l'exécutable de la méthode ELECTRE III - IV (Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la DEcision Université Paris Dauphine). Le fait que l'exécutable est valable pour des systèmes de nombre de critères limité à cinq (5) et le nombre d'actions à six (6). Les valeurs des seuils ont été attribuées de façon arbitraire et le poids de critères sont classés par ordre d'importances pour chaque stratégie à l'aide de la méthode des cartons. (voir annexe 5)

5.5 Stratégie étudiée

Nous avons étudié quatre stratégies différentes en tenant compte de deux (02) éléments principaux d'optimisation.

- Le type des critères retenus ;
- Le jeu de coefficients de pondérations adoptées.

Ces deux éléments ont été définis sur la base des priorités souvent adoptées par les services " Techniques " et de " l'environnement " de l'hydraulique de la wilaya de Bejaïa.

Les services techniques favorisent le critère économique (C1 et C2) alors que les autres services favorisent les critères environnementaux.

En outre, les critères hydrauliques (C3) de durabilité (C4) et de sécurité (C7) ont aussi, une importance appréciable dans ce type d'étude.

D'autre part, nous avons affecté des coefficients de poids aux différents critères en tenant compte de leurs importances ci-dessus.

Pour chaque stratégie, les critères sont classés par ordre d'importance croissante, comme le montre le tableau 5.9

TABLE 5.9 – Classement des critères par ordre d'importance

Stratégie	Critères						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A	1	2	3	4			5
B	5	4	3	2			1
C	1			2	4	5	3
D	5			4	1	2	3

La comparaison des actions dans chaque stratégie utilisée ici se résume à cinq (05) critères (C1, C2, C3, C4, C7) et seize (16) actions. Dans chaque surclassement de la même stratégie, on compare six (06) actions par les cinq (05) critères retenus. On distingue :

- Surclassement d'actions alternatives a_1 et a_6 .
- Surclassement d'actions a_8 et a_{12}

- surclassement d'actions alternatives a_{12} et a_{16} et la meilleure action de surclassement 1 et 2.
- Les relations finales de surclassement d'une stratégie résume à cinq (05) critères (C1, C2, C3, C4, C7) et les deux meilleurs actions de chaque surclassement 1, 2 et 3.

Stratégie A

Pondération des critères

- Stratégie A : choisit d'avantager le critère économique, coût de réalisation et d'entretien plus la capacité de rétention.

Le nom de chaque critère (C7, C4, C3, C2, C1) est inscrit sur un carton par ordre d'importance croissante et l'introduction de cartons blancs entre (C7, C4), (C4, C3) et (C3, C2) permettant de renforcer les différences (poids) comme le montre le tableau 5.10

TABLE 5.10 – Classement des critères de la première stratégie A

Rang	Carte (Ci)	Rang inverse
1	C7	8
2		7
3	C4	6
4		5
5	C3	4
6		3
7	C2	2
8	C1	1

La transformation des rangs en poids du tableau 5.10 se fait comme suit (tableau 5.11)

TABLE 5.11 – Transformation du rangs en poids

Rang inverse*	Critères de rang	Nombre de critères de rang r	Poids	Poids moyen	Poids relatif(en% arrondis)	Contrôle (en %)
r	-	N_r	P_r	$Q_r = \frac{\sum P_r}{N_r}$	$R_r = \frac{Q_r}{\sum P}$	N_r.R_r
1	C7	1	1	1	4	1*4=4
2	Blanc	--	2		--	--
3	C4	1	3	3	13	1*13=13
4	Blanc	--	4		--	--
5	C3	1	5	5	21	1*21=21
6	Blanc	--	6		--	--
7	C2	1	7	7	29	1*29=29
8	C1	1	8	8	33	1*33=33
Somme						100

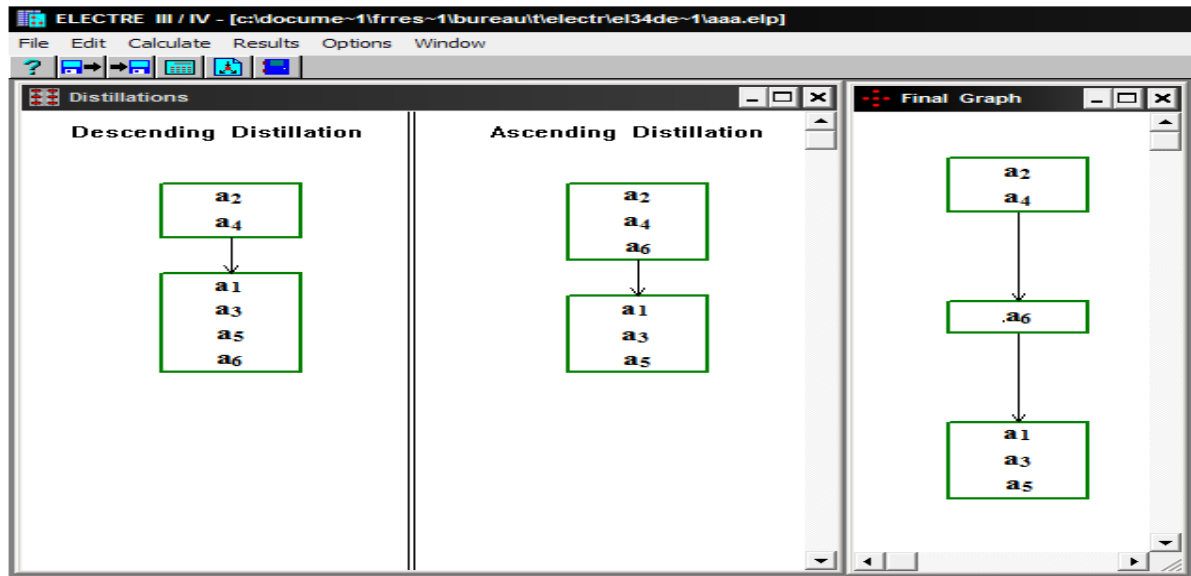
Poids des critères de la stratégie A sont représentés dans le tableau 5.12 suivant :

TABLE 5.12 – Poids des critères (en %)

Critère	Poids
Coût de réalisation (C1)	33
Coût d'entretien(C2)	29
Capacité de rétention(C3)	21
Probabilité de dysfonctionnement(C4)	13
Sécurité(C7)	4

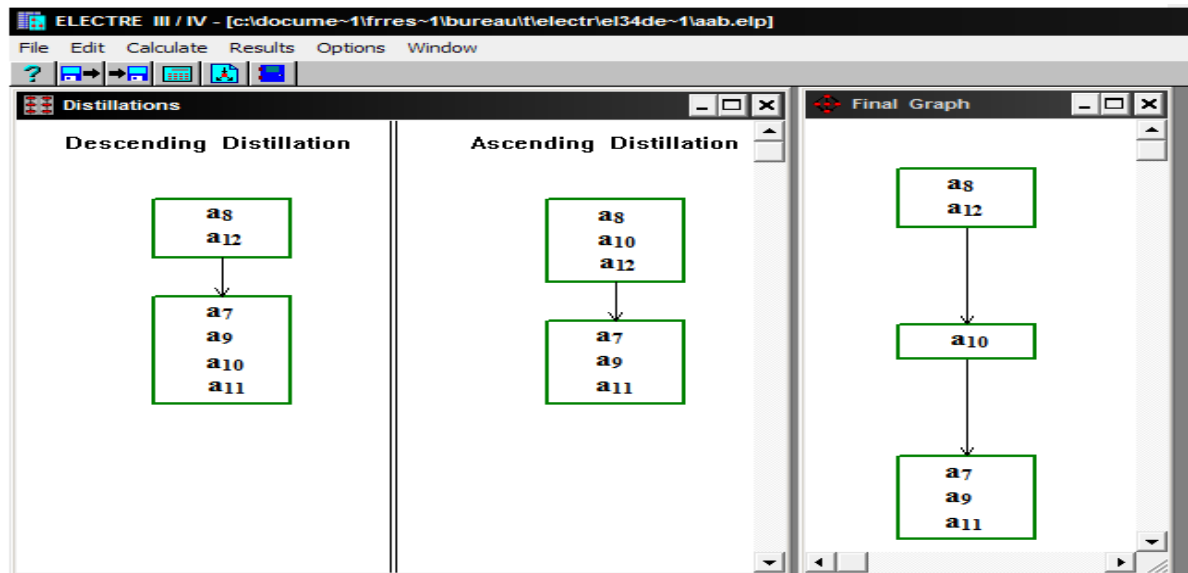
★ Résultats

- Les résultats de surclassement d'actions alternatives a_1 à a_6 en fonction des cinq (05) critères (C1, C2, C3, C4, C7) sont présentés dans la figure 5.7.

FIGURE 5.7 – Relations de comparaison d'actions a_1 à a_6 de la stratégie A

D'après la figure 5.7, a_2 et a_4 sont deux actions indifférentes deux à deux surclassent les autres actions. Viennent ensuite l'action a_6 , puis les actions a_1 , a_3 et a_5 , qui sont trois solutions indifférentes.

- Les résultats de surclassement d'actions a_7 à a_{12} en fonction des cinq critères, qui sont présentés dans la figure 5.8

FIGURE 5.8 – Relations de comparaison des actions a_7 à a_{12} de la stratégie A

Les résultats de surclassement d'actions a_7 à a_{12} ne diffèrent pas de façon importante de la situation précédente (5.7). a_8 et a_{12} sont deux actions indifférentes deux à deux

surclassent les autres actions. Viennent ensuite l'action a_{10} , puis les actions a_7 , a_9 et a_{11} , qui sont trois solutions indifférentes.

- Dans ce cas, on prend la meilleure action de chaque surclassement précédant. Les résultats de surclassement d'actions alternatives a_{13} à a_{16} plus a_2 à a_8 en fonction des cinq critères, qui sont présentés dans la figure 5.9

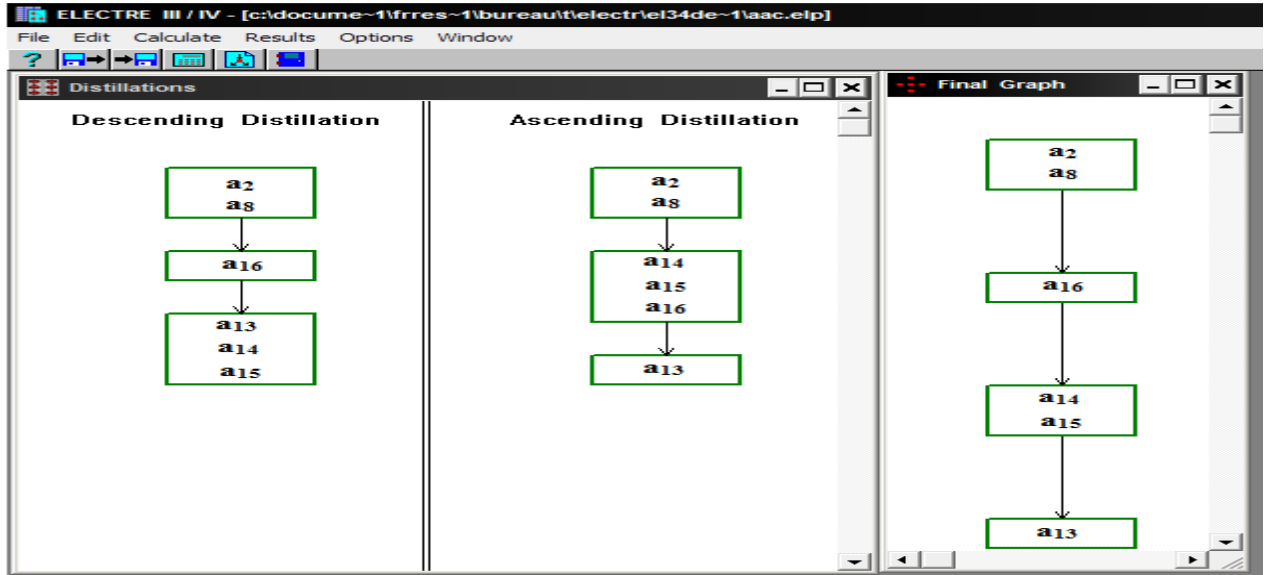


FIGURE 5.9 – Relations de surclassement 3 de la stratégie A

D'après la 5.9, a_2 et a_8 sont deux actions indifférentes deux à deux surclassent les autres actions. Viennent ensuite l'action a_{16} , puis les actions a_{14} , a_{15} et a_{15} , qui sont deux solutions indifférentes, puis l'action a_{13} .

- Les relations finales de surclassement du système 1, première stratégie résume à cinq (05) critères et alternatives a_2 , a_4 , a_8 , a_{10} plus a_{12} et a_{16} les meilleurs actions des trois surclassement.

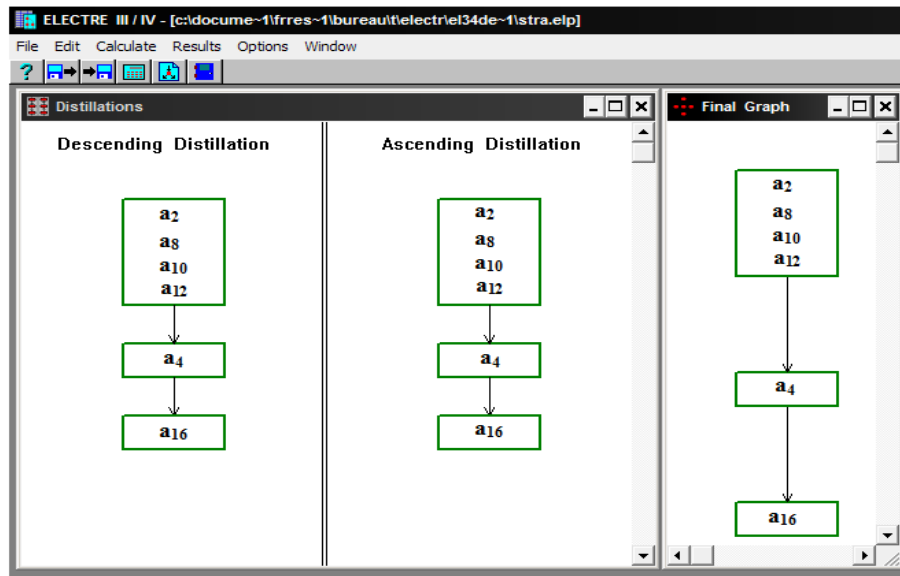


FIGURE 5.10 – Relations de surclassement final de la stratégie 2

La relation finale de surclassement du système 1, première stratégie ne diffère pas de façon importante des trois surclassements, puisque les actions a_2 et a_8 sont deux actions indifférentes avec a_{10} et a_{12} deux à deux surclassent les actions a_4 et a_{16} .

★ Stratégie B

Pondération des critères

- Stratégie B :), choisit d'avantager les critères de sécurité et la probabilité de dysfonctionnement.

Le nom de chaque critère (C1, C2, C3, C4, C7) est inscrit sur un carton par ordre d'importance croissante et l'introduction de cartons blancs entre (C2, C3), (C3, C4) et (C4, C7) permettant de renforcer les différences (poids) comme le montre le tableau 5.13

TABLE 5.13 – Classement des critères de la stratégie B)

Rang	Cartes (C_i)	Rang inverse
1	C1	8
2	C2	7
3		6
4	C3	5
5		4
6	C4	3
7		2
8	C7	1

La transformation des rangs en poids du tableau 5.13 se fait comme suit (tableau 5.14)

TABLE 5.14 – Transformation de rangs en poids

Rang inverse*	Critères de rang	Nombre de critères de rang r	Poids	Poids moyen	Poids relatif(en% arrondis)	Contrôle (en %)
r	-	N _r	P _r	$Q_r = \frac{\sum P_r}{N_r}$	$R_r = \frac{Q_r}{\sum P}$	N _r .R _r
1	C1	1	1	1	5	1*5=5
2	C2	1	2	2	10	1*10=10
3	Blanc	--			--	--
4	C3	1	4	4	19	1*19=19
5	Blanc	--			--	--
6	C4	1	6	6	28	1*28=28
7	Blanc	--			--	--
8	C7	1	8	8	38	1*38=38
Somme				21		100

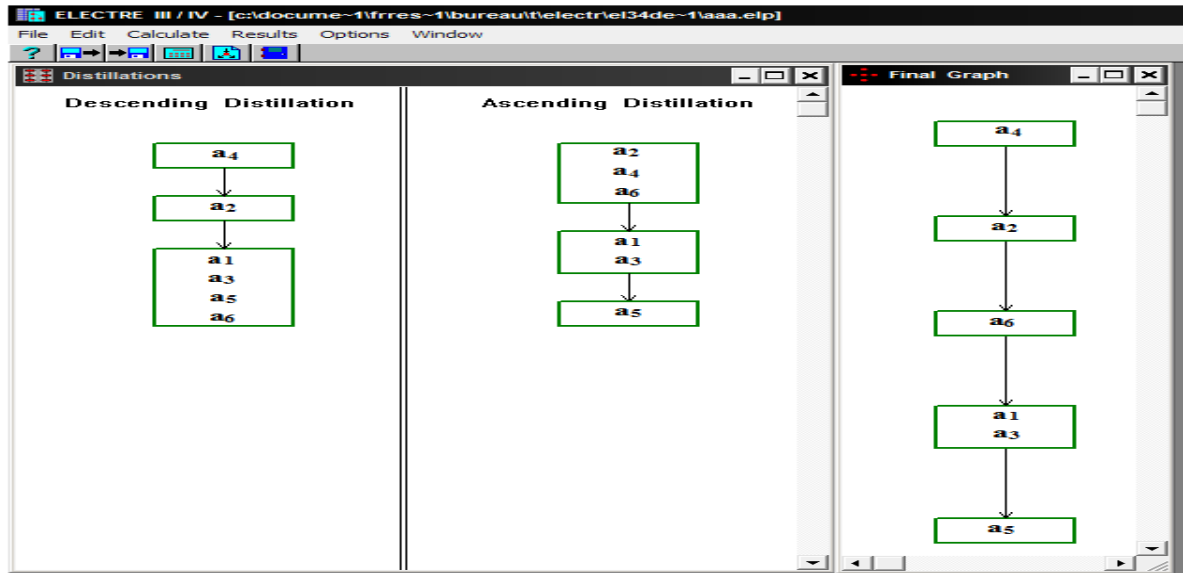
Poids des critères de la stratégie B sont représenté dans le tableau 5.15 suivant :

TABLE 5.15 – Poids des critères (en %)

Critère	Poids
Coût de réalisation (C1)	5
Coût d'entretien(C2)	10
Capacité de rétention(C3)	19
Probabilité dysfonctionnement(C4)	28
Sécurité(C7)	38

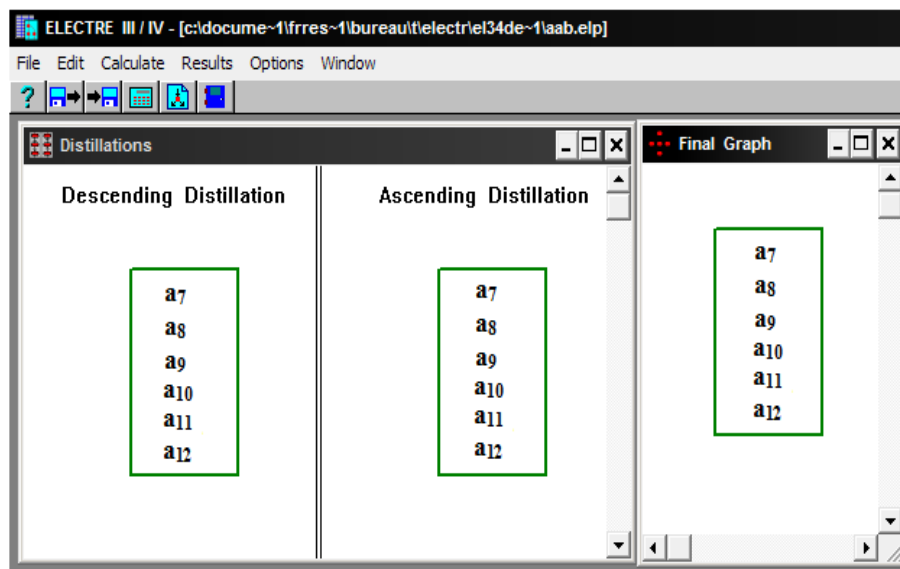
★ Résultats

- Les résultats de surclassement d'actions a_1 et a_6 en fonction des cinq (05) critères (C1, C2, C3, C4, C7) sont présentés dans la figure 5.11.

FIGURE 5.11 – Relations de surclassement d'actions a_1 et a_6 de la stratégie B

D'après la figure 5.11, l'action a_4 surclasse les autres actions. Viennent ensuite l'action a_6 , puis les actions a_1, a_3 indifférentes deux à deux surclassent l'action a_5 .

- Les résultats de surclassement d'actions a_7 et a_{12} en fonction des cinq critères sont présentés dans la figure 5.12

FIGURE 5.12 – Relations de surclassement final d'actions a_7 et a_{12} de la stratégie B

Les résultats de surclassement d'actions a_7 et a_{12} sont totalement différents de la situation de la stratégie 1 (figure 5.8). a_7 et a_{12} sont des actions indifférentes deux à deux.

- Dans ce cas, on prend la meilleure action de chaque surclassement précédant. Les résultats de surclassement d'actions a_{12} et a_{16} plus a_4 et a_7 en fonction des cinq (05) critères sont présentés dans la figure 5.13.

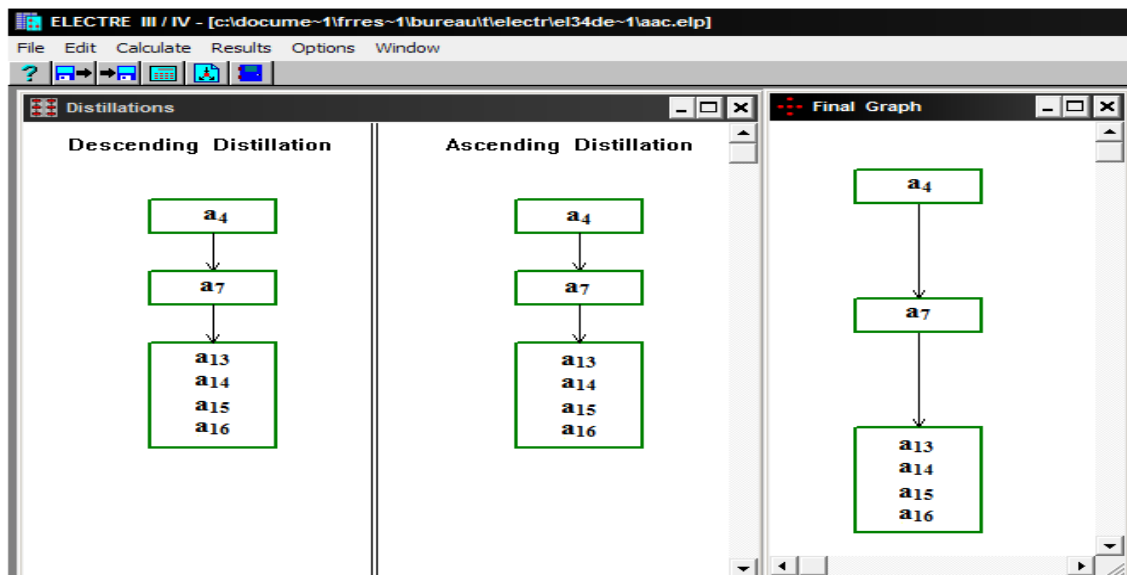


FIGURE 5.13 – Relations de surclassement d'actions a_{12} et a_{16} plus a_4 et a_7 pour la stratégie B

D'après la figure 5.13, a_4 surclasse les autres actions. Viennent ensuite l'action a_7 , puis les actions a_{12} et a_{16} qui sont des solutions indifférentes.

- Les relations finales de surclassement de la stratégie B résume les cinq (05) critères (C1, C4, C5, C6, C7) et a_2, a_3, a_4, a_6, a_7 et a_{17} les meilleures actions des trois surclassement.

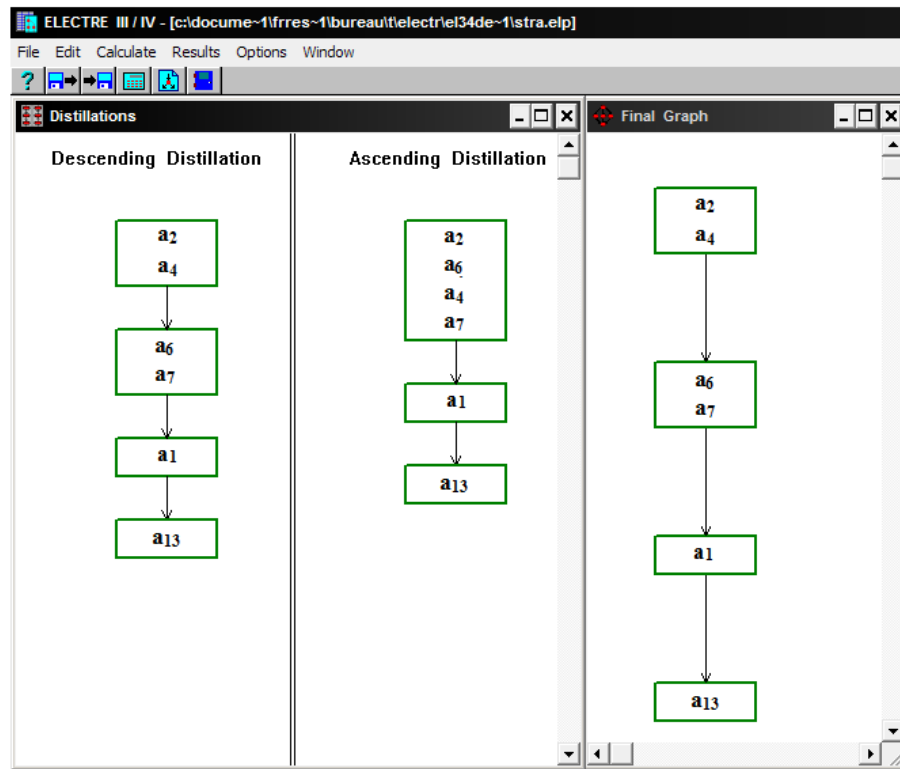


FIGURE 5.14 – Relations de surclassement final de la stratégie B

D'après la figure 5.14, l'action a_2 est toujours en position favorable et meilleur pour chacun des deux stratégies. a_2 et a_4 sont deux actions indifférentes, puis surclassent a_6 et a_7 puis. En suit, surclassent l'action 1. Cette dernière surclasse l'action a_{13} .

Stratégie C

Pondération des critères

- Stratégie C : choisit d'avantager le critère économique, coût de réalisation, et la probabilité de dysfonctionnement et la sécurité.

Pour la stratégie 1, chaque critère (C_6 , C_5 , C_1) est inscrit sur un carton, sauf les critères C_4 et C_7 sont classés sur deux cartons de même rang (5) et l'introduction de deux cartons blancs entre C_5 et C_4 , un carton entre C_4 et C_3 plus C_3 et C_2 permettant de renforcer les différences (poids) comme le montre le tableau 5.16

TABLE 5.16 – Classement des critères de stratégie C

Rang	Cartes (C_i)	Rang inverse
1	C6	7
2	C5	6
3		5
4		4
5	C4 C7	3
6		2
7	C1	1

La transformation des rangs en poids du tableau 5.16 se fait comme suit (tableau 5.17) :

TABLE 5.17 – Transformation de rangs en poids

Rang inverse*	Critères de rang	Nombre de critères de rang r	Poids	Poids moyen	Poids relatif(en% arrondis)	Contrôle (en %)
r	-	N_r	P_r	$Q_r = \frac{\sum Pr}{N_r}$	$R_r = \frac{Q_r}{\sum P}$	N_r.R_r
1	C6	1	1	1	5	1*5=5
2	C5	1	2	2	9	1*9=9
3	Blanc	--	--	--	--	--
4	Blanc	--	--	--	--	--
5	C3 , C7	2	5,6	5,5	25	2*25=50
6	Blanc	--	--	--	--	--
7	C1	1	8	8	36	1*36=36
Somme			22			100

Poids des critères de la stratégie C sont représentés dans le tableau 5.18 suivant :

TABLE 5.18 – Poids des critères (en %)

Critère	Poids
Coût de réalisation (C1)	36
Probabilité de dysfonctionnement(C4)	25
Sécurité(C7)	25
Retenu de la pollution(C5)	9
Intégration paysage (C6)	5

★ Résultats

Les résultats de surclassement d'actions a_1 à a_6 en fonction des 05 critères (C1, C4, C5, C6, C7) sont présentés dans la figure 5.15 suivante.

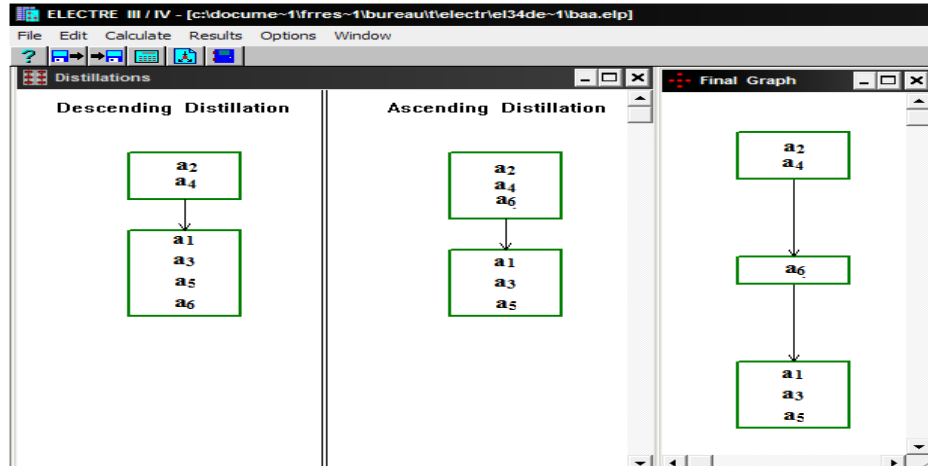


FIGURE 5.15 – Relations de surclassement d'actions a_1 à a_6 de la stratégie C

D'après la figure ?? les résultats des surclassements d'actions a_1 à a_6 de la stratégie 1 de système 2 sont identiques aux résultats de la stratégie A. Les deux actions a_1 et a_4 sont indifférentes deux à deux surclassent les autres actions. Viennent ensuite l'action a_6 , puis les actions a_2 , a_3 et a_5 qui sont trois solutions indifférentes.

- Les résultats de surclassement d'actions a_7 à a_{12} sont présentés dans la figure 5.16

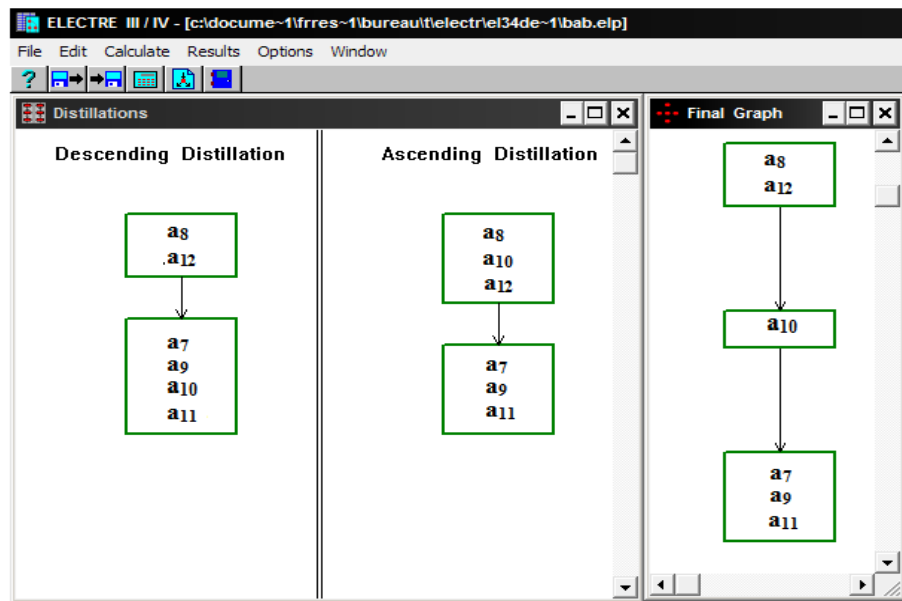


FIGURE 5.16 – Relations de surclassement d'actions a_7 à a_{12} de la stratégie C

Les résultats de surclassement d'actions a_7 et a_{12} ne diffèrent pas aux résultats de surclassement d'actions a_7 et a_{12} du système 1. a_8 et a_{12} sont deux actions indifférentes deux à deux surclassent les autres actions. Viennent ensuite l'action a_{10} , puis les actions a_7 , a_9 et a_{11} qui sont trois solutions indifférentes.

- Dans ce cas, on prend la meilleure action de chaque surclassement précédant a_8 et a_{12} . Les résultats de surclassement d'actions (a_{12} à a_{16} , a_2 , a_8) sont présentés dans la figure 5.16.

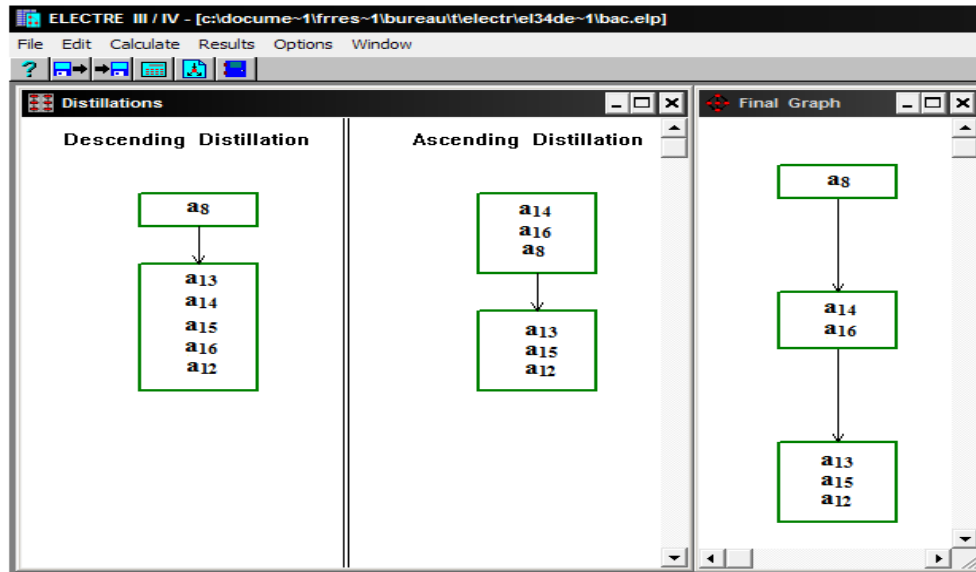


FIGURE 5.17 – Relations de surclassement d'actions (a_{13} à a_{16} , a_2 , a_8) de la stratégie C

D'après la figure 5.17, l'action a_8 est en position de la meilleure action, suivie des actions a_{14} à a_{16} . Les actions a_{12} et a_{15} et a_{12} sont situées en dernière position.

- Les relations finales de surclassement de la stratégie C résume à cinq (05) critères (C1, C4, C5, C6, C7) et actions a_2 , a_4 , a_6 , a_8 , a_{14} et a_{16} , les meilleures action des trois surclassement sont présentés dans la figure 5.18.

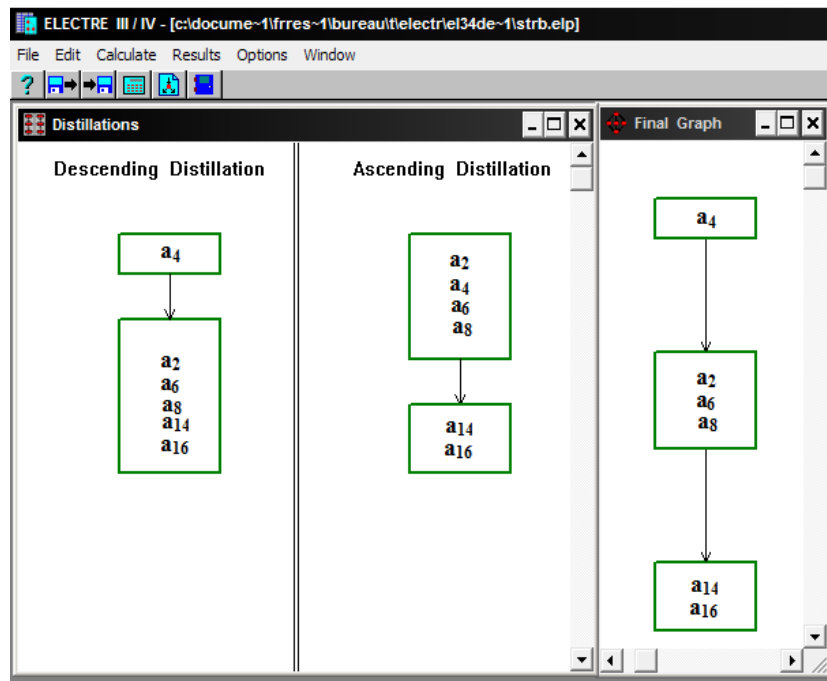


FIGURE 5.18 – Relations de surclassement final de la stratégie C

D'après la figure 5.18, l'action a_4 est la meilleure action, suivie des actions a_2 , a_6 et a_8 . Les actions a_{14} et a_{16} sont situées en dernière position.

Stratégie D

Pondération des critères

- Stratégie D : dans un souci de protection des milieux naturels, privilégiera les critères environnementaux, retenus de la pollution, intégration de paysage et la sécurité.

Pour la stratégie D, chaque critère (C_6 , C_5 , C_1) est inscrit sur un carton, sauf les critères C_4 et C_7 sont classés sur deux cartons de même rang (3) et l'introduction de cartons blancs entre C_1 et les deux critères C_4 et C_7 , un carton entre C_4 plus C_7 et C_3 , en suite, un carton entre C_6 et C_5 comme le montre le tableau t10.

TABLE 5.19 – Classement des critères de la stratégie D

Rang	Cartes (C_i)	Rang inverse
1	C1	7
2	0	6
3	C4 C7	5
4		4
5	C6	3
6		2
7	C5	1

La transformation des rangs en poids du tableau 5.19 se fait comme suit (tableau 5.20)

TABLE 5.20 – Transformation de rangs en poids

Rang inverse*	Critères de rang	Nombre de critères de rang r	Poids	Poids moyen	Poids relatif(en% arrondis)	Contrôle (en %)
r	-	N_r	P_r	$Q_r = \frac{\sum P_r}{N_r}$	$R_r = \frac{Q_r}{\sum P}$	N_r.R_r
1	C1	1	1	1	5	1*5=5
2	Blanc	--			--	--
3	C4, C7	2	3,4	3,5	16	2*13=26
4	Blanc	--			--	--
5	C6	1	6	6	27	1*27=27
6	Blanc	--			--	--
7	C5	1	8	8	36	1*36=36
Somme			22			100

Poids des critères de la stratégieD sont représentés dans le tableau 5.21 suivant :

TABLE 5.21 – Poids des critères (en %)

Critère	Poids
Coût de réalisation (C1)	5
Probabilité de dysfonctionnement (C4)	13
Sécurité (C7)	13
Retenu de la pollution (C5)	36
Intégration paysage (C6)	26

★ Résultats

- Les résultats de surclassement d'actions a_1 à a_6 en fonction des cinq (05) critères (C1, C2, C3, C4, C7) sont présentés dans la figure 5.19 suivante.

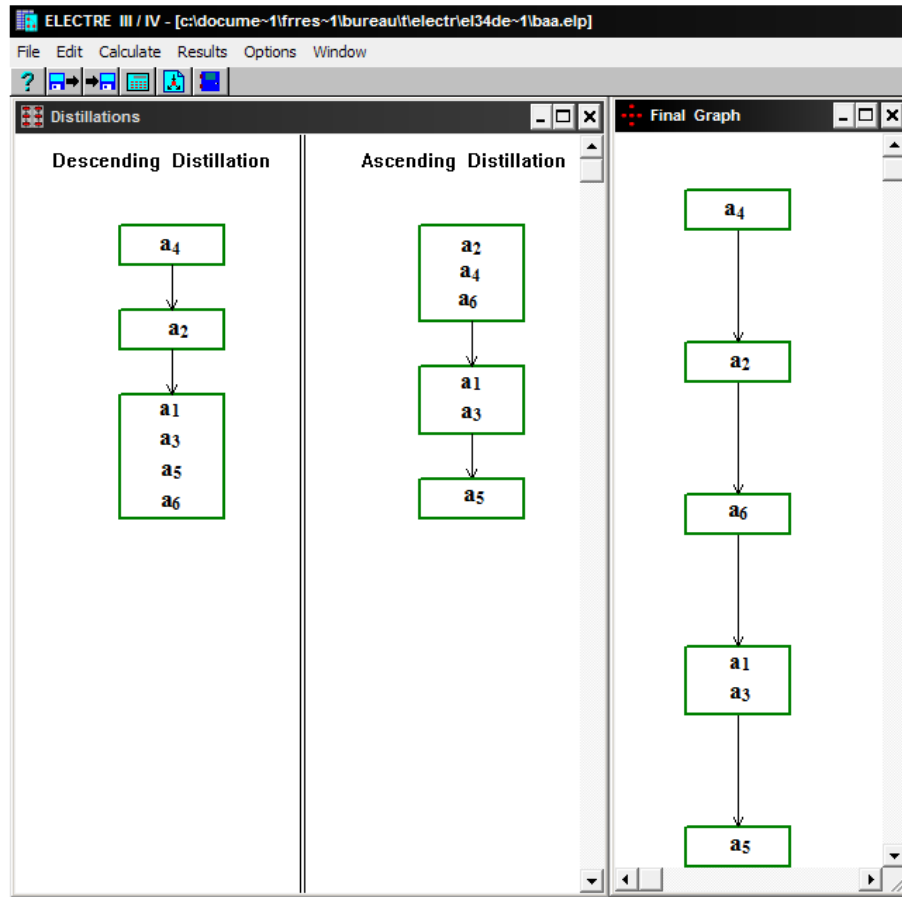
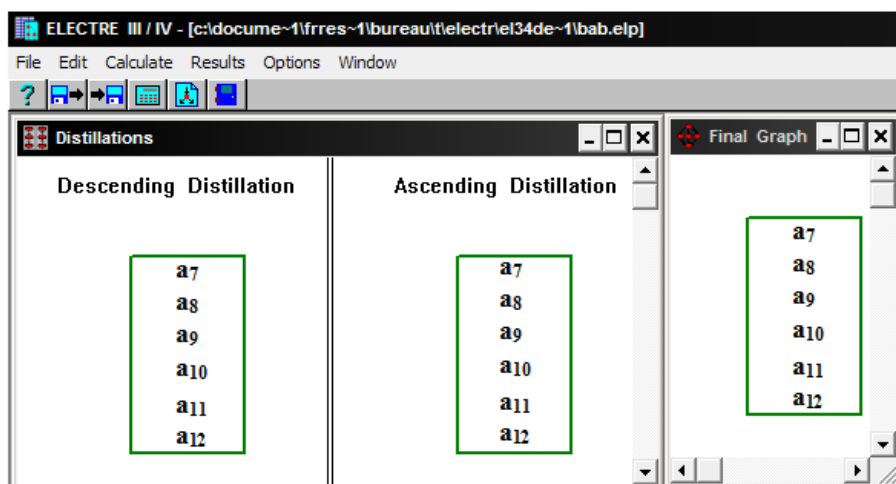


FIGURE 5.19 – Relations de surclassement d'actions a_1 à a_6 de la stratégie D.

D'après la figure 5.19, l'action a_4 surclasse les autres actions. Viennent ensuite l'action a_6 , puis les actions a_1 , a_3 indifférentes deux à deux, surclassent l'action a_5 .

- Les résultats de surclassement d'actions alternatives a_4 à a_7 en fonction des cinq (05) critères (C1, C4, C5, C6, C7) sont présentés dans la figure 5.20

FIGURE 5.20 – Relations de surclassement d'actions a_4 à a_7) de la stratégie D

Les résultats de surclassement d'actions a_7 à a_{12}) sont totalement identiques aux surclassements d'actions de la stratégie B.

- Dans le cas de troisième surclassement, on prend la meilleure action de chaque surclassement précédant (a_4 , a_7). Les résultats de surclassement d'actions a_{13} à a_{16} plus a_4 et a_7) en fonction des cinq (à 5) critères (C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_7) sont présentés dans la figure 5.21 suivante.

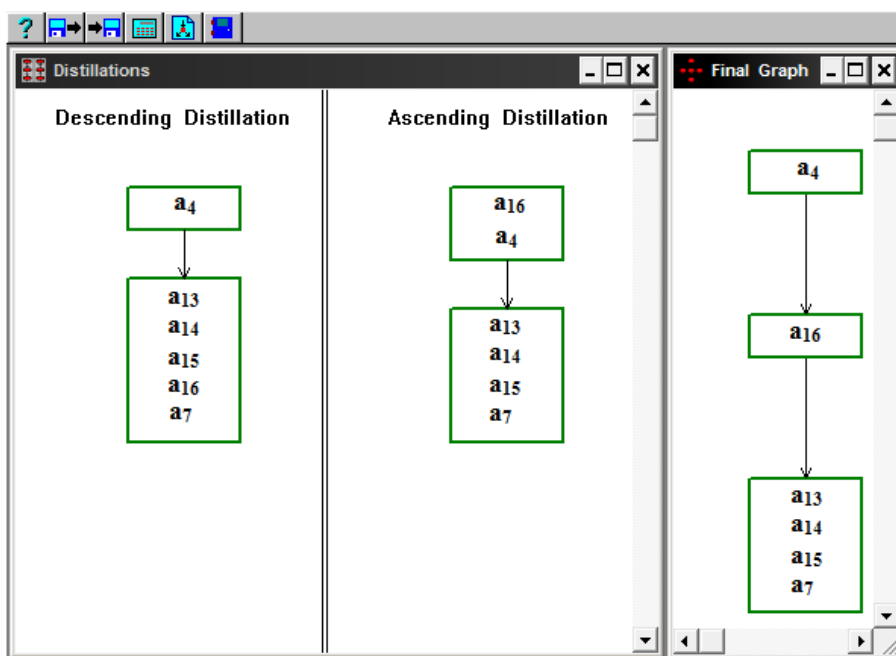


FIGURE 5.21 – Relations de surclassement 3 de la stratégie D

Les résultats de surclassement d'actions a_{13} à a_{16} plus a_4 et a_7 de stratégie D et C sont très peu différents. La seule différence concerne les actions a_7 et a_{16} dans le cas de la

stratégie D d'action a_{16} est surclassée uniquement par l'action a_4 et l'action a_7 est située en dernière position, tandis que, dans le cas de la stratégie 2 du système 1, l'action a_7 est surclassée uniquement par l'action a_4 et l'action a_{16} est située en dernière position.

- Les relations finales de surclassement de la stratégie D résume à cinq (05) critères (C1, C4, C5, C6, C7) et actions a_2 , a_4 , a_7 , a_8 , a_{13} et a_{16} les meilleurs actions des trois surclassements.

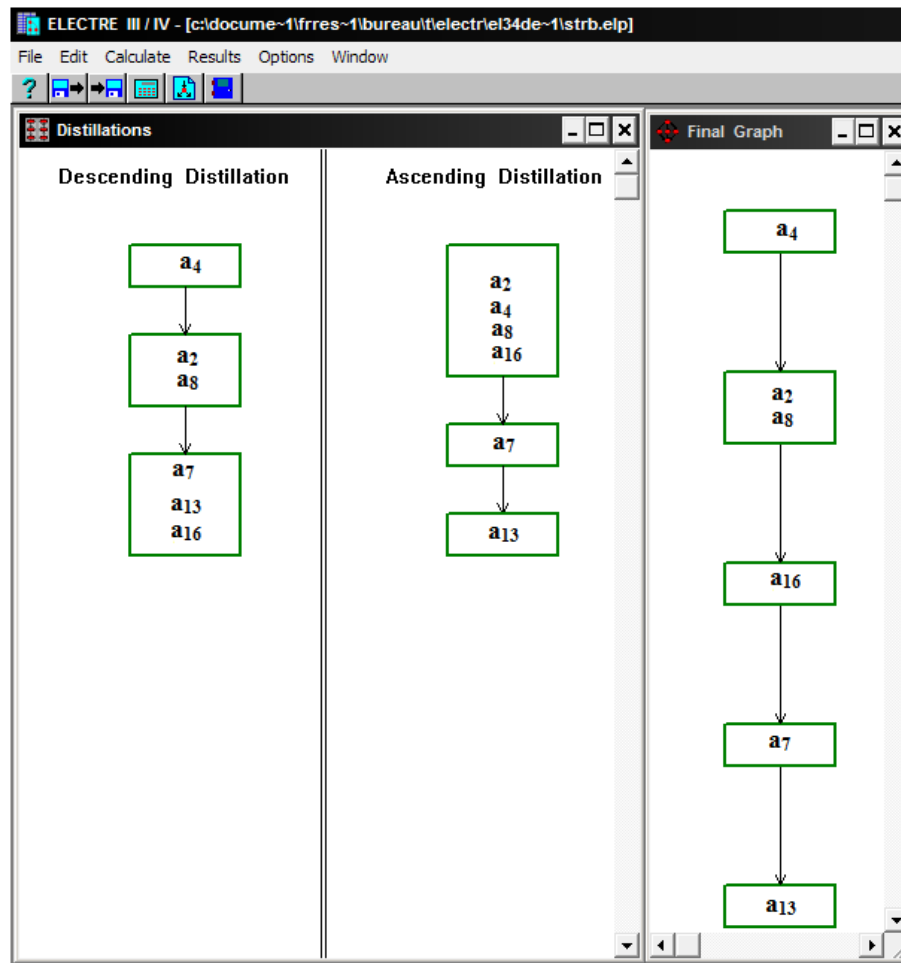


FIGURE 5.22 – Relations de surclassement final de la stratégie D

D'après la figure 5.22, l'action a_4 est toujours en position favorable et meilleure pour chacun des deux stratégies D et C. a_2 et a_8 sont deux actions indifférentes, puis surclassent a_{16} , cette dernière surclasse l'action a_{13} . Puis l'action a_7 surclasse l'action a_{13} .

Les résultats finals de surclassement des actions des quatre stratégies sont montrés dans le tableau 5.22.

TABLE 5.22 – Récapitulatif des résultats finals de surclassement des actions

Position	Surclassement final			
	Stratégie A	Stratégie B	Stratégie C	Stratégie D
1	a2, a8, a10 et a12	a2 et a4	a4	a4
2	a4	a6 et a7	a2, a6 et a10	a2 et a8
3	a16	a1	a14 et a16	a16
4		a13		a7
5				a13

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué la méthodologie définie au chapitre quatre à fin de classer les différentes actions retenues. La méthode ELECTRE III a été utilisée dans l'étude de cas réalisée sur la ville de Bejaia. Parmi les facteurs les plus déterminants de la mise en oeuvre des techniques alternatives en zone d'étude (Bejaia), nous pouvons retenir : la pente du terrain qui fait ressortir l'importance d'intervenir sur l'axe de changement de dénivellement, la responsabilité d'évacuer les eaux pluviales et la disponibilité d'espaces.

Cinq types de techniques alternatives ont été adopté au contrôle du ruissellement des eaux pluviales dans la zone d'étude et seize actions ont été défini et testé.

L'exécutable de la méthode d'ELECTRE III, nous a permis de constater que l'action a_4 est la meilleure que les autres dans les deux stratégies C et D. a_4 et a_2 sont les deux meilleures actions dans la stratégie B. En fin, dans la stratégie A, les actions a_2 , a_8 , a_{10} et a_{12} sont les meilleures solutions indifférentes.

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'accéder à des connaissances touchant à deux domaines : le premier concerne les effets quantitatifs et qualitatifs des eaux pluviales en milieu urbain et le second touche aux techniques alternatives de la gestion de ces eaux. Nous avons aussi traité le problème de choix de la meilleure stratégie de gestion par le biais de techniques alternatives adaptées en fonction de critères de jugement bien définis.

La protection d'une ville contre les inondations d'eaux de pluie ne préserve pas seulement des vies, mais offre aussi des avantages économiques non négligeables. Comprendre l'impact et la gravité de telles inondations est le premier pas vers l'élaboration de stratégies efficaces de contrôles quantitatifs et qualitatifs, et par conséquent, la diminution des risques de désordres humains et matériels à moyen et à long termes. Réduire le risque, c'est réduire le plus possible la vulnérabilité des villes aux phénomènes pluvieux.

Dans tous les cas de bonne pratique de gestion des eaux pluviales, il est nécessaire d'intégrer l'eau pluviale dans l'urbanisme, la respecter, limiter l'imperméabilisation du sols, valoriser les espaces publics, développer de nouveaux espaces " naturels ", retarder et retenir l'eau et favoriser son infiltration à l'aide d'ouvrages adaptées (Bassins de stockages, réseaux surdimensionnés, structures réservoirs, tranchées drainantes, puits d'infiltration ou filtrant, fossés et noues, toits stockant,... etc.) fonctionnant par temps de pluie.

Dans la nouvelle vision de développements urbains, les objectifs classiques de l'assainissement sont dépassés en faisant appel à des techniques alternatives diversifiées. La collecte et l'exploitation d'informations relatives à ces nouvelles techniques et stratégies sont nécessaires à la prise de décision. L'application de méthodes d'aide à la décision multicritères présente un certain nombre d'avantages dans ce domaine et permet de prendre en compte tous les critères pertinents évaluables.

Dans notre cas, nous avons appliquée la méthode ELECTRE III. C'est une méthode d'analyse multicritère fondée sur la construction de relations de surclassement entre des actions définies, à travers une approche d'agrégation partielle des performances. Elle est déjà largement appliquée dans la résolution des questions liées à des problématiques environnementales.

L'analyse multicritère est un outil robuste, transparent d'aide à la décision. Elle peut être couplée avec une analyse coût-bénéfice et permettre d'identifier clairement les critères de décision. Elle prend facilement en compte différentes opinions des parties prenantes et

évalue leurs impacts sur un choix.

Selon les données disponibles, l'analyse multicritère que nous avons menée a permis tout d'abord d'identifier plus ou moins les notions et les outils nécessaires à la réalisation d'une méthodologie d'aide à la gestion des eaux pluviales urbaines d'une ville algérienne. On a définie les contraintes pratiques des techniques alternatives et les systèmes optimaux au climat méditerranéen. En outre, on a défini et évalué sept critères d'optimisation : deux critères économiques (coût de réalisation et cout d'entretien), un critère hydraulique (capacité de rétention), un critère de fonctionnement ou de durabilité (probabilité de dysfonctionnement), un critère environnemental (retenu de la pollution), un critère d'intégration (intégration dans le paysage urbain) et un critère de sécurité (sécurité).

La meilleure solution est obtenue en s'appuyant sur les principes d'application de la méthode d'aide à la décision ELECTRE III. Nous avons pu d'écrire deux matrices de performances des techniques alternatives et des actions. L'exécutable de la méthode ELECTRE III nous a permis de constater que : - La réalisation d'un bassin à ciel ouvert au stade, d'un bassin en eau à ciel ouvert à Amriw, d'un bassin à ciel ouvert à Dawadji , d'une noue à le long du boulevard de la liberté (la wilaya) et d'un bassin enterré à Lakhmis est la meilleure solution des stratégies C et D. - La réalisation d'un bassin à ciel ouvert au Stade, d'un bassin en eau à ciel ouvert à Amriw, d'un bassin enterré à Dawadji , d'une noue à la wilaya et d'un bassin enterré à Lakhmis est la meilleure solution des stratégies A et B.

En maîtrisant l'urbanisation non anarchique et en appliquant strictement les plans de prévention des risques d'inondation par les eaux pluviales, de sorte que tous les plans d'aménagement et d'urbanisme reposent sur les contraintes et la réglementation des programmes de développement durable. Sans cette stratégie, plus la ville de Bejaia et les autres villes algériennes s'urbanisent d'une manière anarchique, plus elles accroissent leur vulnérabilité aux pluviales urbaines et plus elles s'exposent aux risques majeurs des inondations.

Malgré l'existence d'approches multicritères pour la gestion des eaux pluviales urbaines qui conduisent, aujourd'hui, à changer de paradigme et à raisonner globalement sur le choix de la meilleure solution à adopter, l'intégration des eaux pluviales dans l'urbanisme et le respect de ses caractéristiques aléatoires et naturelles (son écoulement par gravitation,...) restent le meilleur moyen de se protéger et de se préserver des inondations.

Bibliographie

- [1] BRESSY. A. *Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines : Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales*. PhD thesis, Sciences et Techniques de l'Environnement. Université PARIS-EST, 332p, 14 juin 2010.
- [2] Direction Assainissement. La gestion des eaux pluviales par des techniques alternatives. COMMUNAUTE DE COMMUNES ÉPERNAY PAYS DE CHAMPAGNE. Place du 13ème R.G. BP 80526.51331 EPERNAY Cedex. 12p .
- [3] SYLVIE B. Programme mgd infiltration du rcgu, maîtrise et gestion durable des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain, guide technique - recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. Lyon. janvier 2006. 62p.
- [4] CHERRARED M. BENZERRA A, CHOCAT B. Problématique et faisabilité du développement durable en matière d'assainissement urbain en algérie. université a. mira - fssi - targa ouzemour, 06 000 béjaia, algerie. pages pp 295– 302, 2007.
- [5] PICTET J BOLLINGER D. Aide multicritère à la décision, aspects mathématiques du droit suisse sur les marchés publics. 7p, 16.12.1999 . soumis à la revue droit de la construction. version 3, suite à la discussion avec le prof. j.-b. zufferey du 19.08.99, à celle avec me d. esseiva du 18.11.99 et à la présentation du 25.11.99.
- [6] FIGUERAS C. Note relative à la gestion des eaux pluviales dans le cadre des aménagements à destination des aménageurs. mission inter- services de l'eau du pas-de-calais. 13, grand place - bp 912 - 62022 arras cedex. 15p. 21/12/2007.
- [7] BRUNO T CHRISTIAN C. Rapport. diagnostic de l'imperméabilisation des sols en ile-de-france et inventaire des méthodes pour inverser le phénomène, école nationale des ponts de chaussées- paris-. 10p. 2010.
- [8] Protection Civile. Les inondations en algérie. direction générale de la protection civile(algérie). 21p, 2008.
- [9] DHOUIB D. *Aide multicritère au pilotage d'un processus basée sur le raisonnement à partir de cas*. PhD thesis, Université de Paris 8 - Vincennes-Saint-Denis UNIVERSITE DE SFAX Faculté des Sciences Economiques et de Gestion ECOLE DOCTORALE COGNITION, LANGAGE, INTERACTION, 202p. 30 juin 2009.
- [10] GRANGER .D. *Méthodologie d'aide a la gestion durable des eaux urbaines*. PhD thesis, Spécialité : Génie civil urbain. L'institut national des sciences appliquées de Lyon, . N° d'ordre : 2009ISAL0068 . 210p. 18 septembre 2009.
- [11] VANDERPOOTEN D. Aide multicritère à la décision ; Concepts, méthodes et perspectives. LAMSADE - Université Paris Dauphine. ENS Cachan, 88p, 11 septembre 2008.

- [12] Bureau de la coordination des affaires humanitaires (OCHA) des Nations Unies . Rapport de situation 01, burkina faso. inondations 2010 . 27 juillet au 03 août 2010. 36p.
- [13] Direction de l'eau. Rétention des eaux pluviales à la parcelle. service assainissement des hauts-de-seine, 61, rue salvador-allende - 92751 nanterre cedex. 8p. Janvier 2006.
- [14] Direction des affaires économiques et internationales. Ouvrages dt'assainissement, Fascicule spécials .Bulletin officiel , 419p, 2003 , Paris.Imprimerie des Journaux officiels, 26, rue Desaix, 75727 Paris Cedex 15. 459030010-001103.
- [15] Communauté d'Urbaine du Grand Toulouse. Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement.direction assainissement. 102p.Version avril 2009.
- [16] CHOLI .E. *La gestion des eaux pluviales urbaines en Europe : analyse des condition de développement des techniques alternatives*. PhD thesis, Sciences et techniques de l'environnement. Ecole nationale des pont chaussées, ile de France. 254p, 11 juillet 2006.
- [17] MERAH F. Elaboration d'un modèle informatique d'aide multicritère pour la gestion des contrôle d'un réseau d'A.E.P .Mémoire de magistére, département d'hydraulique, université de A/MIRA de Béjaia.141p ,2001/2002.
- [18] DELANGE A GOURRAT J. Compte rendu de visite concernant la step de laburrenia, à urrugne. 4p. 2009. Sud Pays basque.
- [19] BALADES J. Rapport , conférence " la ville et son assainissement ", principes, methodes et outils. le jeudi 23 octobre 2003 Lyon Bron(69).62p.
- [20] VERJAT J. Rapport , conférence " l'assainissement pluvial à beynost (01) ", principes, methodes et outils. le jeudi 23 octobre 2003 Lyon Bron(69).62p.
- [21] VERON J. Population et sociétés : La moitié de la population mondiale vit en ville. bulletin mensuel d'information de l'institut national d'études démographiques.ined. (Numéro 435) :4p, juin 2007.
- [22] GALAND L. *Méthodes exactes pour l'optimisation multicritère dans les graphes recherche de solutions de compromis*. PhD thesis, Université Tunis El Manar, 2008.
- [23] MARTIN C LEGRET M. La méthode multicritère ELECTRE III. Définitions, principe et exemple d'application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain.pp29-46,2005.Source BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES.
- [24] BERSON. M. Rapport . eaux pluviales urbaines, une gestion à la source contre les inondations et les pollutions. président du conseil général de l'essonne. Boulevard de France - 91012 Evry cedex. 24p.2009.
- [25] DUGUÉ M. Conception d'un jardin de pluie : ThÉorie et Étude de cas. dÉpartement des gÉnies civil, gÉologique et des mines École polytechnique de montrÉal.162p. dÉcembre 2010.
- [26] HAMMAS M. Villes et changements climatiques : La vulnérabilité des villes du maghreb aux risques des changements climatiques ; application aux villes de tunis, d'alger et de casablanca. cinquième colloque international,Énergies, changements climatiques et développement durable. Hammamet (Tunisie),15,16 et 17 juin 2009. 46p.
- [27] OSSEYRANE M. Guide de gestion des eaux pluviales, stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage

- en milieu urbain. québec. avec la participation de : ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (mddep) et le ministère des affaires municipales , des régions et de l'occupation du territoire (mamrot). 359p,2009.
- [28] MAMROT. La gestion durable des eaux de pluie : Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. Québec.64p,2010.
- [29] Fédération nationale des Travaux public. Guide environnement ; prévenir les inondations : quels équipements, quels travaux ?. communication juillet 2004. france. 36p.
- [30] GINTING R. *Intégration du système d'aide a la décision multicritères et du système d'intelligence économique dans l'ère concurrentielle ; Application dans le choix de partenaires en Indonésie*. PhD thesis, Université de droit et des sciences d'Aix-Marseille Faculté des sciences et techniques, N attribué par la bibliothèque 00 AIX3 0006.199p. 11 Janvier 2000.
- [31] Rapport. Co.ba.h.m.a. / c.l.e. bassin versant de la mauldre, cahier d'application du 1l/s/ha, comment réguler et traiter les eaux pluviales, moyens de régulation et moyens de traitement. 14p.
- [32] MAYSTRE. L.Y SIMOS .J, PICTET. J. *Méthode multicritères ELECTRE, Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*. Collection *Gérer l'Environnement*. Presses polytechniques et universités romandes.1994.322p.
- [33] Service technique de l'urbanisme du ministre de l'équipement et les agences de l'eau. Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales.1994, paris. Source : Bibliothèque centrale de l'université de Bejaia - Algérie- Code : 628.2/03.2.
- [34] MOUSSEAU V. Université Paris Dauphine, U.F.R. Sciences des Organisations Mémoire présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches.10p.16 Décembre 2003.
- [35] LEHOUX N VALLEE P. ANALYSE MULTICRITÈRE.38p,novembre 2004.
- [36] SOARES I VANDROUX. B. Rapport. les ouvrages enterrés de gestion des eaux pluviales. référentiel conception et gestion des espaces publics. communauté urbaine grand lyon. 10p.2010.
- [37] NAFI A WEREY C. Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type electre.unité mixte de recherche cemagref-engees en gestion des services publics. enges 2009-2010. module " ingénierie financière ".

Annexes

On a représenté la figure 1.1 et la figure 1.2 a partir du Tableau 1 au dessous.

Tableau : Représentation de la population totale et taux d'urbanisation dans les différents continents du monde

	1950	2007	2030
Population totale (en millions)			
Amérique du Nord	172	339	405
Amérique latine et Caraïbes	167	572	713
Europe	547	731	707
Océanie	13	34	43
Afrique	221	965	1 518
Asie	1 398	4 030	4 931
Ensemble du monde	2 535	6 671	8 317
Taux d'urbanisation (en %) (proportion de la population vivant en ville)			
Amérique du Nord	64	81	87
Amérique latine et Caraïbes	42	78	85
Europe	51	74	80
Océanie	61	73	75
Afrique	15	41	54
Asie	15	41	55
Ensemble du monde	29	50	61
Note : les chiffres de l'année 2030 correspondent à la variante moyenne des projections des Nations unies. (J. Véron, <i>Population & Sociétés</i>, n° 435, Ined, juin 2007) Source : Nations unies [1]			

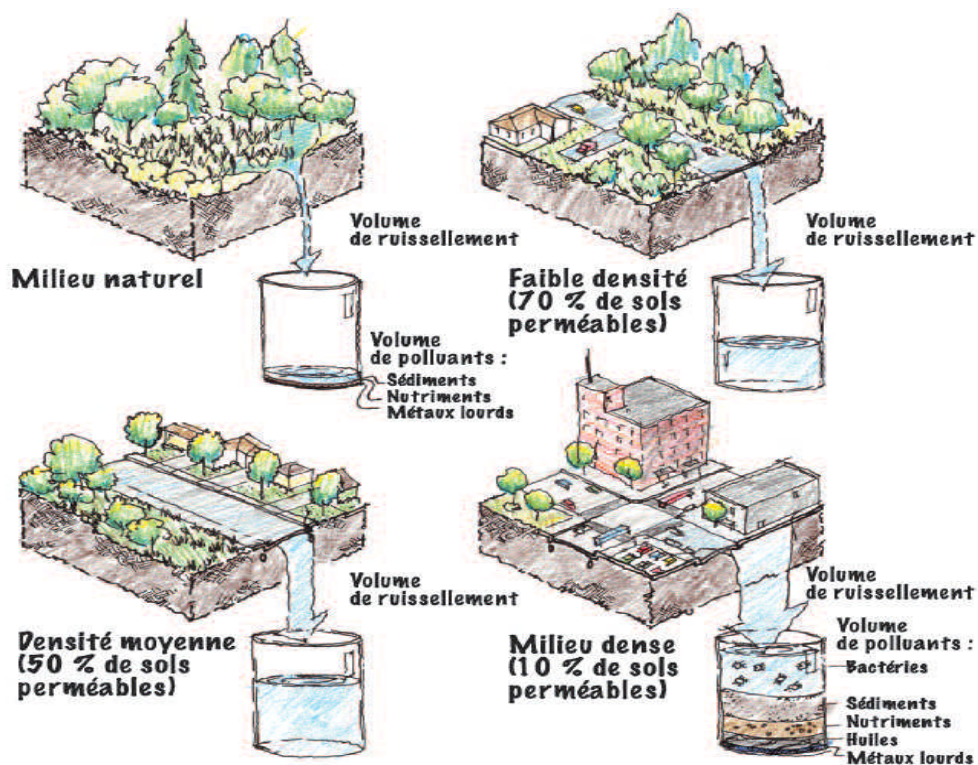
On a représenté la figure1.8 et la figure 1.9 a partir du Tableau au dessous
 La répartition de population en Algérie (nord et sud) et la superficie correspond à la concentration de la population

zone	Nombre de Wilaya	Population (habitants)	Superficie (km²)
zones du nord d'Algérie	11	3 125 169	296 121
zones du sud d'Algérie	37	31 674 831	2 088 620
zones du nord et sud d'Algérie	48	34 800 000	2 384 741

NB : les 11 wilayas du sud, sont Adrar(01), Laghouat(03), Bêchar(08), Tamanrasset(11), Ouargla (30), El-Bayadh (32), Illizi (33), Tindouf(37), El Oued(39), Naâma (45) et Ghardaïa(47).

Les 37 wilayas du nord, sont Chlef (02), Oum-El-Bouaghi (04), Batna (05), Bejaïa (06), Biskra (07), Blida (09), Bouira (10), Tébessa (12), Tlemcen (13), Tiaret (14), Tizi-Ouzou (15), Alger (16), Djelfa (17), Jijel (18), Sétif (19), Saida (20), Skikda (21), Sidi Bel Abbès (21), Annaba (23), Guelma (24), Constantine (25), Médéa (26), Mostaganem (27), M'Sila (28), Mascara (29), Oran (31), Bordj-Bou-Argeridj (34), Boumerdès (35), El-Taref (36), Tissemsilt (38), Khenchela (40), Souk Ahras (41), Tipaza (42), Mila (43), Aïn Defla (44), Aïn Témouchent (46) et Relizane (48).

Pollution des eaux de ruissellement.



Les images ci-dessous montrent les dégâts d'inondation de Bâb El Oued du 10 au 14 novembre 2001



Figure : Écoulement sans drain.



Figure : Des axes routiers et certaines rues ont été inondés.



Figure : Les dégâts matériels et humanins

Les images ci-dessous montrent les dégâts d'inondation du 27 octobre 2007 à Amriw - Bejaia -



Figure : Débordement rapide des eaux pluviales avec un grand débit sans issu à Amriw - Bejaia -



Figure : Stagnation des eaux pluviales à Amriw - Bejaia -

Assainissement pluvial à Beynost

- Le déclic ...

En même temps, les habitants s'activaient pour remettre en ordre des maisons parfois sévèrement touchées. "On a vu une cave remplie d'eau jusqu'au plafond", confiait hier un portier volontaire de Beynost. "C'est triste à dire, mais on commence à être entraîné", ajoutait un riverain, en bottes et jif sous une pluie fine et froide qui continuait de tomber, faisant allusion aux trois orages consécutifs qui ont frappé Beynost les 8 et 24 août, plus jeudi, "on a rarement vu une telle série", constatait un commerçant. Une série qui expliquerait précisément l'ampleur des dégâts d'avant-hier. "Le 8 août, il est tombé entre 105 et 128 millimètres d'eau au mètre carré, le tout en vingt minutes. Du coup, les rives des cours d'eau ont été lessivées, et jeudi trois des six torrents de la Côteire ont rapidement débordés", indique M. Jacquot, maire-adjoint de Beynost chargé de la voirie.

A priori, Beynost semble la commune la plus touchée de la région. De nombreuses rues complètement défoncées, une chaussée au revêtement entièrement arraché en contrebas de la mairie, et des coulées de boue et de cailloux, donnent à l'endroit un aspect chaotique, plus accentué que le visage déjà

déformé des villes de Miribel et Saint-Maurice. Selon la mairie de Beynost, trois cent-cinquante maisons ont été touchées par l'orage, et les dégâts pour la seule voirie communale (sans prendre en compte ceux des particuliers), se monteraient à plus de deux millions de francs.

d'avant-hier. "Le 8 août, il est tombé entre 105 et 128 millimètres d'eau au mètre carré, le tout en vingt minutes. Du coup, le

sont constatées le
date on
gravas d
quot.

Le co
l'orage é
commun
à propo

RÉGION / FAITS DIVERS



Que faire pour
contenir les
coulées de boue ?
La question se
pose au vue des
conséquences de
l'orage qui s'est
abattu jeudi sur
la Côte d'Ivoire

Inondations sur la Côtère : des millions de dégâts



Beynost, trois cent-cinquante
maisons ont été touchées par

Une longue trainée de boue sur le bord de la rivière nationale des pierres et des branches dans les nappes en pente, des chaussons de paille, des sacs de ciment, des pompes et des rivières en train de déblayer : hier, les communes de la Côte d'Azur ont subi une tempête tropicale, et pourtant encore de longues traces de la région jouit (voir notre édition d'hier). Toute la journée, des centaines de volontaires des pompes des centres de première intervention et de secours ont travaillé. Bernard Besson, Maurice-de-Beynost, étaient sur le pont, épuisés par une vingtaine d'heures de travail. Valbonne, afin de dégager le nettoyage des voies de circulation, les pompiers ont travaillé silencieusement, jusqu'à une heure avant de partir.

En même temps, les habitants s'activaient pour remettre les lieux en état. Les rues étaient silencieusement touchées. « On a vu une cascade de eau jusqu'à la hauteur des fenêtres », dit-il. Les pompiers volontaires de Beynost, « c'est triste à dire, mais on a vu des personnes qui ont abîmé un ruisseau, en barrant

l'urgence, et les délais pour la
seul vote communale (sans
prendre en compte ceux des
particuliers), se montaient à
plus de deux millions de francs.

« Les conséquences financières
à passer sérieusement sur le
site de la commune ? La question
est une question de bon sens :
des conversations ont eu lieu, et
les « piges à callosité » seront
certainement les caprices des cours
de nos bourses, et l'absence d'un
certain d'heure. Une étude hydro-

de la loi sur l'immobilier (voir
à travers pour le réaliser »
est un spécialiste, et attend
d'être, les communes de la
côté, vont se multiplier les
mondois. Et tout l'addition

R.S.

ment l'ampleur des dégâts d'avant-hier. Le 8 août, il est tombé entre 105 et 128 millimètres d'eau au mètre carré, le tout en vingt minutes. Du coup, les rives des cours d'eau ont érosées, et les pentes ont glissé. Des torrents de la Côleire ont rapidement débordé», indique M. Jaquot, maire-adjoint de Beynost chargé de la voirie.

A priori, Beynost semble commune la plus touchée de la région. De nombreuses rues complètement inondées, un chauffage au revêtement entièrement arraché en contrebas de la mairie, et des couilles de boue de cailloux, donnent à l'entre-

Conférence " la ville et son assainissement " - 23 octobre 2003 – Lyon Bron (69)



Impacts des inondations au Maroc

Tableau : Volume d'eau de la période de retour $T = 5ans$

Sous bassin	Coefficient de ruissellement C	Surface (Ha)	Intensité maximale (mm/Ha)	Débit de pointe (m ³ /h)	Volume total (m ³)
Sb1 débouchant en Stade	0.42	58.10	32.40	7906.25	3953.12
Sb2 débouchant en Maison de la culture et le parc	0.48	32.80	32.40	5101.06	2550.53
Sb3 débouchant en Dawadji	0.53	36.75	32.40	6310.71	3155.36
Sb4 débouchant en la wilaya	0.48	31.45	32.40	4891.10	2445.55

Tableau : Volume d'eau de la période de retour $T = 10ans$

Sous bassin	Coefficient de ruissellement C	Surface (Ha)	Intensité maximale (mm/Ha)	Débit de pointe (m ³ /h)	Volume total (m ³)
Sb1 débouchant en Stade	0.42	58.10	38.20	9321.56	4660.78
Sb2 débouchant en Maison de la culture et le parc	0.48	32.80	38.20	6014.21	3007.10
Sb3 débouchant en Dawadji	0.53	36.75	38.20	7440.41	3720.20
Sb4 débouchant en wilaya	0.48	31.45	38.20	5766.67	2883.34

Tableau : Volume d'eau de la période de retour $T = 20ans$

Sous bassin	Coefficient de ruissellement C	Surface (Ha)	Intensité maximale (mm/Ha)	Débit de pointe (m ³ /h)	Volume total (m ³)
Sb1 débouchant en Stade	0.42	58.11	43.30	10567.34	5283.67
Sb2 débouchant en Maison de culture et le parc	0.48	32.80	43.30	6817.78	3408.89
Sb3 débouchant en Dawadji	0.53	36.75	43.30	8433.55	4216.78
Sb4 débouchant en wilaya	0.48	31.45	43.30	6535.94	3267.97

Tableau : Volume de stockage (Technique alternatives)

Sous bassin	Espace	Techniques alternatives	Mode de calcul	H	Surfaces		Capacité de stockage (m ³)	Volume à stocker
					L	I		
Sb1	E1	Bassin enterré	$L*I*h$	3	6	12	328.37	360
	E1	Bassin à ciel ouvert sec	----	---	-----	-----	328.37	350*
Sb2	E21	Bassin en eau à ciel ouvert sec	----	---	----	-----	190.89	250*
	E22	Bassin enterré	$L*I*h$	3	7	10	190.89	200
Sb3	E3	Bassin à ciel ouvert sec	-----		----	----	221.68	250*
	E3	Bassin enterré	$L*I*h$	4	6	10	221.68	240
Sb4	E41	CSR	$(L*I*h)/2$	0.5	20	50	70	160*
	E42	Bassin enterré	$L*I*h$	3	4	10	100.8	120*
	E41	Noues	$(S*L)/2$	0.5	2	140	70	188
	E42	Bassin enterré	$L*I*h$	3	4	10	100.8	120*
(*) Volume estimé								

Tableau : Liste des prix des Tâches (Réalisation)

La liste des prix des taches (DA)					
Code	Composant	Tâche		U	Prix(HT)
111	Terrain	Terrain		m ²	40 000
121	Débroussaillage	Débroussaillage des végétaux et arbustes d'un diamètre très faibles.		m ²	200
122		Décapage de terre végétale		m ²	100
123		Abattage d'arbres, l'élagage et tronçonnage		U	3500
124		L'arrachage de souches d'arbre.		For	4000
131	Démolition de chaussées, trottoirs	Découpage ou sciage.		ml	150
132		Démolition de chaussées et trottoirs.		m ²	350
133		Démontage de bordures et de caniveau		ml	180
141	Piste d'accès (largeur = 4m)	Décaissement pour réalisation d'une piste d'accès		m ³	400
		Évacuation des déblais		m ³	450
		Traitement des sols de fondation (épandage, réglage, compactage)		m ³	280
151	Déviation de circulation	Signalisation.		For	1000
152		Déviation.			1000
211	Terrassement	Excavation du sol.		m ³	350
212		Remblaiement mise en dépôt		m ³	220
213		Remblaiement mise en place	Profondeur ≥ 1m	m ³	200
			Profondeur <1m	m ³	160
214		Remblaiement par matériaux d'apport		m ³	800
215		Évacuation des déblais		m ³	400
311	Déviation de l'eau au prêt d'un canal	Fourniture et pose d'une plaque en béton (1.5 x 0.4 x 0.1)		m ³	25000
312	Regard	F /P d'un regard avec différents dispositifs d'épuration (avaloir, panier, décanteur)		U	42000
321	Réseau d'assainissement	Terrassement d'une tranche de 05 x05 m		ml	150
322		F /P de drain en PVC/PEHD	200mm	ml	2800
			120mm		1900
			90mm		
323		F /P de lit de sable		m ³	1800
324		F/P d'avertéceur		ml	150
325	Remblaiement par matériaux d'apport		m ³	700	
331	Structure en béton	F/P de béton armé, y compris, le coffrage, béton, armature		m ³	28000
332	Bassin enterré	Accès au fon du bassin (Échelle)		U	6200
333		Dispositif de fermeture (TAMPON en béton)		U	5400

Tableau : La suite de la liste des prix des Tâches (Réalisation)

341	Structure filtrant	F/P de Blocs poreau	m ³	3200
342		matériaux filtrants Graves, galets,	m ³	2800
343		F/P de drain de diffusion (forme de crépine)	ml	800
351	Séparateur entre deux couches différentes	F/P de géomembrane (étanchéité)	m ²	1000
351		F/P de géotextile (comparable à un filtre)	m ²	1000
361	Structure en gazonne	F/P de terre végétale	m ³	600
362		F/P de plaque de gazon	m ²	2000
363		Enrobage	m ²	2500
364	Chaussée classique	Réglage la couche de sol support	ml	100
365	à structure réservoir	F/P de géomembrane / géotextile	ml	1000
366		F/P couche de fondation et de forme	ml	1000
367		F/P couche de base	ml	1200
368		F/P couche de surface (béton, goudron)	ml	2000
371	Finition (dalle)	Remise en état par le béton / goudron	m ³	850/800
372		Remise en état par le carrelage	m ³	1000

Tableau : Coût d'entretien -CSR-

Entretien CSR tâches	Fréquence annuelle	Frais du personnel DA	Frais des équipements DA	Frais du personnel annuel DA	Frais des équipements annuel DA
Nettoyage des surfaces de drainage	0.0417	250.00		6000.00	6000.00
Nettoyage système de prétraitement	0.50	1000.00		2000.00	
Enlèvement des sédiments	0.50	3000.00	5000.00	6000.00	
Nettoyage système de vidange	0.50	1000.00		2000.00	
				16000.00	6000.00
				Total : 22000.00 DA	

Tableau : Coût d'entretien -Noue-

noues					
Tâches	Fréquence annuelle	Frais du personnel DA	Frais des équipements DA	Frais du personnel annuel DA	Frais des équipements annuel DA
Nettoyage des surfaces de drainage	0.08	250.00		3000.00	
Nettoyage du système de prétraitement	0.50	1000.00		2000.00	
Enlèvement des sédiments	0.50	3000.00	5000.00	6000.00	10000.00
Coupe de gazon	0.50	2000.00	5000.00	4000.00	10000.00
Nettoyage du système de vidange	0.50	1000.00		2000.00	
				17000.00	20000.00
				Total : 37000.00 DA	

Tableau : Coût d'entretien -Bassins en Eau-

Entretien des bassins en eau	Fréquence annuelle	Frais de personnel DA	Frais des équipements DA	Frais de personnel annuel DA	Frais des équipements annuel DA
Nettoyage système de prétraitement	0.50	1500		3000	
Enlèvement des débris et les corps flottants	0.10	500		5000	
Enlèvement des sédiments	0.50	6000	15000	12000	30000
Coupe de gazon	0.5	2000	5000	4000	10000
Nettoyage système de vidange	0.5	1000		2000	
				26000	40000
				Total : 66000 DA	

Tableau : Coût d'entretien -Bassins Enterrés-

Entretien des bassins enterrés	Fréquence annuelle	Frais de personnel DA	Frais des équipements DA	Frais de personnel annuel DA	Frais des équipements annuel DA
Nettoyage système de prétraitement	0.50	1500.00		3000.00	
Enlèvement des sédiments	0.50	5000.00	500.00	10000.00	1000.00
Nettoyage système de vidange	0.50	2000.00		4000.00	
				17000.00	1000.00
				Total : 18000.00 DA	

Tableau : Coût d'entretien -Bassins de stockage sec

Entretien des bassins Sec	Fréquence annuelle	Frais de personnel DA	Frais des équipements DA	Frais de personnel annuel DA	Frais des équipements annuel DA
Nettoyage système de prétraitement	0.50	1500.00		3000	
Enlèvement des sédiments	0.50	3000.00	5000.00	6000	10000
Coupe de gazon	0.50	2000.00	5000.00	4000	10000
Nettoyage système de vidange	0.50	1000.00		2000	
				15000	20000
				Total : 35000 DA	

Méthode d'aide à la décision

Quelques définitions des méthodes d'aide à la décision

Approche du critère unique de synthèse

Analytic Hierarchy Process (AHP)

C'est une méthode d'aide multicritère à la décision développée par Thomas Saaty vers la fin des années 70. Elle a été utilisée avec succès dans les domaines de planification tels que : planification stratégique, choix de projets, choix d'investissement, etc. Les étapes de résolution d'un problème multicritère en utilisant la méthode AHP sont : Etape 1 : Décomposition hiérarchique : La hiérarchie est une abstraction de la structure du problème utilisé pour étudier l'interaction entre les composantes du problème et leur effet sur la solution finale. Etape 2 : Quantification du problème : La méthode AHP propose d'évaluer un vecteur de poids $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ associé aux critères du problème à l'aide de comparaisons binaires selon une échelle proposée par Saaty (1977) en 9 niveaux représentés dans le tableau suivant :

Tableau : Aide au choix d'une technique alternative

<i>a_{ij} égal à</i>	<i>Lorsque le critère i comparé à j est</i>
1 3 5 7 9 2, 4, 6, 8	Egalement important Légèrement plus important important Notablement plus important Beaucoup plus important Indiscutablement beaucoup plus important Valeurs intermédiaires entre deux jugements, utilisées en cas de besoin pour affiner le jugement

Etape 3 : Calcul des priorités : A partir des jugements fournis par les décideurs, la troisième étape consiste à calculer l'importance relative à chacun des éléments de la hiérarchie. Le décideur doit remplir une matrice de comparaison binaire pour chaque critère. Chaque matrice compare les choix deux à deux selon le critère adopté. Il s'agit ensuite de calculer le vecteur de priorité $V = (V_1, \dots, V_n)$. Le calcul du produit $V.W$ permet d'obtenir un vecteur qui contient les poids finals de chaque choix. Etape 4 : Cohérence des jugements : Il s'agit, à cette étape de calculer un taux d'incohérence TI au sujet des jugements fournis par les décideurs.

Analytic Hierarchy Process (AHP)

Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)
La conception de cette méthode remonte au début des années 1990 et est issue de la collaboration des professeurs C.A. Bana e Costa (centre d'étude en management de l'Université Technique de Lisbonne) et J.-Cl. Vansnick (Faculté Warocqué de l'Université de Mons Hainaut). Cette première équipe s'est enrichie par l'arrivée de J.-M. De Corte (Faculté Warocqué, U.M.H). Ceci a abouti au développement d'un premier logiciel qui permet

de tester la méthodologie proposée dans des applications pratiques réelles. Un logiciel plus ambitieux s'est développé à la suite des réactions favorables des décideurs, c'est le logiciel M-MACBETH (Bana e Costa et al., 2006). La méthode MACBETH a pour but d'élaborer des expressions de performance en cohérence avec leur agrégation. L'opérateur d'agrégation utilisé est la moyenne pondérée. Elle adopte une procédure de questionnaire itérative initiale pour comparer deux éléments en n'utilisant que des préférences qualitatives. Elle débute par une comparaison entre l'option la plus attractive et l'option la moins attractive. L'option la plus attractive sera ensuite comparée avec chacune des autres options. Puis, il s'agit de comparer la seconde option plus attractive avec la troisième, ainsi de suite.

Approche du surclassement de synthèse

Elimination Et Choix Traduisant la REalité I (ELECTRE I)

Cette méthode, développée par Roy (1968), est destinée aux problèmes de choix multicritère. Dans ce cadre, elle cherche à avoir un sous - ensemble N d'actions telles que toute action qui n'est pas dans N est surclassée par au moins une action de N . Ce sous-ensemble, rendu aussi petit que possible, ne constitue donc pas l'ensemble des bonnes actions mais c'est l'ensemble dans lequel se trouve certainement le meilleur compromis cherché. En théorie des graphes, un tel ensemble porte le nom de noyau de graphe et des algorithmes existent pour le déterminer.

Pour construire une relation de surclassement, on est amené à calculer pour chaque couple d'actions (a, b) deux types d'indices. Le premier est l'indice de concordance qui varie entre 0 et 1. Il mesure en quelque sorte les arguments en faveur de l'affirmation " a surclasse b ". Le deuxième est l'indice de discordance qui est aussi compris entre 0 et 1. Il est d'autant plus grand que la préférence de b sur a est forte sur au moins un critère. On conclut au surclassement de b par a si un test de concordance et un test de non discordance sont satisfaits. Si l'un ou l'autre ou les deux ne sont pas satisfaits, on se trouve en situation d'incomparabilité. Pour trouver le meilleur compromis, il reste à analyser de façon plus fine les actions du noyau. En pratique, il sera mieux de faire varier les paramètres de la méthode (poids des critères, indices de concordance et de discordance) et d'étudier la robustesse du résultat par rapport à ces variations.

Elimination Et Choix Traduisant la REalité II (ELECTRE II)

La méthode ELECTRE II est plutôt destinée au problème de rangement. Elle vise à classer les actions de la meilleure à la moins bonne. Tels qu'ils sont définis dans ELECTRE I, deux seuils de concordance c_1 et c_2 sont fixés avec $c_1 > c_2$. Ensuite, il s'agit de construire une relation de surclassement fort SF et une relation de surclassement faible Sf . La classe des meilleures actions qui constitue la première classe du rangement est obtenue après réduction des circuits de SF . D'abord, on détermine l'ensemble B des actions qui ne sont surclassées fortement par aucune autre action. Ensuite, à l'intérieur de cet ensemble, on réduit les circuits de Sf et on détermine l'ensemble A_1 des actions qui ne sont surclassées faiblement par aucune autre action de B . L'ensemble A_1 constitue la première classe du rangement et la procédure recommence dans l'ensemble qui reste, donnant lieu ainsi à un pré-ordre complet. Un deuxième pré-ordre complet est construit de manière analogue mais en commençant par la classe des moins bonnes actions (celles qui n'en surclassent aucune autre) et en " remontant " vers les meilleures. Généralement, les deux pré-ordres

obtenus ne sont pas les mêmes. S'ils sont proches, c'est au décideur de proposer un " pré-ordre médian ". Sinon, une étude plus approfondie s'avère primordiale vu que les données risquent d'être trop divergentes pour construire un pré-ordre complet acceptable. Dans les deux cas, une analyse de robustesse est évidemment nécessaire.

Approche du surclassement de synthèse

Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)

Cette méthode est considérée comme une des plus récentes des méthodes de surclassement. Elle se base sur une extension de la notion de critère. Cette dernière nécessite la fixation, par le décideur, d'un certain nombre de paramètres qui ne posent pas de difficultés. A l'aide de cette méthode, un graphe value de surclassement est obtenu sur la base duquel deux exploitations particulières sont proposées. La première permet d'obtenir une relation partielle et tolère l'incomparabilité; c'est la méthode PROMETHEE I. La seconde permet de ranger les actions potentielles de la meilleure à la moins bonne selon un pré-ordre total; c'est la méthode PROMETHEE II. PROMETHEE compare les actions deux à deux en associant à chaque critère j une fonction de préférence S_j . Cette fonction modélise les préférences du décideur selon ce même critère j . Elle possède les propriétés suivantes :

1- Chaque fonction de préférence prendra ses valeurs entre 0 et 1. Plus la valeur est proche de 0, plus l'indifférence du décideur pour les deux actions augmente. Plus elle tend vers 1, plus sa préférence pour une action grandit. En cas de préférence stricte, la fonction devient égale à 1.

Brans et al. (1984) proposent six fonctions de préférence selon le type du critère : vrai- critère, quasi-critère, critère à préférence linéaire, critère à paliers, critère à préférence linéaire avec zone d'indifférence et critère gaussien. En effet, la démarche de la méthode PROMETHEE suppose que le décideur évolue dans son comportement d'une phase d'indifférence (0) vers une autre préférence faible pour atteindre finalement la phase de préférence stricte (1). Evidemment, ces six types ne sont pas exclusifs et le décideur n'est pas restreint à utiliser l'un ou l'autre de ces critères.

2- Il s'agit de définir deux seuils afin d'identifier la fonction de préférence de certains critères. Le premier est le seuil d'indifférence qui correspond à la valeur minimale de la différence entre les valeurs des deux actions a et b selon un même critère, au-dessous de laquelle, le décideur serait indifférent entre les deux actions a et b . Le deuxième est le seuil de préférence qui correspond à la valeur minimale de la différence entre les valeurs des deux actions a et b selon un même critère, au-dessus de laquelle, l'action a est préférée à b .

3- Le passage d'une préférence à un surclassement lors du processus de décision exige, pour chaque action a , d'utiliser des indices de préférence qui représentent les degrés de surclassement, des flux sortants qui représentent la dominance de a par rapport aux autres actions, des flux entrants qui représentent la faiblesse de a par rapport aux autres actions et des flux nets qui représentent les bilans des flux entrants et sortants.

Approche interactive

Méthode de Geoffrion, Dyer et Feinberg (1972)

Cette méthode a été proposée pour résoudre des programmes mathématiques à objectifs multiples où A est un sous-ensemble convexe et compact de $\mathbb{R}^p$. En plus, cette méthode suppose que le décideur désire maximiser une fonction d'utilité qui n'est pas connue explicitement mais qui est supposée différentiable et concave. La méthode constitue une adaptation au cas multiobjectif de l'algorithme de Franke-Wolfe qui a été choisi vu sa robustesse et sa convergence rapide. De manière analogue, d'autres algorithmes de programmation mathématique pourraient être rendus interactifs. Contrairement à la plupart des méthodes se basant sur des hypothèses particulières à propos d'une fonction d'utilité implicite, cette méthode n'exclut aucune solution au cours des étapes successives. D'où, elle peut être utilisée comme processus exploratoire dans une approche de type "essai-erreur" si on élimine les hypothèses de départ et les propriétés de convergence.

Méthode du point de mire

Cette méthode, fondée par Roy (1976), détermine itérativement une région intéressante et une direction de recherche (matérialisée par un vecteur de poids) qui permettent de générer une solution de compromis en minimisant "une distance pondérée augmentée de Tchebycheff". Ce processus se poursuit suivant une approche "essai-erreur". Cette procédure est applicable dans tous les cas, y compris lorsque A est défini par une liste d'actions. La méthode du point mire ne suppose pas l'existence d'une fonction d'utilité stable ce qui n'exige aucune cohérence particulière de la part du décideur. Ce dernier est alors libre de changer d'avis. L'objectif principal de cette méthode réside dans l'apprentissage des préférences par une approche "essai-erreur".

Méthode du point de référence

Wierzbicki (1982) a développé une approche plutôt générale que spécifique. Le décideur est amené à fixer des niveaux d'aspiration (points de référence), puis, l'homme d'étude essaie de les rapprocher au mieux sur la base d'une "fonction scalarisante" s . Ainsi, cette méthode diffère des méthodes basées sur les fonctions d'utilité vu qu'elle utilise des niveaux d'aspiration. Intuitivement, s'il n'est pas possible d'atteindre ces niveaux d'aspiration, on obtient une des solutions efficaces les plus proches (au sens de s) de ces niveaux. S'il est possible de dépasser les niveaux d'aspiration, on obtient une des solutions efficaces parmi les meilleures (au sens de s). Cette approche se place dans une perspective de processus d'apprentissage.

Tableau : Aide au choix d'une technique alternative

		Bassin de rétention			Surdimensionnement de réseau	Structure réservoir		Tranchée	Bassin d'infiltration	Puits d'infiltration	Noue et fossé	Toit stockant
		sec	en eau	enterré		Matériaux naturels	Matériaux préfabriqués					
Intégration Implantation	Valorisation dans le paysage	+++	+++	0	0	0	0	+	+++	+	+++	++
	Milieux d'implantation ¹	tous sauf urbain dense	tous sauf urbain dense	tous	péri-urbain / urbain dense	tous	tous	tous	tous sauf urbain dense	tous	tous sauf urbain dense	tous (fct ² du P.L.U. ou P.O.S.)
	Topographie du terrain	plat	plat	plat	définie sa position ²	plat	plat	définie sa position ²	plat	pas d'influence	définie leur position ²	pas d'influence
	Emprise foncière ³	+++	+++	+	+	+	+	++	+++	+	++	0
	Encombrement du sous-sol	0	0	+++	+++	+++	+++	+	0	+	0	0
	Plurifonctionnalité	+++	+++	+	0	+	+	+	++	++	++	+
Réalisation Entretien	Fonctionnement ⁴	rét.	rét.	rét.	rét.	rét. et/ou inf.	rét. et/ou inf.	rét. et/ou inf.	inf. ⁵	inf.	rét. et/ou inf.	rét.
	Difficulté de réalisation	0	+	+++ ⁶	+	++	+	++	+	++	0	+++
	Attention portée à la réalisation	+	++	+++	++	+++	++	++	++	++	+	+++
	Difficulté d'entretien	0	++	++	+	+++	+++	++	+	++	noe : 0 fossé : +	++

¹ : milieu rural, péri-urbain et urbain (dense).

² : sur un terrain pentu, les tranchées, les réseaux surdimensionnés, les fossés et les noues doivent être positionnés perpendiculairement à la pente.

³ : elle dépend du dimensionnement de l'ouvrage.

⁴ : le fonctionnement correspond à de la rétention (rét.) et/ou à de l'infiltration (inf.). L'infiltration des eaux pluviales est réalisable si la perméabilité du sol est suffisante.

Version janvier 2006

Tableau : Aide au choix d'une technique alternative (suite)

		Bassin de rétention			Surdimensionnement de réseau	Structure réservoir		Tranchée	Bassin d'infiltration	Puits d'infiltration	Noue et fossé	Toit stockant
		Sec	en eau	enterré		Matériaux naturels	Matériaux préfabriqués					
Dépollution Ecologie	Dépollution ⁷	phyto. déc.	phyto. déc.	déc.	0	déc. filt.	déc.	déc. filt.	phyto. déc. filt.	déc. filt.	phyto. déc. filt.	déc.
	Réalimentation de la nappe	0	0	0	0	possible ⁸	possible ⁸	possible ⁸	oui	oui	oui	0
	Réutilisation des eaux de pluie	0	++	+++	0	0	+	0	0	+++	+	0
	Sensibilisation du public	+++	++	0	0	0	0	+	+++	++	+++	+
	Apport écologique	+++	++++	0	0	++	+	++	++++	++	+++	+
Valorisation de l'investissement ⁹		+++	++++	++	0	+	+	+	+++	+++	+++	+
Intérêt alternatif général		++	++	+	0	++	++	+++	+++	++	++++	++

⁵ : un bassin d'infiltration peut également fonctionner en rétention et infiltration

⁶ : sauf pour les matériaux préfabriqués.

⁷ : les trois types de dépollution sont la phyto-remédiation (phyto.) pour les ouvrages végétalisés, la décantation (déc.) et l'interception par filtration (filt.).

⁸ : si l'ouvrage effectue de l'infiltration.

⁹ : la valorisation tient compte de la valorisation paysagère, de la plurifonctionnalité de l'ouvrage et la possibilité de réutilisation des eaux pluviales.

Version janvier 2006

Tableau : Aide au choix d'une solution compensatoire alternative

TYPES DE TECHNIQUE ALTERNATIVE	TYPES D'OPERATION						
	Maison individuelle	Résidence verticale	Habitation location HLM	Lotissement habitation	Bâtiment industriel	Lotissement industriel	Domaine public voirie
Tranchées d'infiltration (1)	++	++	+ (2)	+++	+ (3)	+ (3)	++ (2)
Chaussées à structure réservoir	+	+++	++	+++	- (4)	- (4)	++ (4)
Bassins secs	- (5)	- (5)	+ (5)	+++	++	++	+
Bassins en eau	- (5)	- (5)	+ (5)	+++	++	++	++
Puits d'infiltration (1)	++	+	+	++	-	-	-
Toits stockants	++	+++	+++	+++	+++ (3)	+++ (3)	-

(1) : suivant la géologie, la topographie et les textes réglementaires de zonage

(2) : en soignant l'entretien et en évitant des pratiques pouvant endommager la structure

(3) : uniquement pour les eaux non susceptibles d'être polluées (toit stockant)

(4) : problèmes liés aux poids lourds

(5) : problèmes liés aux coûts fonciers

(6) : concerne les zones à faible circulation.

Tableau : Choix d'une technique alternative par rapport aux conditions de site
(in Azzout, Cres et al. (1994).Tech. Altern. en Assain.)

CONDITIONS DE SITE	Sol peu propice à la pré- sence d'eau	Eaux souter- raines vulné- rables	Capacité d'ab- sorption mauvaise	Risque d'eaux chargées en pol- luants	Risque d'eaux chargées en fines	Nappe peu pro- fonde	Pas d'apport d'eau perma- nent	Pas d'exu- toire possible	Trafic fort	Portance mau- vaise	Pente du site forte	Espace foncier indis- ponible	Pente de toit forte	Climat monta- gneux	Passage de réseaux divers
TECHNIQUES															
CSR d'inf. à rev. drainant	a15	a17		a16	a1				a7	a8	a9			a11	a12
CSR d'inf. à rev. classique	a15	a17		a16	a1				a7	a8	a9			a11	a12
CSR de rét. à rev. drainant				a16	a1	a6			a7	a13	a9			a11	a12
CSR de rét. à rev. classique				a16	a1	a6			a7	a13	a9			a11	a12
Puits d'injection		a17	a18		a2						a20				a12
Puits d'inf.		a17	a18		a2						a20				a12
Tranchée d'inf.	a15	a17		a16	a1						a9				a12
Tranchée de rét.				a16	a1	a6					a9				a12
Fossé d'inf.	a15	a17									a9				
Fossé de rét.						a6					a9				
Noue d'inf.	a15	a17									a9				
Noue de rét.						a6					a9				
Toit stockant															
Citerne				a14											a12
SRP d'inf.	a15	a17		a14-a15	a1-a14						a10				a12
SRP de rét.				a14-a15	a1-a14	a6					a10				a12
Bassin sec infiltrant	a15	a17			a2					a8	a10				a12
Bassin sec étanche						a6					a10				a12
Bassin en eau (nappe)		a17			a2	a3					a10				a12
Bassin en eau étanche				a4	a4	a6					a10				a12
Bassin enterré				a5	a5	a6				a13	a10				a12
Conduites stockantes				a5	a5						a19				a12

Case vide = il y a compatibilité "site-technique"

Case grisée = il y a incompatibilité "site-technique"

CSR : chaussée à structure réservoir

SRP : structure réservoir poreuse

inf. : infiltration

rét. : rétention

rev. : revêtement

a. : remarque détaillée page suivante

L'exécutable ELECTRE III-IV

L'exécutable ELECTRE III-IV (version 3.1 Demo ; Copyright 1992-94 Lamsad University Paris Dauphine URA-CNRS 825. Programmed by Institute of Computing Science of Poznan Poland) est un outil conversationnel de classement de différentes actions que l'on compare sur la base de critères quantitatifs et/ ou qualitatifs retenus. Au cours d'une application le nombre de critères utilisés est limité à 5, le nombre d'actions à 6.

Pour entrer dans ELECTRE III il suffit d'exécuter sur ELDEMO la commande ELECTRE III-IV(ELDEMO.EXE étant l'exécutable). Apparaître à l'écran un menu principal ; Les trois commandes qu'on a utilisé sont :

File

Cette commande permet de visualiser, consulter et modifier la liste des fichiers de données déjà existants, de créer une nouvelle application et le choix de la méthode..., etc.

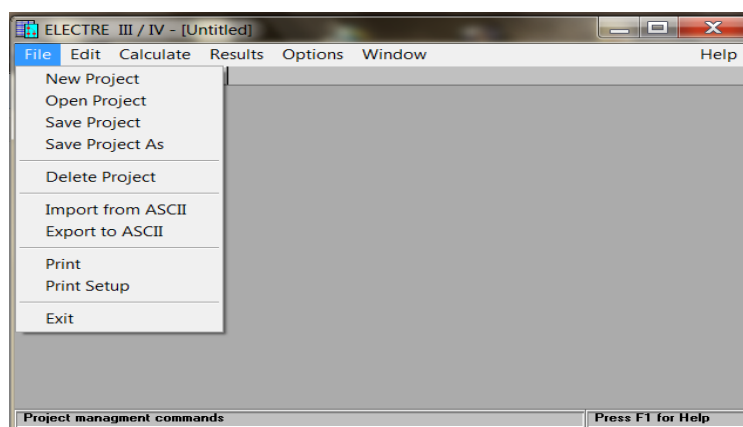


Figure : La commande "File"

Edit

cette commande permet la création de nouvelles actions, critères, $\check{E}$, d'introduire les données nécessaires à l'application de la méthode d'ELECTRE III.

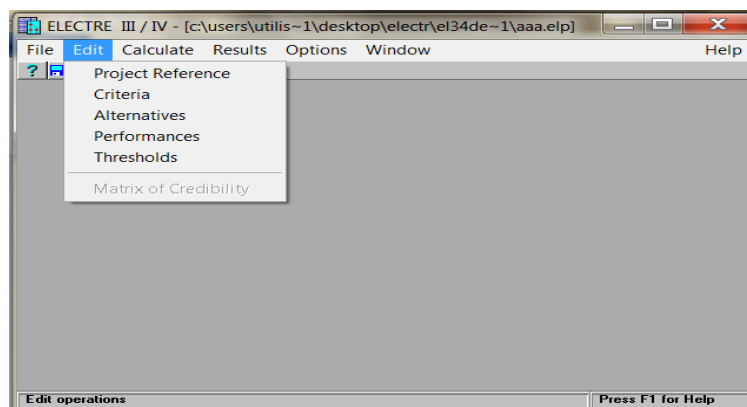


Figure : La commande "Edit"

Results

Cette option permet la consultation d'un graphe représentant le proèdre obtenu pour un jeu de donnés.

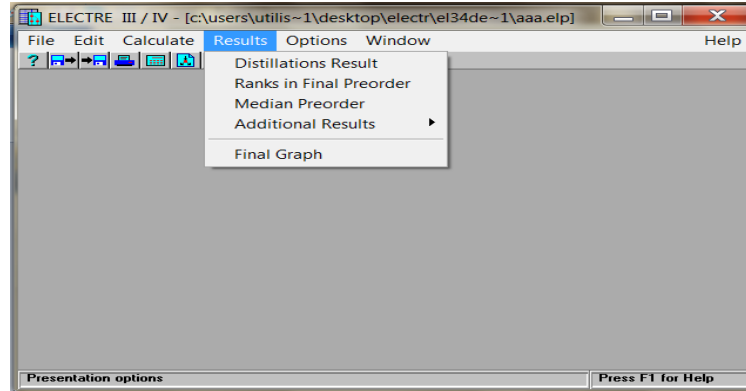


Figure : La commande "Results"

Resultats d'une application de la méthode ELECTRE III à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain(Charlotte MARTIN Michel LEGRET, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 2005)

Matrice des performances

CRITÈRE ALTERNATIVES		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
		Rétention de la pollution	Probabilité de dysfonctionnement	Besoins et fréquence O&M	Impact sur la qualité des eaux souterraines	Niveau d'agrément	Contribution aux politiques de DD	Coût d'investissement	Coût d'entretien	Réglementation
Unité		1 ... 5	%	1 ... 5	1 ... 5	1 ... 5	1 ... 3	€/UF*	€/UF/an	O/N
Sens de variation du critère		↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓
A1	Bassins à ciel ouvert en eau	4	20	3	2	5	3	38	32	O
A2	Bassins à ciel ouvert sec	4	20	3	2	5	3	54	32	O
A3	Bassins enterrés	4	20	2	2	1	1	370	32	O
A4	Noues	4	40	3	2	3,5	3	13	30	O
A5	Chaussées poreuses à structure réservoir	4	60	2	2	2,5	2	54	4,5	O
A6	Tranchées	4	60	2	2	2,5	2	39	1,2	O
A7	Toitures	1	40	2	5	1	2	0**	2	O
A8	Puits	4	60	2	1	1	1	4	2	O

* Unité Fonctionnelle. Les coûts donnés dans ce tableau sont donnés à titre indicatif et inspirés de différentes sources (CETE Sud-Ouest, Vigneron et al., 1998, Azzout et al., 1994). Ils sont fonction du dimensionnement du système que l'utilisateur doit prendre en compte (pour les bassins en eau, à sec, enterrés, les noues, l'UF est le m^3 ; pour les chaussées poreuses à structure réservoir, les tranchées, l'UF est le m^2).

** Une toiture terrasse ne présente pas de surcoût supplémentaire d'investissement. Pour l'entretien, il est estimé de façon similaire à l'entretien d'une dalle béton gazon ou de l'entretien de la surface réceptrice d'un puits, à savoir environ 0,18 €/m²/mois, soit environ 2 € par an.

Tableau : Poids des critères
 Les trois jeux de poids considérés dans l'analyse multicritère (exprimés en %)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Acteur 1	5	12	19	5	5	12	23	19
Acteur 2	15	4	4	15	21	21	10	10
Acteur 3	21	8	10	21	16	16	4	4

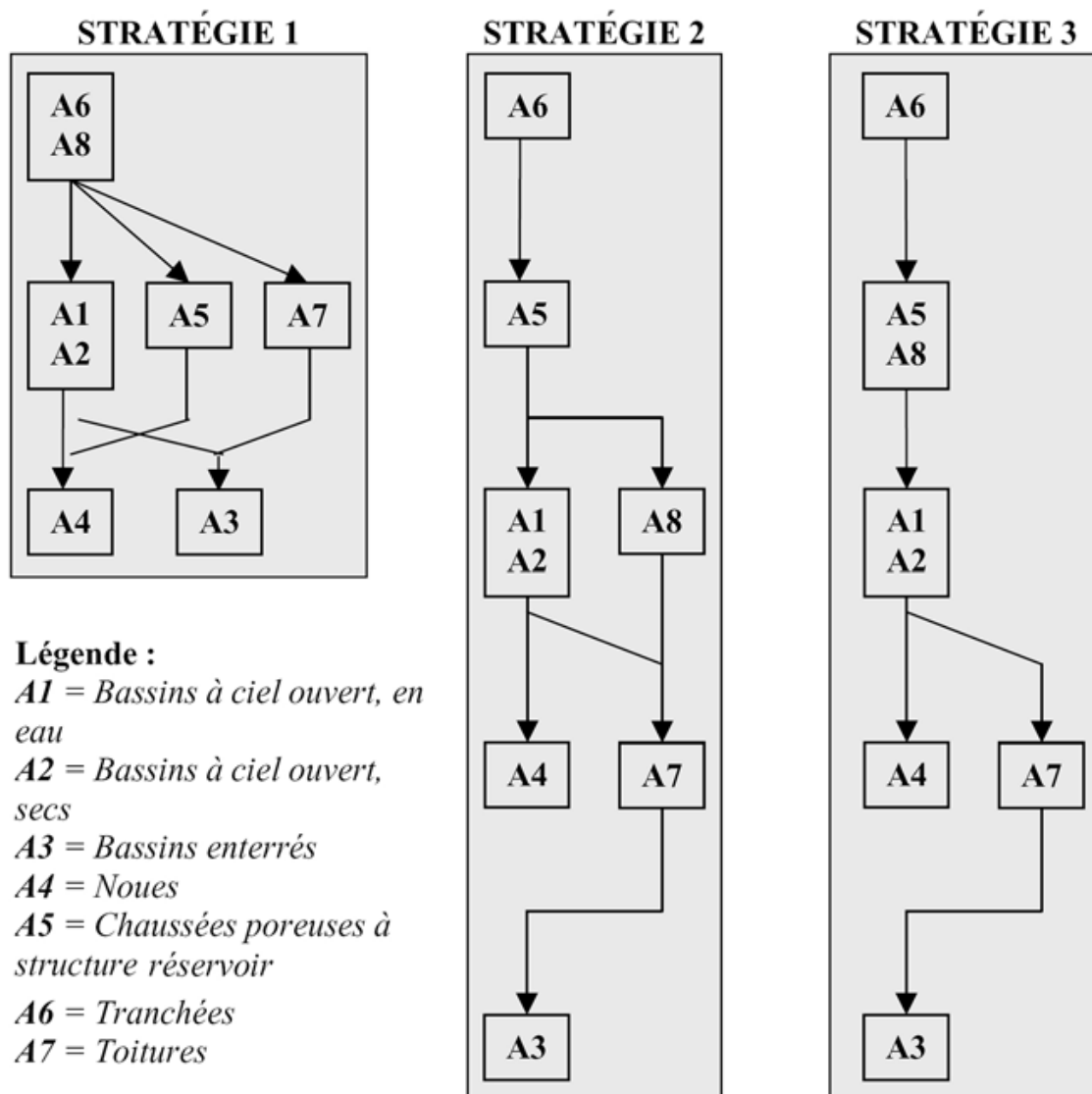


Figure : Résultats de surclassement

الملخص

مياه الأمطار في المناطق الحضرية أصبحت تشكل تهديدا حقيقيا، لأنها تؤدي إلى فيضانات بسبب زيادة التحضر و انعدام نفاذية التربة. الجريان السطحي يزداد أكثر وأكثر وشبكة مياه الأمطار أصبحت غير كافية لاستوعاب هذه الكمية الكبيرة من المياه. هكذا يصبح النظام معقدا والعديد من الخبراء يعتقدون أنه من الضروري الآن أن يحل محل مفهوم الصرف الصحي للمياه الأمطار في المناطق الحضرية بإدارة مياه الأمطار في المناطق الحضرية. ينبغي أن يكون من المنبع في حوض وعلى عدة مستويات باستخدام تقنيات بديلة. الغرض من هذه هو تشجيع التخزين المؤقت ونفاذيتها للحد من حجم تدفق المصب. لكن تنفيذ تقنيات بديلة تعتمد على العديد من العوائق الاجتماعية، التكنولوجية والطبيعية. اختيار إجراء (مجموعة تقنيات بديلة) يتطلب تحليل معايير متعددة في وقت متأخر لاستخدام وسيلة لدعم القرار. والهدف من هذه الدراسة هو تقديم التقنيات البديلة المستخدمة ووضع منهجية التقييم لمساعدة المسؤولين لاختيار أفضل الحلول وفقا لتقنيات البديلة و المعايير المختارة. طريقة ERTCELE III قد استعملت لاختبار الاستراتيجيات المختلفة في حالة من مدينة بجاية.

مفاتيح الكلمة : إدارة مياه الأمطار في المناطق الحضرية، والتقنيات البديلة، ودعم اتخاذ القرار.

Résumé

Les eaux pluviales en milieu urbain deviennent une véritable menace, provoquant des inondations à cause du développement de l'urbanisation et l'imperméabilisation croissante des sols. Le ruissellement augmente de plus en plus et le réseau enterré est insuffisant pour évacuer cette grande quantité d'eau. Donc, le système devient compliqué et beaucoup d'experts considèrent qu'il est aujourd'hui nécessaire de remplacer le concept d'assainissement urbain par celui de la gestion des eaux pluviales urbaines. Ça devrait se faire en amont du bassin et à plusieurs niveaux d'écoulement à l'aide des techniques alternatives. Le but de ces dernières est de favoriser le stockage temporaire et l'infiltration pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval. Mais la mise en œuvre des techniques alternatives dépend de plusieurs contraintes, sociales, techniques et naturelles. Le choix d'une action (Ensemble de Techniques) demande une analyse multicritères à fin d'utiliser une méthode d'aide à la décision. L'objectif de cette étude est de présenter les techniques alternatives utilisées et de développer une méthodologie d'évaluation permettant d'aider les acteurs à choisir les meilleures actions en fonction de techniques alternatives et des critères retenus. La méthode ELECTRE III a été utilisée pour tester différentes stratégies sur le cas de la ville de Bejaia.

MOTS-CLES : Gestion des eaux pluviales urbaines, techniques alternatives, aide à la décision.

Abstract

Rain water in urban environment becomes a true threat, causing floods; because of development, increasing urbanization and proofing of the grounds. The streaming increases dramatically and the buried network is insufficient to evacuate this great quantity of water. Therefore system becomes complicated and much of experts consider that it is today necessary to replace the concept of urban cleaning by the management of urban water, which should be made upstream basin and with several processes of flow using the alternative techniques, of which the goal to enhance temporary storage and infiltration and reduce volumes running out towards swallow. But the implementation of the alternative depends on several constraints, social, technical and natural techniques. The choice of an action (Sets of the Techniques), request analysis multi-criteria, to use assistance decision methods. The aims objective of this study is to present the alternative techniques and to develop a methodology of evaluation to help the actors to choose a good action. Finally, application for the management of part bejaia town was illustrated.

Keys words: Urban rain water management, technical water rain alternate, decision- aid method.