



République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen

Faculté de technologie

Département de génie électrique et électronique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Industriel

Option : Chaines logistiques

Thème

**Investigation autour de la
localisation optimale des stations
d'épuration : cas du groupement
urbain de Tlemcen.**

Réalisé par :

- HADJADJ Nour El Houda
- ABDI Khaoula

Présenté le 28 Juin 2018 devant la commission d'examen composée de MM.

- | | |
|-------------------------|--------------|
| - Mr Ghezzen Amine | Président |
| - Mr Belkaid Fayçal | Examineur |
| - Mr Maliki Fouad | Examineur |
| - Mr Bennekrouf Mohamed | Encadrant |
| - Mr Bensmain Yasser | Co-encadrant |

Année universitaire : 2017-2018

Remerciement

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

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr M.

BENNEKROUF, et nous n'oublierons jamais notre professeur Mr y. BENSMAIN comme un Cher frère, on les remercie pour la qualité de leur encadrement exceptionnel, pour leur patience, leur rigueur et leur disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait Mr A. GUEZZEN en étant président du jury et Mr F. BELKAID et Mr F.MALIKI d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin principalement à tous l'effectif de Génie industrielle.

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes, sont-elles ne sauraient exprimer notre gratitude, notre reconnaissance et notre remerciement à tous les membres de la cité «Sofi Manaouar» pour leur tendresse, gentillesse et respect pendant cinq ans et nous vous remercions de notre avoir accueilli parmi vous et pour votre soutien tout au long de notre parcours universitaire. Puisse ce travail témoigner de notre profonde affection et de notre sincère estime.

Dédicace

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel,
mon soutien moral et source de joie et de
bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour
me voir réussir, que dieu te garde dans son
vaste paradis, à toi mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes
efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon
bonheur ; maman que j'adore.*

*À mon frère, mes sœurs et ma belle sœur, mes
nièces Rachâ et Rana, et mes neveux Rayan,
A.Erahim, Mouhamed Yacin et A.Erahmen, je
dédie ce travail dont le grand plaisir leurs
revient en premier lieu pour leurs conseils,
aides, et encouragements.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et
encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et
qui m'ont accompagnaient durant mon chemin
d'études supérieures, mes aimables amies,
collègues*

*d'étude, et sœurs de cœur, toi Nour Elhouda ,
beuthaina , Nacira et mon amie d'enfance ma
belle Lilya.*

Khaoula

Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

A Mon cher père & Ma chère mère pour leur soutien et leurs sacrifices, pour mon éducation et ma formation

A Mes chères sœurs Manel & Hibat Elrahmen

A Mes cher frère Houcine & Belkacem

A Mes meilleurs amis Khawla, Beuthaina & Nacira

A toutes les membres de ma famille

Merci d'être toujours là pour moi.

Nour El Houda

- Table des matières -

Remerciement.....	II
Dédicace	III
Dédicace	IV
- Table des matières -	5
- Tables des figures -	9
- Table des tableaux -	11
Introduction générale.....	13
Chapitre I Contexte général du projet	16
Introduction	17
I. Epuration des eaux	17
I.1. Définition des eaux usées	17
I.2. Origine et Composition des eaux usées	17
I.2.1. Les eaux usées domestiques	17
I.2.2. Les eaux industrielles	17
I.2.3. Les eaux agricoles	17
I.2.4. Les eaux pluviales	17
I.3. Traitement des eaux usées	17
I.3.1. Définition d'une station d'épuration (STEP)	18
I.4. Etapes de traitement des eaux usées	18
I.4.1. Prétraitement	19
I.4.2. Traitement primaire (décantation primaire)	20
I.4.3. Traitement secondaire (décantation secondaire)	21
I.5. Les techniques intensives	22
I.5.1. Lit bactérien [6].....	22
I.5.2. Boues activées (11)	25
I.6. Les techniques extensives.....	30
I.6.1. Le lagunage (2).....	30
I.6.2. Les filtres plantés de roseaux	31
I.7. Analyse comparative des différents systèmes d'épuration des eaux usées (15).....	32
II. Méthodes d'aide à la décision multicritère	34
II.1. Définition des concepts	34
II.1.1 Décision.....	34

II.1.2	L'aide à la décision	35
II.1.3	L'aide multicritère à la décision (18)	35
II.1.4	Les acteurs d'une décision	35
II.1.5	Action potentielle (alternative) (21)	35
II.1.6	Problématique d'aide à la décision.....	36
II.1.7	Critère, famille de critères, interaction entre critères	37
II.2.	Comparaison entre actions.....	39
II.2.1	Dominance	39
II.2.2	Efficacité	39
II.2.3	Procédure d'agrégation	40
II.3.	Formulation et résolution d'un problème multicritère (26).....	40
II.3.1	Définition de la problématique et la structuration de la situation	40
II.3.2	L'articulation et la modélisation des préférences.....	40
II.3.3	Agrégation des préférences et exploitation des résultats	41
II.4.	Principales méthodes multicritère d'aide à la décision	41
II.4.1	Méthode d'agrégation complète : approche du critère unique de synthèse	41
II.4.2	Méthode d'agrégation partielle : approche de surclassement de synthèse	43
II.4.3	Méthodes d'agrégation locale : approche du jugement local interactif	43
	Conclusion.....	44
	Chapitre II Etude du système d'épuration existant	45
	Introduction	46
I.	Description de la STEP de la ville de Tlemcen	46
I.1.	Situation géographique	46
I.2.	Population desservie par la station	46
I.2.1.	La commune de Tlemcen	47
I.2.2.	La commune de Mansourah	47
I.2.3.	La commune de Chetouane	47
I.3.	Données de base de la station	47
II.	Filière de traitement	48
II.1.	Déversoir d'orage	48
II.2.	Les prétraitements.....	49
II.2.1.	Les dégrilleurs	49
II.2.2.	La vanne de by-pass	50
II.2.3.	Le Dessableur-déshuileur (2 unités).....	50

II.3. Le traitement biologique.....	50
II.4. Traitement des boues	51
III. Réutilisation des eaux traitées.....	52
Conclusion et synthèse	55
Chapitre III Adaptation de la méthode TOPSIS floue pour le choix des sites d'épuration	57
Introduction	58
I. Etat de l'art.....	58
II. Définition et structuration du problème de sélection du site de traitement des eaux usées du GUT.....	58
II.1. Définition des sites candidats	59
II.1.1. Le site d'Aïn El Houtz (S1).....	59
II.1.2. Le site d'Ouzidane (S2).....	59
II.1.3. Le site de Sidi Kanoun (S3)	59
II.1.4. Le site de Hennaya (S4)	59
II.2. Définition des critères.....	59
II.2.1 Le climat (C1).....	59
II.2.2 L'occupation de l'espace et le cout de terrain (C2).....	60
II.2.3 La distance aux groupements de la population (C3)	60
II.2.4 La topographie (C4)	60
II.2.5 La distance au milieu récepteur (C5)	60
II.2.6 La distance de la route (C6).....	61
II.2.7 Le risque d'inondation (C7)	61
II.2.8 La pente du site (C8)	61
II.2.9 La forme géologique (C9)	61
II.2.10 La disponibilité des terres agricoles (C10).....	61
II.2.11 La texture du sol (C11)	61
III. Choix de la méthode TOPSIS floue.....	62
IV. Application numérique.....	62
IV.1. Etape 1 : Construction de la matrice de décision floue et du vecteur du poids	62
IV.2. Etape 2 : Normalisation de la matrice de décision floue	65
- L'occupation de l'espace et le cout de terrain (C2).....	65
- La distance de la route (C6).....	65
- Le climat (C1).....	65
- La distance aux groupements de la population (C3).....	65

- La topographie (C4).....	65
- La distance au milieu récepteur (C5).....	65
- Le risque d'inondation (C7).....	65
- La pente du site (C8).....	65
- La forme géologique (C9).....	65
- La disponibilité des terres agricoles (C10).....	65
- La texture du sol (C11).....	65
IV.3. Etape 3 : Construction de la matrice de décision floue pondérée	66
IV.4. Etape 4 : Calcul de la solution idéale positive A + et la solution idéale négative A –	66
IV.5. Etape 5 : Calcul des distances entre chaque alternatif par rapport à FPIS et FNIS	67
IV.6. Etape 6 : Calcul des coefficients de proximité et rangement des alternatives	68
Conclusion.....	69
Chapitre IV Adaptation de la méthode AHP pour le choix de la technique d'épuration	70
Introduction	71
I. Etat de l'art.....	71
II. Principe de la méthode AHP	72
III. Problème de sélection de la technologie d'épuration des eaux usées	73
III.1. Caractéristiques des eaux usées (C1)	74
III.2. Performances techniques (C2)	74
III.3. Produit valorisé (C3).....	74
III.4. La gestion (C4)	74
III.4.1 La gestion des personnes (C4a).....	74
III.4.2 La gestion de la STEP (C4b).....	74
III.5. Le site (C5)	74
III.6. Les conditions économiques (C6).....	74
III.6.1 Consommation électrique (C6a).....	74
III.6.2 Coûts d'exploitation (C6b).....	74
IV. Expériences numériques	75
IV.1. Etape 1 : Décomposition du problème en une structure hiérarchique	75
IV.2. Etape 2 : Effectuer les combinaisons binaires	76
IV.3. Etape 3 : Définir les poids des critères pour chaque alternative	78
IV.4. Etape 4 : Synthétiser les priorités.....	78
Conclusion.....	79

Chapitre V Présentation des dimensions techniques et économiques de réseau d'épuration des eaux usées des agglomérations de Tlemcen	80
Introduction	81
I. Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à base de traitement par le lagunage aéré	81
II. Dimensionnement de la nouvelle station d'épuration de Hennaya.....	82
II.1. Etude préalable	83
II.1.1. Estimation de la population.....	83
II.1.2. Estimation de la Surface.....	83
II.1.3. Calcul de coûts de charge.....	84
III. Vision stratégique de réseau de station d'épuration de la région Tlemcen Remchi, Beni Meter et Ain Fezza.	90
III.1. Présentation du problème	90
III.2. La formulation mathématique du modèle.....	92
III.2.1. Les paramètres.....	92
III.2.2. La fonction objective.....	93
III.3. Interprétation des résultats.....	93
III.3.1 Résultat de la localisation des STEPS.....	94
III.4. Évaluation : coûts et indicateurs d'installations	95
Conclusion.....	96
Conclusion et perspectives	97
- Références bibliographiques –	99
Annexe 1.....	104
Annexe 2	105
– Résumé –	106

- Tables des figures -

Figure 1 : Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées.	18
Figure 2 : Grille manuelle (2).....	19
Figure 3 : Dessableur/Déshuileur (2)	20
Figure 4 : Schéma d'un décanteur primaire (7).....	21
Figure 5 : Décanteur.....	21
Figure 6 : Exemple d'une station à lit bactérien (10).....	22
Figure 7 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	23
Figure 8 : Schéma de fonctionnement d'un lit bactérien	23

Figure 9 : Exemple d'une station par boues activées (13).....	25
Figure 10 : Synoptique d'une boue activée - aération prolongée	26
Figure 11 : Schéma de fonctionnement de boue activé.....	26
Figure 12 : Charge volumique.....	27
Figure 13 : Charge massique	27
Figure 14 : Schéma de principe d'un lagunage aéré (12)	31
Figure 15 : Lagunage naturel	31
Figure 16 : Exemple de filtre planté de roseaux (14).....	32
Figure 17 : Principe de fonctionnement d'une station à filtre plantée de roseaux (14).....	32
Figure 18 : Domaine d'application des différents systèmes de traitement des eaux usées	33
Figure 19 : Problématique du choix $P.\alpha$	36
Figure 20 : Problématique du tri $P.\beta$ (22).....	37
Figure 21 : Problématique du rangement $P.\gamma$ (22)	37
Figure 22 : Situation géographique de la STEP de «AIN EL HOUTZ» (41)	46
Figure 23 : présentation du groupement urbain de Tlemcen.....	47
Figure 24 : Schéma général de la station d'épuration d'Ain Houtz (46)	48
Figure 25 : Déversoir d'orage	49
Figure 26 : Grille grossière manuelle	49
Figure 27 : Grille mécanisée	50
Figure 28 : Déssableur-déshuileur.....	50
Figure 29 : Bassins d'aération.....	51
Figure 30 : Photo d'un clarificateur	51
Figure 31 : Photo d'un épaisseur.....	52
Figure 32 : Vue d'un lit de séchage rempli de boues	52
Figure 33 : Variation moyenne du pH de l'eau à la sortie de la STEP (49).....	53
Figure 34 : Variation moyenne du la DBO5 de l'eau à la sortie de la STEP (49)	53
Figure 35 : Variation moyenne de la DCO de l'eau à la sortie de la STEP (49)	54
Figure 36 : Variation moyenne du MES de l'eau à la sortie de la STEP (49)	54
Figure 37 : Variation moyenne de la CE de l'eau à la sortie de la STEP (49).....	55
Figure 38 : Variation moyenne de $N - NO_3 -$ de l'eau à la sortie de la STEP (49)	55
Figure 39 : Synthèse des paramètres d'épuration.....	56
Figure 40 : Critères environnementales, géologique et économiques.....	60
Figure 41 : Le site sélectionné par la méthode TOPSIS floue	68
Figure 42 : un exemple de niveaux hiérarchiques.....	72
Figure 43 : Structure hiérarchique pour la sélection des alternatives pour les stations d'épuration	76
Figure 44 : Poids des critères	78
Figure 44 : les bassins de lagunage	81
Figure 45 : Estimation de la population	83
Figure 46 : Estimation des eaux usées	84
Figure 47 : Estimation des eaux épurées	84
Figure 48 : Valorisation des boues et des eaux	88
Figure 49 : La zone d'irrigation	89
Figure 50 : la distance entre deux arbres d'orange.....	89

Figure 51 : Les STEPS proposées sur une carte géographique.....	92
Figure 53 : La valeur de la fonction objectif sous Lingo	94
Figure 54 : Les affectations des zones aux STEPS	94
Figure 54 : Les affectations des zones aux sites et des sites aux zones agricoles.....	95
Figure 56 : Plan d'une station d'épuration	104

- Table des tableaux -

Tableau 1 : Variation des paramètres du lit bactérien selon les charges appliquées	23
Tableau 2 : Variation des paramètres du lit bactérien selon les charges appliquées	28
Tableau 3 : Rendement de métabolisation et coefficient de respiration endogène	30
Tableau 4 : Caractéristiques des aérateurs	30
Tableau 5 : Avantages et inconvénients des filières intensives et extensives.....	33
Tableau 6 : Données de base de la STEP de AIN EL HOUTZ.....	47
Tableau 7 : Dimensions des dégrilleurs	49
Tableau 8 : Dimensions des bassins.....	50
Tableau 9 : Dimensions de décanteur	51
Tableau 10 : Variables linguistiques pour le poids d'importance de chaque critère	62
Tableau 11 : Variables linguistiques pour les alternatives (les sites).....	63
Tableau 12 : Importance du poids des critères donnée par chaque décideur	63
Tableau 13 : Evaluation linguistique des sites par chaque décideur sous les onze critères	63
Tableau 14 : Vecteur du poids des critères	64
Tableau 15 : Matrice de décision floue	64
Tableau 16 : Classification des critères entre gain et cout	65
Tableau 17 : Matrice de décision floue normalisée.....	66
Tableau 18 : Matrice de décision floue pondérée	66
Tableau 19 : Solutions FBIS et FNIS.....	67
Tableau 20 : Distance entre chaque alternative par rapport à FBIS et FNIS pour chaque critère	67
Tableau 21 : Distance entre les alternatives par rapport à FBIS et FNIS	68
Tableau 22 : Coefficient de proximité et rangement.....	68
Tableau 23 : Comparaison entre les valeurs des critères de chaque alternative	75
Tableau 24 : Matrice de comparaisons.....	76
Tableau 25 : Poids des critères	77
Tableau 26 : le poids de critère pour chaque alternatif	78
Tableau 27 : matrice de résultat	78
Tableau 28 : Estimation des caractéristiques de la nouvelle STEP.....	82
Tableau 29 : Estimation de la surface	83
Tableau 30 : Réseau Séparatif - partie Est accordé avec La STEP de Hennaya	85
Tableau 31 : Réseau Séparatif - partie Centre accordé avec La STEP de Hennaya	85
Tableau 32 : Réseau Séparatif - partie Ouest accordé avec la STEP de Hennaya	85
Tableau 33 : Distances entre les collecteurs principaux et la nouvelle STEP.....	85

Tableau 34 : Cout total de canalisation	86
Tableau 35 : Les charges de réalisation d'une STEP à l'horizon de 30 ans pour une filière de lagunage aéré.....	86
Tableau 36 : Les subventions de l'autorité et des citoyens	87
Tableau 37 : Estimation des arbres et de la surface	90
Tableau 38 : Les coordonnées de zones affectées.....	90
Tableau 39 : Les cordonnées des sites candidats	91
Tableau 40 : Les indicateurs de mesure liée à d'installation.....	95
Tableau 41 : Tableau des normes algérien des eaux usées rejeté.....	105

Introduction générale

En Algérie, pour un ratio de consommation d'eau de l'ordre de 200 litres par habitant par jour, la nécessité de penser d'une manière durable à la récupération des eaux usées versée dans l'environnement devient un plan de développement national. Depuis une dizaine d'années, l'état algérien a adopté un programme riche en matière d'épuration des eaux usées, et a lancé une série des projets qui servent à traiter l'eau résidentielle et industrielle.

Pour structurer ce problème, l'état a mis en service l'office national de l'assainissement (ONA). C'est une entité qui se charge de l'exploitation d'un réseau d'évacuation sanitaire de 603 communes. Elle est aussi sensée à gérer 32 stations d'épuration raccordées à 20 bassins de traitement tout en assurant un service à près de 3,5 million habitants ou soit $600000 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Ainsi, pour étendre ce service à d'autres zones urbaines, la mise en place d'une station d'épuration doit respecter certains critères environnementaux, économiques, géologiques et techniques...etc. Pour une bonne exploitation stratégique à long terme, le choix d'emplacement géographique d'une entité spécifique au traitement des eaux usées se classe parmi les problèmes de localisation d'usines indésirables. Atteindre cet objectif qui est : où faut-il localiser et comment coordonner entre un groupement urbain et une zone d'utilisation à caractère agricole ? fait appel à l'outil d'optimisation multi-objectif MCDM (Multi Criteria Decision Making) dont le choix entre les alternatives (action ou solution) requies le recours à des méthodes multicritères.

Comme un cas pratique relatif à l'extension de réseau d'épuration du groupement urbain de Tlemcen (GUT), nous avons choisi le problème de choix d'un site complémentaire à la STEP d'Ain El Houtz. En se basant sur la recherche bibliographique, nous avons utilisé la méthode TOPSIS dans un environnement flou pour sélectionner le site potentiel de la nouvelle station d'épuration. Afin de valider la robustesse de notre étude, une classification par rapport à onze critères est investiguée.

Entre autres, seul le choix de site de localisation de la STEP ne limite pas notre étude stratégique. Mais aussi, il faut l'améliorer par la sélection de la technique de traitement des eaux usées la plus appropriée. Afin de traiter cette tâche difficile qui nécessite l'évaluation d'un ensemble des alternatives par rapport à des critères généralement contradictoires, le processus de hiérarchie analytique (AHP) est appliqué pour évaluer quatre méthodes possibles (boue activée, lit bactrien, lagunage naturel, lagunage aéré). Cette classification est mesurée par rapport à six critères typiques (caractéristiques des eaux usées, performance technique, produits valorisées, site, gestion et conditions économiques).

Ce travail est structuré de la manière suivante :

- Dans le chapitre 1, nous donnons des généralités sur les modes de traitement et les différentes méthodes d'aide à la décision multicritères. Par la suite dans le deuxième chapitre, nous mettons l'accent sur la présentation du système d'épuration des eaux usées qui traite partiellement le groupement urbain de Tlemcen (GUT).
- Afin d'améliorer la récupération des eaux usées du groupement urbain de Tlemcen à un pourcentage de 100 %, le troisième chapitre fait l'objet de l'utilisation de la méthode TOPSIS dans un ensemble flou. Ceci a pour conséquence d'aider les décideurs à sélectionner le meilleur site de localisation de la station complémentaire de celle d'Ain El Houtz.

- Une fois le site est choisi, dans le quatrième chapitre, nous implémentons la deuxième approche d'analyse multicritères AHP afin de trancher entre les classes de traitement intensif et non intensif. Notant que deux types de modes de traitement soient proportionnels à chaque classe.
- Dans, le chapitre 5, nous enrichissons notre choix par l'étude économique de la nouvelle station en termes de mode de fonctionnement et de rentabilité jusqu'à l'horizon 2048 qui correspond à une date de sa fin de vie. De plus, une nouvelle structuration du grand réseau de l'accueil des eaux usées du bassin Tlemcen, Hennaya et Remchi est configuré. Comme avantage, même les affectations STEP - zones d'irrigation sont distinctes. Pour pousser de manière optimale ce réseau de chaîne logistique à deux niveaux, un modèle mathématique en entier mixte est proposé et est implémenté sur le solver Lingo. Enfin, nous clôturons cette étude par une conclusion générale.

Chapitre I Contexte général du projet

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le contexte général du projet, divisé en plusieurs parties : dans la première partie, on va consacrer à une description des différentes étapes pour l'épuration des eaux usées, après on va définir les modes du traitement. Puis, dans la deuxième partie, nous allons présenter les notions de base de l'analyse multicritère. Nous concluons cette partie par présenter les principales méthodes d'aide à la décision multicritère.

I. Epuration des eaux

L'épuration des eaux usées a pour objectif de rejeter dans le milieu naturel des eaux d'une qualité suffisante pour protéger le plus possible le milieu récepteur. Les procédés d'épuration des eaux usées sont nombreux et très différents l'un par rapport l'autre.

I.1. Définition des eaux usées

Ceux sont les eaux altérées par les activités humaines à la suite d'un usage domestique (eaux ménagères lessives, cuisine et bain ainsi que les eaux de vannes, industriel, artisanal, agricole ou autre. Une personne consomme en moyenne 150 à 200 litres d'eau potable par jour. Une fois utilisée, elle devient de l'eau dite « eau usée » (1).

I.2. Origine et Composition des eaux usées

Suivant l'origine des substances polluantes on distingue entre quatre catégories d'eaux usées :

I.2.1. Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, ...etc.et en eaux 'vannes' sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (1).

I.2.2. Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures (1).

I.2.3. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux car elle apporte les engrais et les pesticides (2).

I.2.4. Les eaux pluviales

On entend par eaux pluviales, les eaux issues du ruissellement des toitures, des terrasses, des parkings et des voies de la circulation. Leur destination est le milieu naturel (1).

I.3. Traitement des eaux usées

Le principe de l'épuration des eaux usées urbaines est basé, dans la plupart des cas, sur la dégradation biologique aérobie des pollutions présentes dans les eaux usées. Dans la nature, les

microorganismes présents dans les rivières et dans les sols effectuent spontanément une biodégradation de la pollution des eaux, c'est le phénomène d'autoépuration.

Les stations de traitement des eaux usées ne font qu'au final d'imiter la nature mais dans un espace plus confiné où les processus biologiques de dégradation de la pollution sont amplifiés et intensifiés.

Parmi les procédés biologiques, on distingue essentiellement :

- Les procédés à cultures libres où les microorganismes épurateurs sont présents librement dans l'eau.
- Les procédés à cultures fixées où les microorganismes sont fixés sur un support solide.

D'autres techniques, utilisées dans les zones rurales, sont des copies d'écosystème naturel de type zone humide associant eaux, sols et végétaux. Mais peu importe les méthodes utilisées pour le traitement des eaux usées (3).

I.3.1. Définition d'une station d'épuration (STEP)

C'est une installation qui sert à dépolluer les eaux usées pour éviter la destruction totale des écosystèmes aquatiques et naturelles du à l'effluents pollués, et au même temps éviter la rareté de la source en eau se faisant sentir au cours des prochaines années.

L'objectif d'une STEP est :

- Protection de la santé.
- Protection des sources d'eau potable.
- Protection de système aquatique terrains adjacents.

I.4. Etapes de traitement des eaux usées

D'une façon générale, une station d'épuration des eaux usées comprend les étapes suivantes :

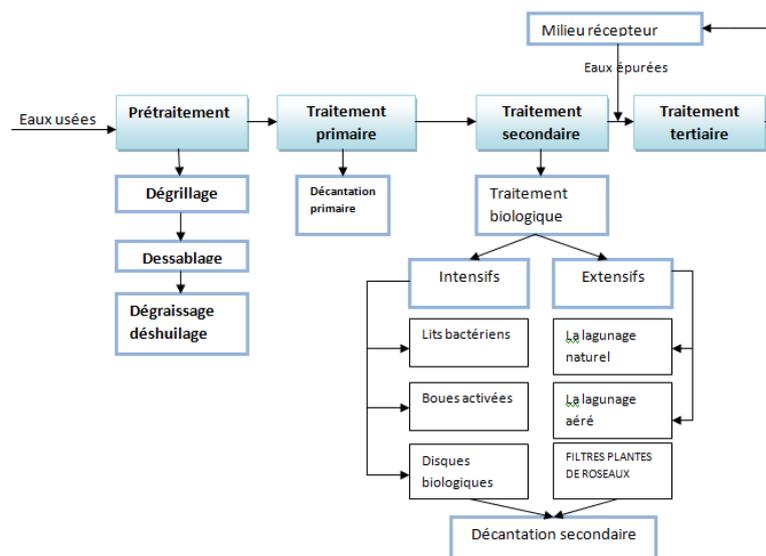


Figure 1 : Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées.

I.4.1. Prétraitement

Cette étape élimine les solides décantables ou flottables, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles :

a- Dégrillage

Le dégrillage consiste à débarrasser l'effluent des matières les plus volumineuses. Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels (4).



Figure 2 : Grille manuelle (2)

Calcul du dégrilleur :

Selon l'expression de Kirschmer, la largeur de la grille est :

$$L = \frac{S - \sin \alpha}{h_{max}(1 - \beta)\delta}$$

Où

L : largeur de la grille

h_{max} : hauteur maximum admissible sur une grille (m)

β : fraction de surface occupée par les barreaux

$$\beta = \frac{d}{d + e}$$

Où :

d : épaisseur des barreaux (cm)

e : espacement des barreaux . (5)

Paramètres	Grilles grossières	Grille fines
d (cm)	2	1
e (cm)	5 à 10	0.3 à 1

b- Dessablage

C'est un procédé consiste à l'élimination des sable présents dans l'effluent brute est indispensable pour protéger les conduit et les pompes contre l'érosion et le colmatage d'une part (6).

c- Dégraissage déshuilage

C'est une opération destinée à réduire les graisses et huiles non émulsionnées par simple sédimentation physique en surface. Il existe différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter (6)



Figure 3 : Dessableur/Déshuileur (2)

Calcul déssablage-déshuilage (5)

- Longueur du déssableur

$$\frac{L}{H} = 10$$

Où H : hauteur

- Largeur du déssableur

$$B = \frac{Sh}{L}$$

- Volume du bassin

$$V = Sh * H.$$

I.4.2. Traitement primaire (décantation primaire)

La décantation primaire a pour objet de parfaire la qualité des prétraitements notamment par la capture des matières en suspension 'MES' naturellement décantables et par élimination poussé des flottants (huile et graisse) (7).

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur, les matières solides se déposent dans le fond d'un ouvrage appelé décanteur pour former les boues primaire.

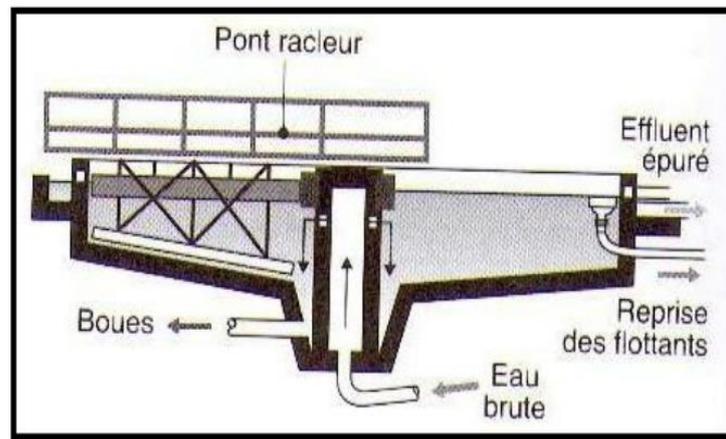


Figure 4 : Schéma d'un décanteur primaire (7).



Figure 5 : Décanteur

I.4.3. Traitement secondaire (décantation secondaire)

Si les prétraitements font appel à des procédés physiques, le traitement secondaire est une épuration biologique.

On distingue couramment les techniques dites intensives et des techniques dites extensives :

- Du côté des techniques extensives, on reconstitue des écosystèmes artificiels simplifiés. Il s'agit de faire intervenir l'ensemble des processus de dégradation présents naturellement dans un écosystème. Avec les techniques extensives, on reproduit le principe de l'autoépuration, mais dans des écosystèmes artificiels optimisés, de façon à protéger l'écosystème naturel. L'appellation « extensive » provient du fait que ces techniques nécessitent de grandes surfaces pour être pratiquées. Les charges appliquées par unité de surface sont par conséquent très faibles. La surface minimale requise est de 3 à 5 m^2 /Équivalent-Habitant¹ (EH). L'extensive offre des techniques d'épuration qui sont des

¹ Équivalent-Habitant est une unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. Cette unité de mesure se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour. 1 EH = 60 g de DBO5/jour en entrée station soit 21,6 kg de DBO5/an.

La directive européenne du 21 mai 1991 définit l'équivalent-habitant comme la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour.

solutions tout à fait adaptées aux collectivités rurales (moins de 2000 EH) et aux zones d'habitat dispersé.

- Les techniques intensives visent à la maîtrise des mécanismes épuratoires : elles les isolent et les modélisent, de manière à permettre un contrôle des opérations. Les techniques intensives classiques, comme les boues activées, les disques biologiques et les lits bactériens, exploitent les propriétés de bactéries aérobies, soit libres dans des bassins munis d'aérateurs, soit fixées sur des supports. Ces techniques sont particulièrement utilisées dans le traitement des effluents des agglomérations de plus de 2000 EH. Elles se combinent à des procédés physico-chimiques qui utilisent notamment des techniques de décantation, filtration, flottation, coagulation et floculation (8).

I.5. Les techniques intensives

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel (9). Trois grands types de procédés sont utilisés :

- Les lits bactériens.
- Les boues activées.
- Disques biologiques cédés.

I.5.1. Lit bactérien [6]

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (schéma ci-dessous).

Une aération est pratiquée soit par un tirage naturel soit par une ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux (9).



Figure 6 : Exemple d'une station à lit bactérien (10)

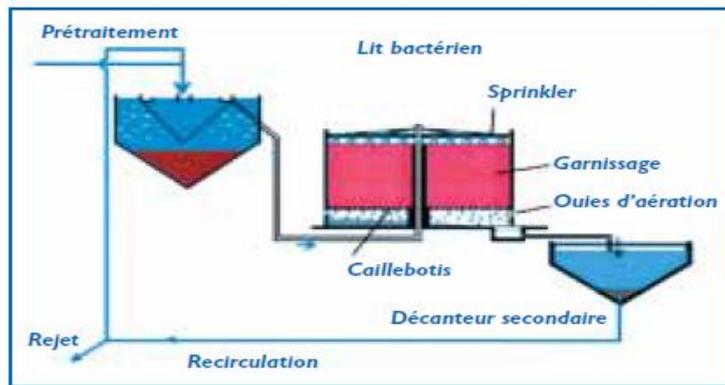


Figure 7 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

a- Critères de dimensionnement (11)

Suivant la charge volumique appliquée, on distingue les lits à faible charge et les lits à forte charge, dont les caractéristiques de fonctionnement pour les eaux résiduaires urbaines sont :

Variation des paramètres du lit bactérien selon les charges appliquées

Tableau 1 : Variation des paramètres du lit bactérien selon les charges appliquées

Type de charges	Charge organique en kg DBO ₅ /m ³ .j	Charge hydraulique en m ³ /m ² .h	Hauteur (m)	Type de remplissage	Rendement DBO ₅ (%)
Faible	0,08 - 0,15	1 - 5	1,8 - 2,4	Traditionnel	90
Forte	0,7 - 0,8	20 - 25	3 - 12	Plastique	80 à 90

- Différentes configuration de recyclage

Différentes méthodes sont possibles. Dans tous les cas, on évitera le colmatage du lit d'une part, et d'autre part on s'assurera des contraintes dues aux conditions de rejet. Les différents schémas possibles sont présentés sur la figure 8.

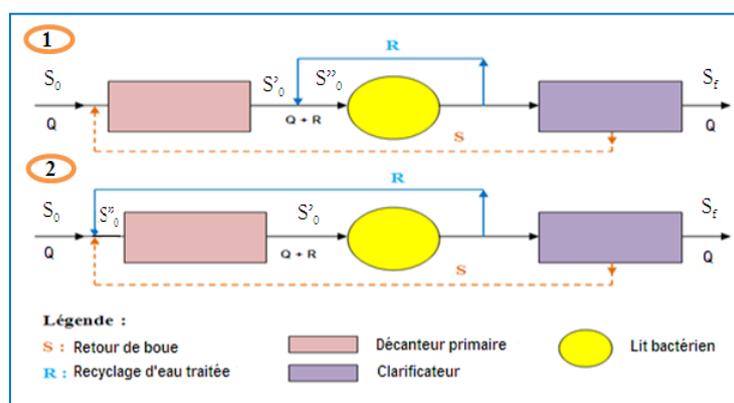


Figure 8 : Schéma de fonctionnement d'un lit bactérien

Dans certains cas, pour améliorer la qualité de l'effluent, on utilise deux étages, selon la performance recherchée.

- Le taux de recirculation

1er cas : $R = (S'_0 - S''_0) / (S''_0 - S_f)$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : } R = (S_0 - S_0'') / (S_0'' - S_f)$$

Avec :

$$S_0'' = \frac{S_f}{(1 - \eta_D)}$$

Dans lesquelles :

S_0 : DBO5 de l'effluent d'entrée en mg/l ;

S_0' : DBO5 du mélange en mg/l ;

S_0'' : DBO5 de l'effluent décanté en mg/l ;

S_f : DBO5 de l'effluent traité en mg/l (30 mg/l) ;

η : Rendement épuratoire du lit bactérien en %.

η_D : Rendement d'élimination de la DBO par le décanteur primaire en %.

b- Dimensions

Pour utiliser l'ensemble du support (garnissage), il est indispensable d'arroser uniformément la totalité de la surface du lit. Cette répartition est assurée par un tourniquet (le sprinkler), ce qui oblige une forme circulaire de l'ouvrage.

Le sprinkler doit permettre une répartition uniforme de l'effluent à traiter et éviter les cheminements préférentiels. Les dimensions du lit bactérien sont calculées à l'aide des formules suivantes :

$$\begin{aligned} - \text{ Surface totale requise des lits} & : S_r = \frac{Q_j \cdot (1+R)}{C_H} \Rightarrow S_u = \frac{S_r}{Nb} \quad \text{et} \quad D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot S_u}{\pi}} \\ - \text{ Volume total rempli des lits} & : V_{tr} = \frac{[Q_j \cdot (1+R)] \cdot S_0}{C_V \cdot 1000} \Rightarrow V_u = \frac{V_{tr}}{Nb} \quad \text{et} \quad H = \frac{V_{tr}}{S_u} \end{aligned}$$

Dans les quelles :

Q_j : Débit moyen journalier temps sec (m3/j) ;

C_V : Charge volumique en kg DBO5/m3.j ;

C_H : Charge hydraulique en m3/m2.h ;

H : Hauteur du lit bactérien (m) ;

Nb : Nombre de lits choisi ;

S_0 : Concentration en DBO5 à l'entrée du lit (mg/l) ;

H : Hauteur de remplissage choisie (m) ;

D_r : Diamètre requis du lit (allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres).

c- Calcul du décanteur secondaire (clarificateur)

Le clarificateur est dimensionné pour permettre une décantation des boues suffisante tout en assurant un temps de séjour de cette boue ne dépassant pas les 2h. Il est dimensionné par :

$$\begin{aligned} - \text{ Surface totale du décanteur} & : S_T = Q_d / \tau \Rightarrow S_u = S_T / Nb \quad \text{et} \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_u}{\pi}} \\ - \text{ Volume total du décanteur} & : V_T = Q_d \cdot t_r \Rightarrow V_u = V_T / Nb \\ - \text{ Hauteur du décanteur} & : H = V_u / S_u \end{aligned}$$

Où :

- τ : Taux de débordement, charge hydraulique ou vitesse de Hazen ($= 1,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) ;
 t_r : Temps de rétention, il est compris entre 1,5 et 3 h ;
 S_u : Surface unitaire par bassin en m^2 ;
Nb: Nombre de bassin choisi ;
 Q_d : Débit de dimensionnement du décanteur, d'où : $Q_d = Q_p \cdot (1 + R)$;
D : Diamètre d'un décanteur en m (il peut atteindre les 90 m).

I.5.2. Boues activées (11)

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'autoépuration que l'on rencontre dans les milieux naturels. Il consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les phases "eaux épurées" et "boues épuratrices" sont séparées (12).

Une installation de ce type comprend les étapes suivantes :

- Les traitements préliminaires et, éventuellement, primaire.
- Le bassin d'activation (ou bassin d'aération).
- Le décanteur secondaire avec reprise d'une partie des boues.
- L'évacuation des eaux traitées.
- Les digesteurs des boues en excès provenant des décanteurs.

Une boue activée aération prolongée permet d'éliminer 95 % de la DBO5 (9).



Figure 9 : Exemple d'une station par boues activées (13)

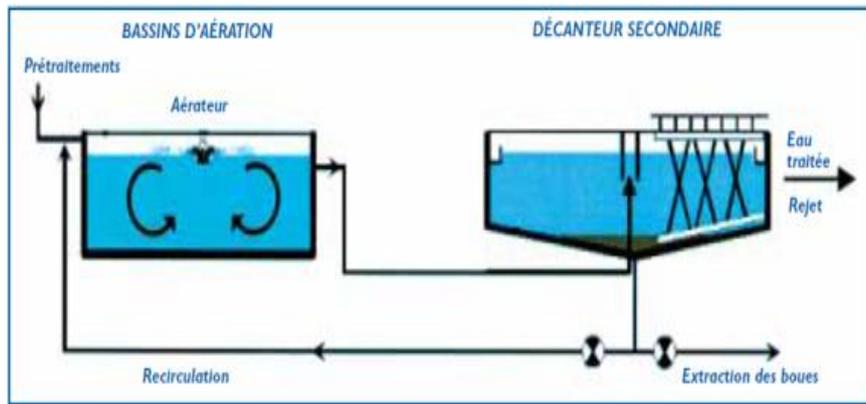


Figure 10 : Synoptique d'une boue activée - aération prolongée

a- Critères de dimensionnement

La classification des bassins à boues activées repose, essentiellement, sur l'importance de la charge massique qui est appliquée au système. Les différentes configurations qu'on peut rencontrer sont décrites dans la figure 11 ci-dessous :

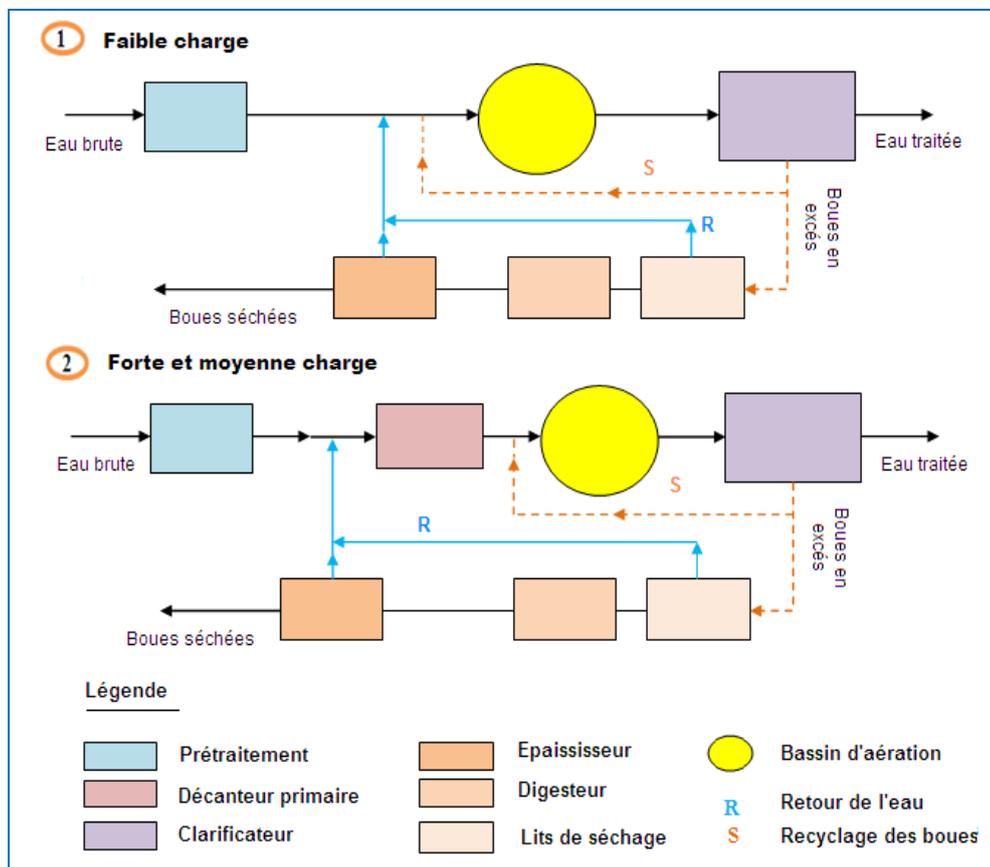


Figure 11 : Schéma de fonctionnement de boue activé

Les différentes configurations qu'on peut atteindre en utilisant une recirculation des boues, sont montrées sur la figure. Les charges appliquées, conduisant à cette classification. En fait, La matière cellulaire difficile à connaître dans la boue est exprimée en MVS est désignée par le paramètre : X_t .

On définit les caractéristiques d'un réacteur par deux facteurs :

- **La charge volumique**

$$Cv = \frac{L_0 [Kg/J]}{V [m^3]}$$

L_0 : poids de la matière organique ;

V : volume de réacteur.

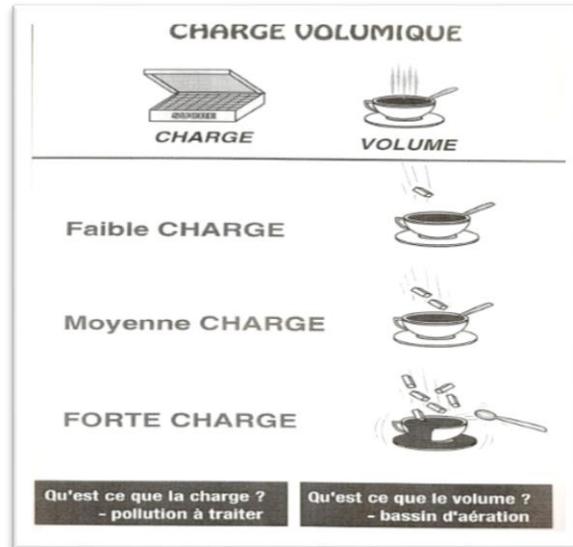


Figure 12 : Charge volumique

- **La charge massique**

$$Cm = \frac{L_0}{X_a V} = \frac{L_0 [Kg \text{ de } DBO/J]}{X_t [Kg \text{ de } MVS]}$$

X_t ou $X_a V$: la quantité des boues activées présentes.

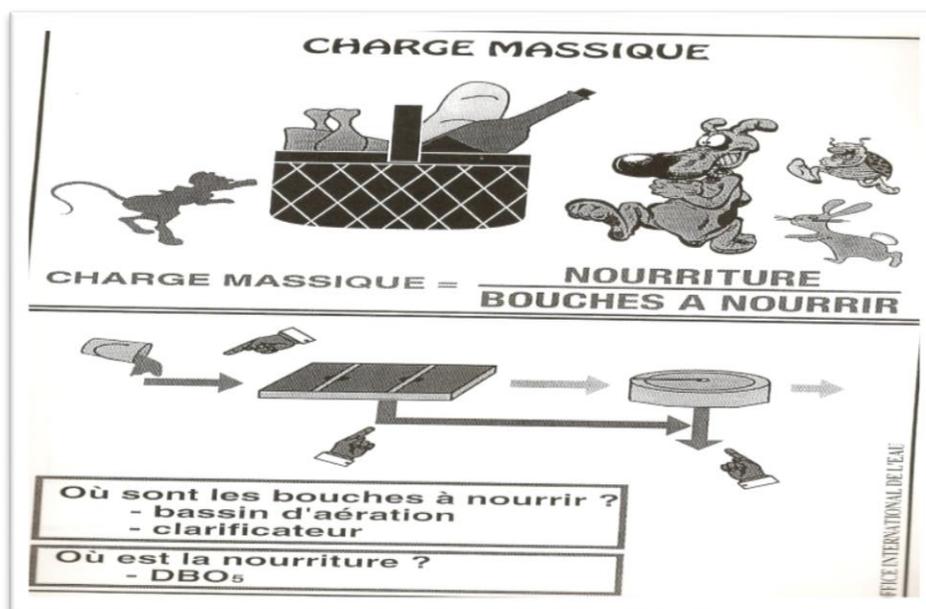


Figure 13 : Charge massique

Les stations de traitement des eaux usées par boues activées peuvent être classées en trois groupes selon la charge à traiter : forte charge, moyenne charge, et faible charge.

Dans le tableau suivant on donne la variation des paramètres des boues activées selon le type de charge :

Tableau 2 : Variation des paramètres du lit bactérien selon les charges appliquées

Type de charges	Charge organique en kg DBO ₅ /m ³ .j	Charge hydraulique en m ³ /m ² .h	Hauteur (m)	Type de remplissage	Rendement DBO ₅ (%)
Faible	0,08 - 0,15	1 - 5	1,8 - 2,4	Traditionnel	90
Forte	0,7 - 0,8	20 - 25	3 - 12	Plastique	80 à 90

b- Recirculation des boues

La recirculation permet de maintenir une concentration relativement constante dans le bassin d'aération, une optimisation de l'activité de la biomasse et d'éviter un départ de boue ainsi qu'un temps de séjour trop long dans le clarificateur. En effet, un séjour trop long de la boue dans le clarificateur risque de mener à de l'anaérobiose (absence stricte d'O₂). Les différents calculs effectués concernant la recirculation des boues sont :

$$\text{- Masse journalière de boue : } M = (S_0 - S_f) \cdot Q_j / C_m \Rightarrow [LM] = M/V$$

Avec :

C_m : Charge massique en Kg DBO₅/Kg MES. j ;

S_0 : DBO₅ à l'entrée du bassin d'aération en mg/l, $S_0 = S_{0DP} \cdot (1 - 0,30)$ et en cas de fortes et moyennes charges ;

S_f : DBO₅ à la sortie du bassin d'aération en mg/l, avec : $S_f = S_0 \cdot (1 - R_e)$

S_{0DP} : Concentration en DBO₅ à l'entrée du décanteur primaire en mg/l ;

R_e : Rendement épuratoire en % ;

$[LM]$: Concentration en boues activées dans le bassin.

$$\text{- Taux de recyclage (varie entre 15 et 100 %) : } r = \frac{100 \cdot [LM]}{X_r - [LM]} \quad \text{avec : } X_r = \frac{1200}{I_m}$$

Avec :

X_r : Concentration de boues produites (en excès) ;

I_m : Indice de Mohlman, représente le volume occupé par un gramme de boues décantées pendant une demi-heure ($100 < I_m < 150$, pour des boues de bonne décantabilité $I_m=120$).

c- Dimensions

Le dimensionnement est principalement basé sur des bilans de matière qui tiennent compte de l'influent, de l'effluent, des boues extraites et de la cinétique biologique dans le réacteur.

Pendant ce dimensionnement on considère les bassins comme une boîte noire, ainsi les dimensions obtenues seront divisées sur le nombre de bassins désirés en supposant qu'ils ont les mêmes dimensions, alors, les calculs dérouleront comme suit :

- Volume du bassin : $V = L_e / C_v$ Avec : $L_e = L_0 - L_f = (S_0 - S_f) \cdot Q_j / 1000$
- Aire du bassin : $S = V / H \Rightarrow D = \sqrt{4 \cdot S / \pi}$

Dans lesquelles :

- L_e : Charge organique éliminée par le réacteur en Kg/j ;
- L_0 : Charge polluante à l'entrée du bassin (= charge polluante à la sortie du DP) ;
- L_f : Charge polluante à la sortie du bassin en Kg/j ;
- C_v : Charge volumique en Kg DBO5/m3. J ;
- H : Hauteur des bassins, elle est comprise entre 3 et 5 m ;
- D : Diamètre du bassin d'aération en m.

d- Besoin en oxygène

Ce besoin en oxygène est en fait la somme de l'oxygène nécessaire à la dégradation de la pollution carbonée, assimilée par les bactéries lors de la phase d'anaérobie (besoin métabolique) et l'oxygène nécessaire à la respiration propre des bactéries (respiration endogène). Il est calculé, en Kg O₂/j, par la formule d'Engées suivante :

$$q_{O_2} = a' \cdot L_e + b' \cdot X_{Va} \cdot V$$

Où :

$$X_{Va} = \frac{X_{V0} + a_m \cdot (S_0 - S_f)}{1 + (\alpha \cdot t_s)} \text{ et } X_{V0} = X_{V0D} \cdot (1 - 0,6)$$

$$a' = 0,73 - 0,29 \cdot C_m + 0,07 \cdot C_m^{0,5}$$

$$b' = 0,02 - 0,32 \cdot C_m + 0,23 \cdot C_m^{1,5} + 0,22 \cdot C_m^{0,5}$$

Dans lesquelles :

- X_{Va} : Teneur en biomasse MVS à l'équilibre (mg/l) ;
- a' : Coefficient pour l'élimination de la pollution carbonée (kg O₂/kg DBO₅) ;
- b' : Coefficient de respiration endogène (kg O₂/kg MS) ;
- t_s : Temps de séjour, avec : $t_s = V / Q_p$ en heures ;
- Q_p : Débit de pointe en m³/h ;
- X_{V0} : Concentration des MVS de l'eau brute alimentant le bassin en mg/l ;
- X_{V0D} : Concentration des MVS de l'eau brute alimentant décanteur primaire en mg/l ;
- a_m : Rendement de métabolisation ;
- α : Constante de décès ou bien de respiration endogène.

Besoins max horaires en Kg O₂/h : $q_{O_2}(h) = \frac{q_{O_2}}{16}$

Les pertes d'oxygène au niveau d'aérateur nous obligent de calculer les besoins en oxygène en introduisant un coefficient de correction égale à 80 %, donc, les besoins réels (en Kg O₂/j) vont être :

$$q_{O_2}(\text{réel}) = q_{O_2} / 0,80$$

e- Choix du système d'aération

Le système d'aération doit satisfaire d'une part, le besoin d'oxydation de la pollution organique et de la masse bactérienne lors de la respiration endogène. Et d'autre part le brassage de la suspension de boues activées et donc l'homogénéité de l'ensemble. Pour se faire deux dispositifs sont conçus, à savoir les aérateurs de surface et les systèmes d'injection d'air sur-pressé en profondeur. Le choix est fonction de plusieurs caractéristiques, à savoir :

- Capacité d'O₂ demandée en Kg d'O₂/h par aérateur : $C_d = q_{O_2\text{réel}} / Nb_B \cdot Nb_a$
- Capacité d'O₂ fournie en Kg d'O₂/h : D'après le tableau ci-dessous, la capacité d'O₂ qui va être fournie Cf, c'est la valeur la plus proche à celle de Cd calculée.
- Puissance installée : valeur correspondante à la valeur de Cf.

Tableau 3 : Rendement de métabolisation et coefficient de respiration endogène

Paramètre	Forte charge	Moyenne charge	Faible charge	Aération prolongée
a_m	0.5	0.53	0.55	0.60
α	0.06	0.055	0.05	0.07

Tableau 4 : Caractéristiques des aérateurs

Puissance installée en Kw	Capacité théorique (Cf) en Kg d'O ₂ /h	Poids moyen en Kg	Vitesse de rotation en tr/min
1,5	1,8	140	142
2,2	2,6	160	910
2,9	3,5	175	945
4	4,8	180	945
5,5	6,6	220	950
7,5	9,6	250	950
11	13,2	330	960
15	18	390	960
18,5	22,2	450	975
22	26,4	480	975
30	36	900	975
37	44,4	1000	975
45	54	1050	980
55	66	1100	980

I.6. Les techniques extensives

I.6.1. Le lagunage (2)

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène.

On distingue deux types de lagunage :

a- Le lagunage aéré

Dans ce cas l'oxygénation nécessaire est produite par des aérateurs mécaniques à turbines ou par des appareils diffuseurs d'O₂.

La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel et le temps de séjour est de l'ordre d'une semaine et la profondeur de 1 à 4 m. Le rendement peut être 80 % et il n'y a pas de recyclage de boues.

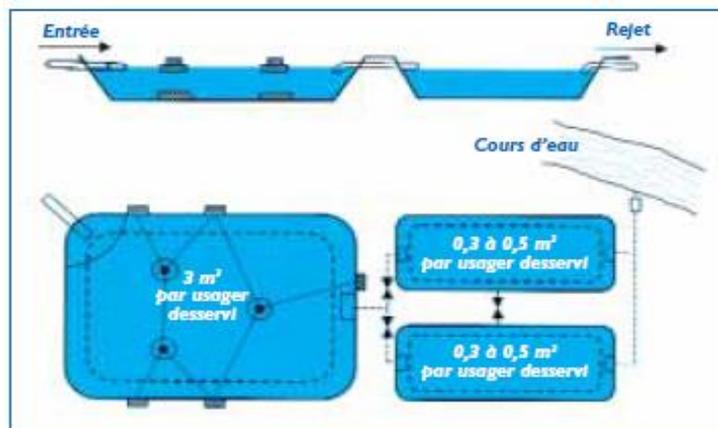


Figure 14 : Schéma de principe d'un lagunage aéré (12)

b- Le lagunage naturel

Dans ce cas l'oxygène provient de l'atmosphère. L'épuration est assurée à long temps de séjour dans plusieurs bassins disposés en série. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et le maintien des bactéries aérobies sont responsables de la dégradation des M.O. Le gaz carbonique formé par la bactérie et les sels minéraux contenus dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier (4).



Figure 15 : Lagunage naturel

I.6.2. Les filtres plantés de roseaux

Le principe d'épuration par les filtres plantés de roseaux est basé sur le principe du développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol artificiel. Il existe de nombreuses

combinaisons possibles mais la filière principale est la filière classique qui comporte deux étages verticaux en série.

Le premier étage est alimenté avec des eaux brutes simplement dégrillées. En effet, les systèmes de traitement primaire ne sont pas nécessaires. Le colmatage des filtres par les dépôts est évité grâce à l'action mécanique des tiges des roseaux sous l'action du vent. Les lits du deuxième étage apportent un complément de traitement dont le but est d'assurer une dégradation complète de la pollution azotée.

Ce type de traitement a, en général, un coût plus élevé que les stations à lagunage. L'entretien consiste à couper les roseaux annuellement. Il n'y a pas d'évacuation de boues liquides, les boues déshydratées (assimilables à du compost) sont évacuées tous les dix ans environ. Cette filière est actuellement la plus utilisée en milieu rural du fait de sa facilité d'entretien et de son faible coût d'exploitation (3).



Figure 16 : Exemple de filtre planté de roseaux (14)

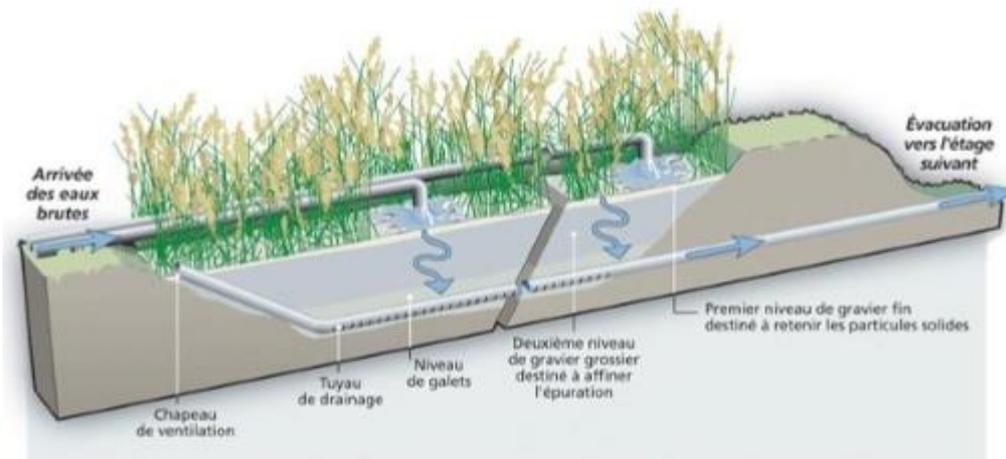


Figure 17 : Principe de fonctionnement d'une station à filtre plantée de roseaux (14)

I.7. Analyse comparative des différents systèmes d'épuration des eaux usées (15)

Les études sur les différents systèmes d'épuration des eaux usées montrent que chacun Possède des avantages et des inconvénients. Le tableau 5 en fait un récapitulatif.

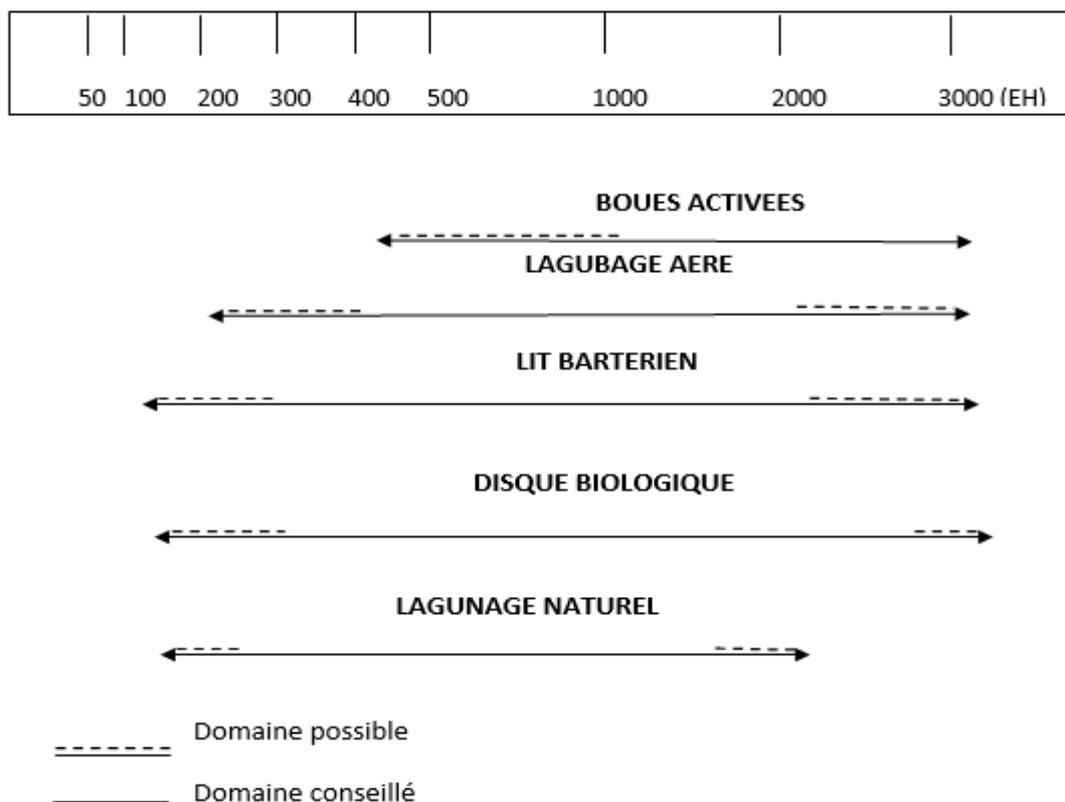


Figure 18 : Domaine d’application des différents systèmes de traitement des eaux usées

Tableau 5 : Avantages et inconvénients des filières intensives et extensives

Systèmes	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> - Faible consommation d'énergie. - Fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées. - Bonne décantabilité des boues. - Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées. - Généralement adaptés pour les petites collectivités. - résistance au froid (les disques sont toujours Protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> - Performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela Tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes. - Coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée). - Nécessité de prétraitements efficaces. - Sensibilité au colmatage. - ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

Boues activées	<ul style="list-style-type: none"> - Pour toute taille de collectivité (sauf les très petites). - Bonne qualité des rejets. - Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement assez important. - Consommation énergétique importante. - Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière. - Sensibilité aux surcharges hydrauliques. - Nécessité d'avoir un stock de pièces de rechange.
Lagune aérée	<ul style="list-style-type: none"> - Procédé simple. - Très peu sensible aux variations des charges polluantes. - Requiert un personnel moyennement qualifié. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir plusieurs bassins de lagune et d'entretenir quelques matériels électromécaniques. - Risque élevé de relargage des algues. - Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres.
Lagune naturel	<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristique (Pas d'équipements électromécaniques). - Bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique dilution) et supporte les fortes variations de charges. - Coûts d'investissement limités (en absence de forte contrainte d'étanchéifiassions) et faibles coûts d'exploitation. - Non exigeance d'un personnel qualifié. - Possibilité élevée d'épuration quaternaire. - raccordement électrique inutile. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emprise au sol importante. - Contraintes de nature de sol et d'étanchéité. - Variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée. - Nuisances en cas de défaut de conception et/ou d'exploitation ; (rongeurs, odeurs, moustiques). - Pas de réglage possible en exploitation. - Sensibilité aux effluents septiques et concentrés. - Niveau d'épuration aléatoire car procédé non encore suffisamment bien expérimenté sous climat africain.

II. Méthodes d'aide à la décision multicritère

II.1. Définition des concepts

II.1.1 Décision

Une décision est le fait d'un individu isolé (le "décideur") exerçant librement un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné dans le temps. Celle-ci est aussi souvent la résultante d'interactions entre de multiples acteurs au cours d'un processus de décision (16).

II.1.2 L'aide à la décision

Bernard Roy définit l'aide à la décision comme suit : « c'est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités, mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part » (17).

II.1.3 L'aide multicritère à la décision (18)

Lorsque l'activité de l'aide à la décision se base sur une approche multicritère (i.e. plusieurs critères, souvent conflictuels, sont pris en compte), on parle de l'aide multicritère à la décision (19).

Selon Vincke (20) : « *L'aide multicritère à la décision vise, comme son nom l'indique, à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution du problème de décision ou plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte* ».

II.1.4 Les acteurs d'une décision

Selon Roy (17): « *un individu ou un groupe d'individu est acteur d'un processus de décision si par son système de valeur, que ce soit au premier degré du fait des intentions de cet individu ou groupe d'individus ou second degré par la manière dont il fait intervenir ceux d'autres individus, il influence directement ou indirectement la décision* ».

Selon le suivant de cette définition, l'activité d'aide à la décision se fait par deux acteurs, un décideur et un homme d'étude :

- Le décideur (decision maker en anglais) : est un intervenant principal à qui s'adresse l'aide à la décision et occupant une place centrale dans le processus de décision. La notion de décideur "désigne en dernier ressort l'entité qui apprécie le "possible" et les finalités, exprime les préférences et est sensé les faire prévaloir dans l'évolution du processus".
- L'homme d'étude (analyst en anglais): il guide le décideur dans les problèmes complexes, son rôle consiste entre autres à expliciter le modèle, à l'exploiter en vue d'obtenir des éléments de réponses, à éclairer le décideur sur les conséquences de tel ou tel comportement en lui rendant intelligibles, éventuellement en prescrivant (préconisant, conseillant) une ou une série d'actions ou encore une méthodologie.

II.1.5 Action potentielle (alternative) (21)

C'est un terme générique utilisé surtout dans la théorie pour désigner ce qui constitue l'objet de la décision ou ce sur quoi porte l'aide à la décision. En pratique, ce terme peut être remplacé, selon les cas, par scénario, plan, programme, projet, proposition, variante, dossier, opération, investissement, solution, ...

Le concept d'action n'incorpore, a priori, aucune idée de faisabilité, autrement dit de possibilité de mise à exécution de ce que recouvre l'action. Une action est qualifiée de potentielle lorsqu'elle est regardée comme pouvant être mise à exécution ou simplement digne d'intérêt en vue de l'aide à la décision. Une action potentielle peut donc être fictive.

II.1.6 Problématique d'aide à la décision

La problématique peut être perçue comme étant une orientation de l'investigation qu'on adopte pour un problème de décision donné. Elle exprime les termes dans lesquels le décideur ou l'homme d'étude pose le problème et traduit le type de la prescription qu'il souhaite obtenir. Roy (17) distingue quatre problématiques de base que tout problème de décision multicritère doit se ramener nécessairement à l'une d'entre elles.

a. Problématique du choix $P.\alpha$

La problématique de choix, dite aussi problématique alpha, consiste à chercher un sous-ensemble de A bien sûr aussi restreint que possible, contenant les meilleures actions ou à défaut les actions les plus satisfaisantes. Donc, cette problématique donne comme résultat un choix ou une procédure de sélection (22).

Exemple : choix d'un site pour une localisation industrielle où chaque site représente une action.

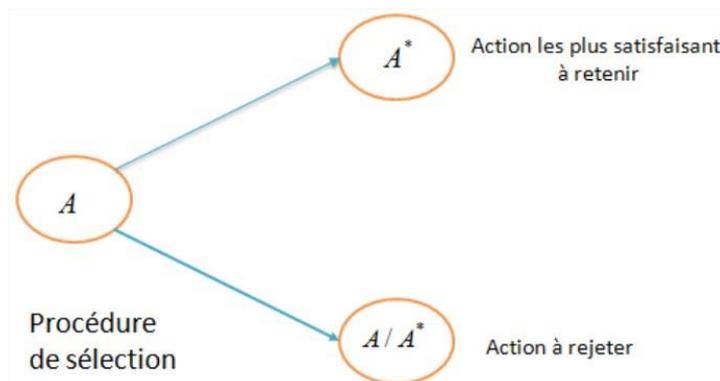
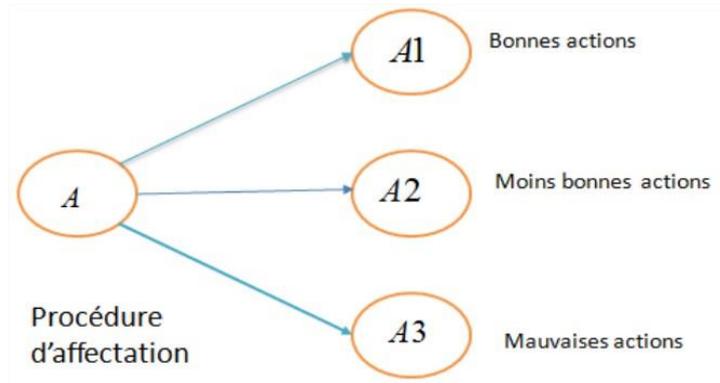


Figure 19 : Problématique du choix $P.\alpha$

b. Problématique du tri $P.\beta$

La problématique de tri, dite aussi problématique bêta, est celle qui cherche à affecter chacune des actions potentielles à une catégorie. Celles-ci sont définies à partir de la valeur intrinsèque des actions qu'elles sont destinées à recevoir. Cette formulation est adéquate lorsque le problème de décision consiste à examiner chaque action indépendamment des autres (en tenant compte que des caractéristiques intrinsèques de chaque action) dans le but de proposer une recommandation parmi un ensemble des recommandations spécifiées en avance. Chaque recommandation peut être associée avec une catégorie (18).

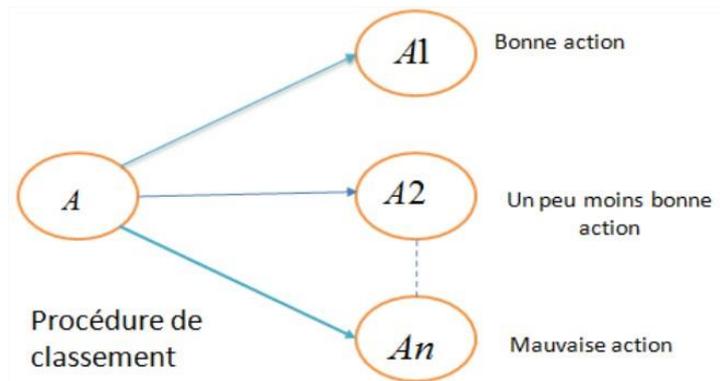
Exemple : affecter différentes parcelles d'un territoire (donc chaque parcelle est une action) à un type d'utilisation particulier parmi différentes utilisations possibles.

Figure 20 : Problématique du tri $P.\beta$ (22)

c. Problématique du rangement $P.\gamma$

La problématique de rangement, dite aussi problématique gamma, consiste à ranger les actions en allant de la meilleure à la moins bonne pour choisir ensuite K actions parmi les meilleures. Cette problématique est intéressante lorsque les actions sont à différencier selon leur intérêt relatif. L'idéal est d'obtenir un ordre complet (18).

Exemple : ranger les différents sites historiques en vue d'une restauration échelonnée sur plusieurs années qui commence par le site le plus urgent.

Figure 21 : Problématique du rangement $P.\gamma$ (22)

d. Problématique de la description $P.\delta$ (18)

Elle consiste simplement à décrire les actions et leurs conséquences et non pas à les comparer comme c'est le cas avec les trois autres problématiques précédentes. Ici, il n'existe pas une prescription et la procédure d'investigation est cognitive.

Exemple : identifier et décrire, dans le seul but d'apprendre et se préparer à des éventuels accidents, les différentes actions possibles pour lutter contre la pollution.

II.1.7 Critère, famille de critères, interaction entre critères

Un critère est un outil pour la comparaison et l'évaluation entre les actions potentielles selon un point de vues bien défini (23).

- L'importance donnée par le décideur à chacun des critères n'est pas la même. Les méthodes d'aide à la décision traduisent cette importance relative par des nombres, souvent appelées "poids"
- L'évaluation d'une action a selon le critère j est notée par $g_j(a)$ (performance ou score de a sur le critère j).
- La comparaison de deux actions a, b selon un point de vue (ou un axe de signification) modélisé par le critère j , résulte de la comparaison de deux valeurs $g_j(a)$ et $g_j(b)$.

a. Famille de critère (21)

Lorsqu'un problème considère plusieurs critères, cet ensemble de critères est nommé « famille F », et l'évaluation d'une action a selon la famille F est noté par :

$$g(a) = \{ g_1(a), \dots, g_n(a) \}$$

Pour qu'une famille de critères F constitue une base solide sur laquelle modéliser les préférences, F doit vérifier 3 axiomes (17):

- **Axiome d'exhaustivité** : Une famille F de n critères sera dite exhaustive si elle recouvre tous les aspects concourants à l'évaluation des actions. Autrement dit, si deux actions a et b sont indifférentes au sens des n critères, il ne doit pas être possible de faire apparaître des arguments permettant de préférer a à b ou b à a .
- **Axiome de cohésion** : Le rôle attribué à chaque critère localement, au niveau des préférences restreintes à son niveau de signification, doit être cohérent avec le rôle dévolu globalement à la famille F au niveau de préférences globales.
- **Axiome de non-redondance** : Cette condition vise à éliminer les critères superflus. Pour ce faire, il faudrait vérifier que F ne comporte aucun critère redondant en ce sens que le retrait de n'importe quel critère de F définit une famille qui met en défaut l'une au moins des deux exigences précédentes.

b. Interaction entre critères (21)

- Corrélation

Soient x et y deux critères mesurés sur m actions. Nous appelons coefficient de corrélation de x et y la quantité :

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{S_x S_y} \text{ telles que } C_{xy} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \text{ et } S_x = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}$$

Avec \bar{x} et \bar{y} désignent les moyennes empiriques de x et y .

Le coefficient de corrélation est un nombre réel, compris entre -1 et 1. Dans le cas où des valeurs élevées sur la variable x entraînent souvent des valeurs élevées sur y , la corrélation entre ces deux variables r_{xy} est positive. Dans le cas où des valeurs élevées sur la variable x entraînent souvent des valeurs bas sur y , la corrélation est négative. Un coefficient de corrélation nul ou proche de 0 signifie qu'il n'y a pas de relation linéaire entre x et y (24).

- Interchangeabilité

Un autre type de dépendance est celui de l'interchangeabilité entre les critères. Considérons encore deux critères $x, y \in N$, et supposons que le décideur demande que la satisfaction d'un seul critère produise presque le même effet que la satisfaction des deux.

Exemple : il est important que les étudiants soient bons dans les matières scientifiques ou littéraires. S'ils sont bons dans les deux directions, c'est à peine plus satisfaisant.

Bien sûr, un tel comportement peut être exprimé par une moyenne arithmétique pondérée. Ici, l'importance de la paire $\{x, y\}$ est proche de l'importance des critères x et y , même en présence des autres critères. Alternativement, le décideur peut demander que la satisfaction d'un seul critère produise très peu d'effet par rapport à la satisfaction des deux. Nous parlons alors de la complémentarité.

Notons que, contrairement aux phénomènes de corrélation, l'interchangeabilité et la complémentarité entre critères ne peuvent être détectées en observant la table des scores. Elles représentent simplement l'opinion du décideur sur l'importance relative des critères, indépendamment des scores partiels obtenus par les actions sur ces critères.

- Dépendance préférentielle

Soit le problème de choix entre deux appartements (représentants l'ensemble des actions) évaluées sur trois critères : loyer, surface et temps de transport au lieu de travail (représentants la famille de critères). Le décideur affirme : « si je dois choisir entre un appartement de 40 m², d'un loyer de 500 \$ à 10 minutes de mon travail et un autre de 80 m², d'un loyer de 750\$ de la même distance de mon travail, je choisirai le premier. En revanche s'ils étaient situés à une heure de mon travail, je choisirais le second ». Dans ce cas les préférences sur les critères loyer et surface dépendent du critère distance au lieu de travail.

Un cas de dépendance préférentielle apparaît lorsque la comparaison de a et b dépend des critères sur lesquels $g_j(a) \neq g_j(b)$ mais aussi des critères où $g_j(a) = g_j(b)$ (25).

II.2. Comparaison entre actions

II.2.1 Dominance

Soient deux actions a et b de A , et une famille de critères F . L'action a domine l'action b par rapport à F , noté $a \Delta b$ si et seulement si :

$$g_j(a) \geq g_j(b); j \in F,$$

avec au moins une inégalité est stricte.

La relation de dominance est en général une relation très pauvre (peu de couples d'actions la vérifient), voire vide (aucun couple ne la vérifie), pour être utilisée dans un problème multicritère (23).

II.2.2 Efficacité

On dit qu'une action a de A est efficace s'il n'existe pas d'action $b \in A$ telle que $b \Delta a$ (20).

II.2.3 Procédure d'agrégation

C'est une procédure qui permet de comparer deux actions quelconques d'un ensemble A d'actions en prenant en compte (de façon globale) les performances de chacune d'elles selon tous les critères d'une famille donnée (21).

L'aide à la décision vise très souvent à élaborer des recommandations sur lesquelles le décideur s'appuiera pour définir un plan d'action. Dans un contexte multicritère, l'élaboration de recommandation requiert une procédure d'agrégation multicritère (PAMC) (16) permettant de synthétiser les préférences sur chaque critère et contribuer à la définition d'un résultat. Cette fonction permet d'agréger les jugements que chaque critère permet de porter sur chaque action. Elle suppose que le tableau de performance ainsi que les différents paramètres préférentiels ont été déjà définis. Elle suppose également qu'une PAMC a été déjà choisie (18).

II.3. Formulation et résolution d'un problème multicritère (26)

Le processus d'aide multicritère à la décision peut généralement être vu comme un processus récursif (itératif), non linéaire, composé de 4 étapes principales (27):

- La définition de problématique et la structuration de la situation (problème) de décision.
- L'articulation et la modélisation des préférences au niveau de chaque point de vue (modélisation des préférences locales).
- L'agrégation de ces préférences locales en vue d'établir un ou plusieurs systèmes relationnels de préférences globaux.
- La recommandation après avoir exploité l'agrégation.

II.3.1 Définition de la problématique et la structuration de la situation

Un problème bien structuré est un problème semi-résolu. La définition et la formulation d'un problème de prise de décision commence par sa structuration. « La structuration d'un problème est un processus visant à raisonner une issue, identifier les objectifs, buts, acteurs, actions, incertitudes, et ainsi de suite... ». Cette étape consiste à (28):

- Déterminer le type de problématique à résoudre : problématique de choix, problématique de tri, problématique de rangement ou problématique de description.
- Déterminer l'ensemble des actions à étudier.
- Recenser les critères selon lesquels les actions seront évaluées.
- Déterminer les évaluations de chacune des actions sur chacun des critères.

II.3.2 L'articulation et la modélisation des préférences

Cette étape consiste à :

- Définir les types de critères : vrai critère, pseudo critère, quasi critère, critère gaussien, etc.
- Définir l'ordre d'importance des critères ainsi que leur poids si besoin est.
- Définir, et ce selon la méthode d'agrégation retenue, les fonctions d'utilité partielle, les fonctions de valeur, les comparaisons par paires d'actions.

II.3.3 Agrégation des préférences et exploitation des résultats

L'agrégation des préférences locales consiste à exploiter les évaluations partielles des actions sur les différents critères afin de générer une évaluation globale. L'exploitation consiste à exploiter les résultats obtenus à l'étape d'agrégation des préférences locales pour choisir, ranger ou trier les actions.

Selon Roy (17), dans certains contextes décisionnels, une modélisation élaborée des préférences du décideur est requise. Selon la manière d'agrégation des préférences du décideur, il est possible de distinguer différentes approches :

- L'approche du critère unique de synthèse évacuant l'incomparabilité

Ces approches d'inspiration américaine, appelées aussi « méthodes de de l'utilité multi attribut » ou bien « méthodes d'agrégation complète », sont exploitées dans le cas où le décideur est capable de juger toute paire d'actions (a , b) et cela selon un des cas suivant : soit a est préférée à b , soit b est préférée à a , soit le choix est indifférent entre a et b . Il n'y a donc pas d'incomparabilité entre deux actions. Ces approches consistent à agréger les différents points de vue en une fonction unique qu'il s'agit ensuite d'optimiser. Les travaux relatifs à cette famille étudient les conditions mathématiques d'agrégation, les formes particulières de la fonction et les méthodes de construction.

- L'approche du surclassement de synthèse

Ces approches d'inspiration française, appelées aussi « méthodes d'agrégation partielles », permettent l'incomparabilité entre actions. Certaines sont caractérisées par des structures de préférence forte, faible, d'indifférence, ou d'incomparabilité. Une relation de surclassement est une relation binaire S définie dans A telle que $a S b$ 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 (18).

- L'approche du jugement local interactif

Ces approches les plus récentes, appelées aussi « méthodes interactives » ou bien « méthodes d'agrégation locale », sont caractérisées par une interaction continue entre l'homme d'étude et le décideur tout au long du processus d'aide à la décision (29). Dans cette approche, il n'est pas question de chercher à expliciter une règle apportant une réponse synthétique exhaustive et définitive au problème de l'agrégation des performances. L'agrégation ne procède plus de l'explicitation d'une règle, même partielle ou provisoire, mais d'une séquence de jugements que formule le décideur ou d'autres acteurs (30).

II.4. Principales méthodes multicritère d'aide à la décision

II.4.1 Méthode d'agrégation complète : approche du critère unique de synthèse

- TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution

Proposée pour la première fois par Hwang et Yoon en 1981 (31). Elle se base sur la relation de dominance qui est représentée par les distances entre les poids et la solution idéale. Son principe

consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale et de s'éloigner le plus possible de la pire solution pour tous les critères (22).

- **SMART : Simple Multi-Attribute Rating technique**

Cette méthode, développée par Edwards en 1971 (32), consiste à utiliser la forme additive pour l'agrégation des évaluations sur les différents critères. Cette approche a été justifiée par le fait que dans certains cas (peu ou pas d'interactions entre les actions envisagées) on obtient d'aussi bonnes approximations avec la forme additive qu'avec d'autres formes non linéaires qui sont beaucoup plus complexes (26).

- **SAW : Simple Additive Weighting (22)**

La méthode SAW (pondération additive simple) est une des plus méthodes multicritères d'évaluation largement utilisée en pratique en raison de sa simplicité (33). Elle démontre clairement l'idée intégrant les valeurs et les poids des critères en une seule estimation de la valeur du critère, cependant un score est calculé pour chaque alternative en multipliant la valeur pesée donnée à l'alternative de cet attribut avec les poids d'importance relative assignés directement par les décideurs suivis en additionnant des produits pour tous les critères (34).

- **AHP : Analytic Hierarchy Process**

La méthode AHP, inventée et développée par Saaty en 1980 (35), consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème, et procéder ensuite à des comparaisons par paire des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions (22).

- **MAVT : Multiple Attribute Value Theory**

La méthode MAVT, développé par Keeney et Raifa en 1976 (36), repose sur l'idée fondamentale suivante : tout décideur essaie inconsciemment (ou implicitement) de maximiser une fonction $V = V [g_1, \dots, g_n]$ qui agrège tous les attributs. La particularité de cette méthode réside dans l'idée de construction d'une fonction de valeur partielle pour chaque attribut. La meilleure action sur un attribut aura une valeur partielle (par rapport à l'attribut étudié) égale à 1 et la pire des actions aura une valeur partielle égale 0 (26).

- **MAUT : Multiple Attribute Utility Theory**

Cette méthode, développée aussi par Keeney et Raifa en 1976 (36), repose sur la même idée que la méthode MAVT. En revanche, elle s'applique dans le cas où les évaluations des actions par rapport aux attributs sont imprégnées d'incertitude (aléatoire). A ce moment, on parle de fonction d'utilité et non plus de fonction de valeur. La méthode MAUT s'applique alors dans un contexte caractérisé par un ensemble d'actions explicite (fini), une articulation a priori des préférences, et un univers incertain (les évaluations des actions par rapport à chaque attribut sont incertaines). La méthode MAUT exige les mêmes étapes que la méthode MAVT (26).

- **UTA : Utility Theory Additive**

La méthode UTA, développé par Jacquet-Lagrange et Siskos en 1982 (37), se base sur l'idée suivante : nous supposons que le décideur connaît bien un sous ensemble d'actions A' . Nous

cherchons à estimer la fonction d'utilité (ayant une forme additive) en s'approchant le plus possible des jugements portés par le décideur sur le sous-ensemble A' (26).

II.4.2 Méthode d'agrégation partielle : approche de surclassement de synthèse

- PROMETHEE: Preference ranking organization method for enrichment evaluation

PROMETHEE est une famille de méthodes d'aide à la décision multicritère développée en Belgique. Depuis 1983, les méthodes PROMETHEE ont connu de nombreuses évolutions à l'initiative de leurs auteurs Jean-Pierre Brans et Bertrand Mareschal de l'Université Libre de Bruxelles et de la Vrije Universiteit Brussel. Elles se basent sur une extension de la notion de critère par l'introduction d'une fonction exprimant la préférence du décideur pour une action par rapport à une autre action (26).

- Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité

Cette méthode, inventée par Roy en 1968, relève de la problématique de choix ($P.\alpha$) (38). Elle vise à obtenir un sous-ensemble N d'actions tel que toute action qui n'est pas dans N elle est surclassé par au moins une action de N . N est appelée le noyau du graphe de surclassement : c'est le siège des actions non surclassées. Ce sous-ensemble (qu'on rendra aussi petit que possible) n'est pas donc l'ensemble des bonnes actions, mais c'est l'ensemble dans lequel se trouve certainement le meilleur compromis cherché.

- Electre II

Electre II a été mise au point en 1973. Cette version relève de la problématique de rangement $P.\gamma$ (la procédure d'investigation est une procédure de classement). Elle vise à ranger les actions de la meilleure à la moins bonne (22).

- ELECTRE III

Cette version, mise au point en 1978, relève de la problématique de rangement $P.\gamma$ (procédure de classement). Son but est de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes", la méthode s'appuie sur la définition d'une relation de surclassement S permettant de comparer deux actions a et b distincts (22).

II.4.3 Méthodes d'agrégation locale : approche du jugement local interactif

- PLM : Programmation linéaire multicritère

En programmation linéaire classique, les contraintes du problème délimiteront un domaine de cet espace et la fonction économique, à maximiser (ou minimiser), désignera, pour autant que le problème le permette, un point de l'espace comme l'optimum à atteindre. Cette fonction que l'on a rendue maximale, c'est en fait un critère au sens du paragraphe traitant de l'établissement de la liste des critères à prendre en considération. Pour passer à la PLM, il suffit donc de prendre plusieurs fonctions dites fonctions-critères plutôt que fonctions économiques. Cette multiplicité induit une impossibilité : désigner l'action idéale. En effet, chaque fonction va désigner son optimum qui ne sera en général pas celui des autres fonctions. Il faut dès lors trouver un compromis... Pour ce faire, on définit un espace à m dimensions, m étant le nombre de

fonctions-critères prises en considération. Chaque point de A correspond donc à un point de cet espace, définissant un nouvel ensemble V. Il est à remarquer que V remplace, dans le domaine de la continuité, le tableau des performances dans le domaine des valeurs discrètes. C'est par un "examen" de cet espace critère et de V que l'on va déduire quel est le meilleur compromis (39).

- **STEM : Step Method**

STEM est la première méthode interactive proposée par Benayoun et al. en 1971 (40), et qui est très utilisée en pratique. Cette méthode tente de minimiser, par rapport au point de mire, une "distance pondérée augmentée de Tchebycheff" (39).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les principaux modes de traitement des eaux usées et sur quelques méthodes multicritères d'aide à la décision (MCDM). Par la suite, dans le deuxième chapitre, nous présentons le système d'épuration des eaux usées du groupement urbain de la ville de Tlemcen (GUT).

Chapitre II

Etude du système
d'épuration existant

Introduction

La wilaya de Tlemcen se situe à l'Ouest d'Algérie. Elle est limitée géographiquement au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le Maroc, au Nord-Est par Ain-Temouchent, à l'Est par Sidi Bel-Abbès et au Sud par Naama. La wilaya de Tlemcen regroupe 1078806 habitants sur une superficie de 9061 km^2 . Les coordonnées de Tlemcen sont $X= 34,8941667$, $Y= 1,31861111$ et $H= 721$. Elle contient des stations urbaines et industrielles, parmi elles on trouve la station d'épuration des eaux usées d'Ain El Houtz.

Dans ce chapitre, Nous allons décrire la STEP d'Ain El Houtz du groupement urbain de Tlemcen (GUT) qui a été dimensionnée pour épurer les eaux usées d'origine domestique et pluviale du Nord-Est de Tlemcen par le procédé d'épuration boues activées.

I. Description de la STEP de la ville de Tlemcen

I.1. Situation géographique

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe à l'Ouest de la Daïra de Chetouane sur la route d'Ain El Houtz, conçue pour une population de 150 000 EH et d'une capacité de 30 000 m^2/j . Elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement mise en service le 05 Novembre 2005 gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'assainissement. Les coordonnées de la STEP sont $X= 34,93$, $Y=1.33$ et $H=715$ (2).

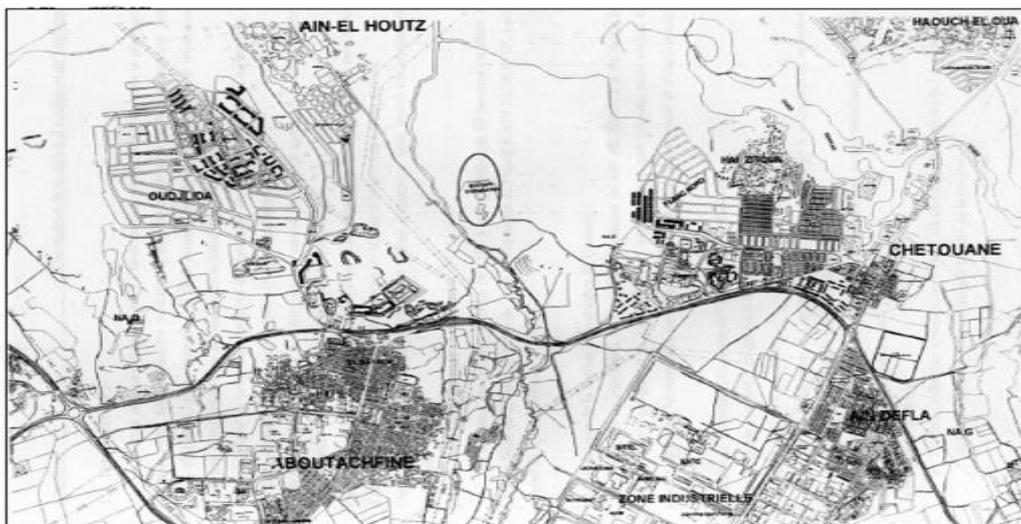


Figure 22 : Situation géographique de la STEP de «AIN EL HOUTZ» (41)

I.2. Population desservie par la station

La station d'épuration d'Ain El Houtz reçoit les trois sources d'eaux usées des habitants de Tlemcen ville, l'Ouest de Mansourah et l'Est de Chetouane. Ce groupe occupe environ 112.2 km^2 constituant le bassin intérieur de Tlemcen. Ce bassin est limité au Sud par la falaise de Lalla Setti, au Nord par la haute colline d'Ain El Houtz, à l'Est par Oum El Allou et à l'Ouest par les monticules de Beni Mester (42).

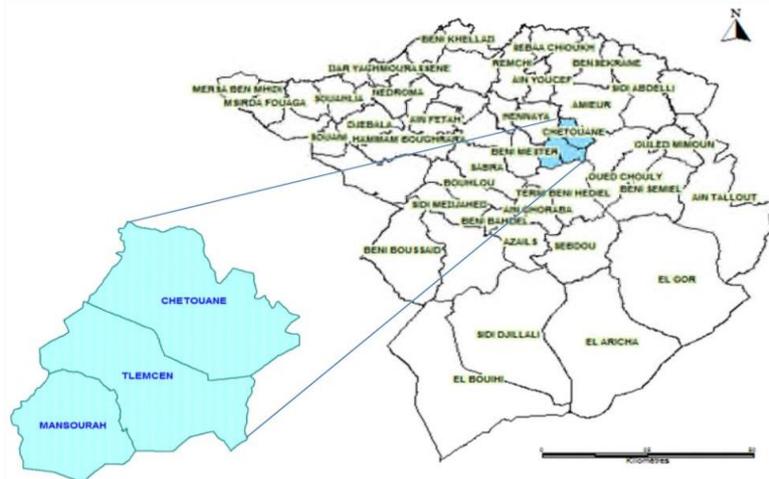


Figure 23 : présentation du groupement urbain de Tlemcen

I.2.1. La commune de Tlemcen

Elle est le chef-lieu de la wilaya. Elle a une superficie de 47 km^2 et une population de 140158 habitants avec un taux d'accroissement de 0.6 %. La commune s'étend du plateau de Lalla Setti (1200m d'altitude) au Sud ; à Koudia (760m) au Nord. Entre ces deux extrémités de formation rocheuse se trouve une zone des piémonts et de plaines totalement urbanisées, les extrémités Sud et Ouest se confondent avec l'urbanisation des communes Mansourah et Chetouane (43). Le réseau de collecte de centre de Tlemcen est un réseau unitaire de longueur 3700 m et un diamètre de 1000 m (44).

I.2.2. La commune de Mansourah

La surface de Mansourah est 25 km^2 et une population de 49150 habitants avec un taux d'accroissement de 3.3 %. Elle est limitée à l'Est et au Nord par la commune de Tlemcen, à l'Ouest par la commune de Beni Mester et au Sud par la commune de Terny. Elle connaît une forte concentration de sa population et une extension spatiale de son tissu urbain en raison de sa qualité de commune résidentielle du groupement de Tlemcen. Le réseau d'assainissement est de type unitaire (45).

I.2.3. La commune de Chetouane

Elle se situe à 3 km au Nord-est de la ville de Tlemcen couvrant une superficie de 105 km^2 et une population de 47600 habitants avec un taux de croissance de 3.1%. Le réseau d'assainissement de Chetouane est unitaire d'un diamètre de 200 à 600 mm et d'une longueur de 1500 m (46).

I.3. Données de base de la station

La STEP de la ville de Tlemcen a été dimensionnée sur (47):

Tableau 6 : Données de base de la STEP de AIN EL HOUTZ

Paramètres	Unité	Valeurs
type de réseau	Unitaire	/
Nature des eaux brutes	Domestiques	/
Population	EQ-HAB (EH)	150000

Débit journalier	m^3/jour	30000
Débit de pointe horaire admis au traitement	m^3/h	3800
DBO5 journalière	kg/J	9300
Matière en suspension	kg/J	13950
L'équivalence calculée sur la DBO5	EQ-HAB	172000
Azote a nitrifié	kg	1980

II. Filière de traitement

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau (48).

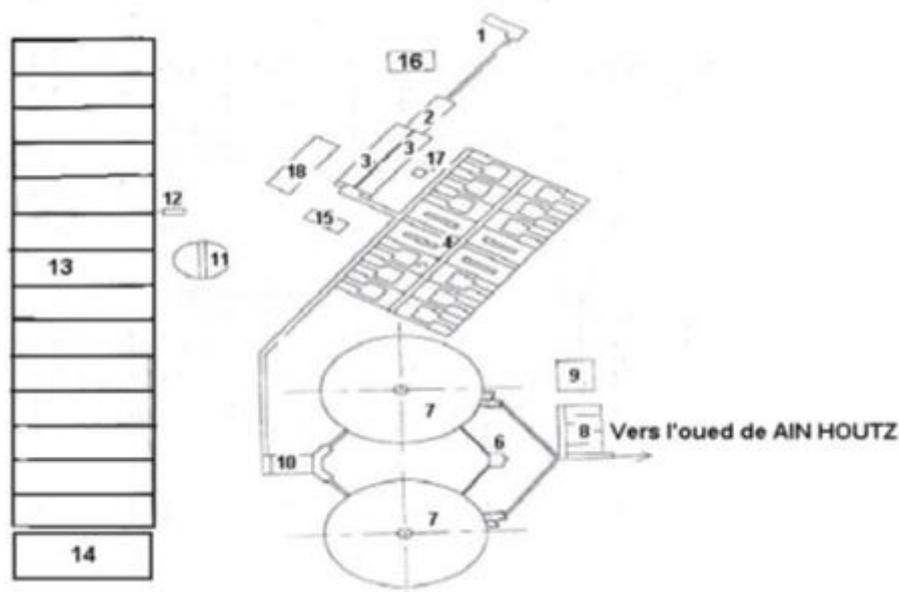


Figure 24 : Schéma général de la station d'épuration d'Ain Houtz (46)

- | | |
|---|--|
| 1 : déversoir d'orage | 10 : tour de recyclage |
| 2 : dégrillage | 11 : épaisseur |
| 3 : dessableur-déshuileur | 12 : bâtiment des pompes a boue épaisses |
| 4 : bassin de nitrification | 13 : lits de séchages |
| 5 : bassin d'aération | 14 : aire de stockage des boues séchées |
| 6 : tour de répartition Dénitrification | 15 : bâtiment de supresseur |
| 7 : clarificateur | 16 : Lit de sable |
| 8 : bassin de chloration | 17 : bâtiment d'exploitation |
| 9 : bâtiment de chloration | |

II.1. Déversoir d'orage

Le déversoir d'orage est installé à l'amont de la station. Son rôle est de déverser le surplus du débit admissible dans le by-pass général de la station. La hauteur de la lame de débordement est adaptée pour accepter une charge de $3300 m^3/\text{h}$ (47). L'eau usée à traiter arrive gravitement à

la tête de la première filière du traitement à l'aide d'une conduite de 800 mm de diamètre qui s'appelle « liaison entre ouvrage » (2).



Figure 25 : Déversoir d'orage

II.2. Les prétraitements

Au niveau de la STEP d'Ain El Houtz, on trouve :

II.2.1. Les dégrilleurs

Deux dégrilleurs sont ainsi installés pour éliminer des matières qui peuvent gêner le déroulement des autres traitements (2).

Tableau 7 : Dimensions des dégrilleurs

	Grille grossière manuelle (1 unité)	Grille mécanisée (2 unités)
Largeur de la grille	1,8 m	1,0 m
Écartement entre les barreaux	50 mm	20 mm
Profondeur du chenal	/	1,5 m
Puissance du moteur	/	0,37 kw



Figure 26 : Grille grossière manuelle



Figure 27 : Grille mécanisée

II.2.2. La vanne de by-pass

Elle est utilisée dans le cas d'un arrivée de l'eau pluvial avec l'eau usée.

II.2.3. Le Dessableur-déshuileur (2 unités)

Cet ouvrage est utilisé pour la séparation des huiles et des graisses vers la zone de raclage. Les dimensions des deux dessableurs sont :

Longueur : 26 m Largeur : 4 m Hauteur de 9 m



Figure 28 : Dessableur-déshuileur

II.3. Le traitement biologique

Après le prétraitement, l'eau est acheminée vers l'étape de traitement biologique pour l'élimination de la pollution à partir des bactéries spécifiques. Il existe deux bassins séparés avec des dimensions présentées ci-dessous :

Tableau 8 : Dimensions des bassins

	Bassin d'aération	Bassin de nitrification dénitrification
Volume	4723 m ³	725 m ³
Longueur	55,5 m	187,56 m
Largeur	18,5 m	8,5 m

Profondeur d'eau	4,6 m	4,9 m
Hauteur béton	5,6 m	5,6 m



Figure 29 : Bassins d'aération

Il existe deux décanteurs secondaires dans la STEP d'Ain El Houtz.

Tableau 9 : Dimensions de décanteur

Diamètre	Surface	Profondeur d'eau	Vitesse de rotation
46 m	1661 m ²	4 m	0,04 m/s

Après la clarification de l'eau, il passe vers la désinfection et le traitement des boues décantées qui est la dernière étape de traitement.



Figure 30 : Photo d'un clarificateur

II.4. Traitement des boues

Le résidu principal de la filière de la boue active est la boue. Cette dernière est destinée vers l'épaississeur (Figure 31), puis à l'air libre pour le séchage (Figure 32).



Figure 31 : Photo d'un épaisseur



Figure 32 : Vue d'un lit de séchage rempli de boues

III. Réutilisation des eaux traitées

Pour vérifier l'état de performance de la station d'épuration d'Ain El Houtz et afin d'irriguer la plaine de Hennaya, des analyses de l'eau épurée par rapport aux normes en vigueur ont été étudié dans le travail de Khechiba et Mahi (2016) (49).

Des paramètres physicochimique tels que : pH, MES, DBO5, DCO, CE et N-NO3, sont évalués de Janvier 2012 à Février 2016 . Plusieurs résultats d'irrégularités sont aperçus et groupés par rapport à chaque paramètre

- pH de l'eau

C'est le potentiel Hydrogène de l'eau. Il mesure sa concentration en ion H⁺. Il permet d'avoir une idée globale de la physico-chimie de l'eau. Il traduit son caractère acide ou basique. Le pH de l'eau influe sur la vie (50). La variation moyenne du pH de l'eau à la sortie de la STEP est représentée sur la figure 33.

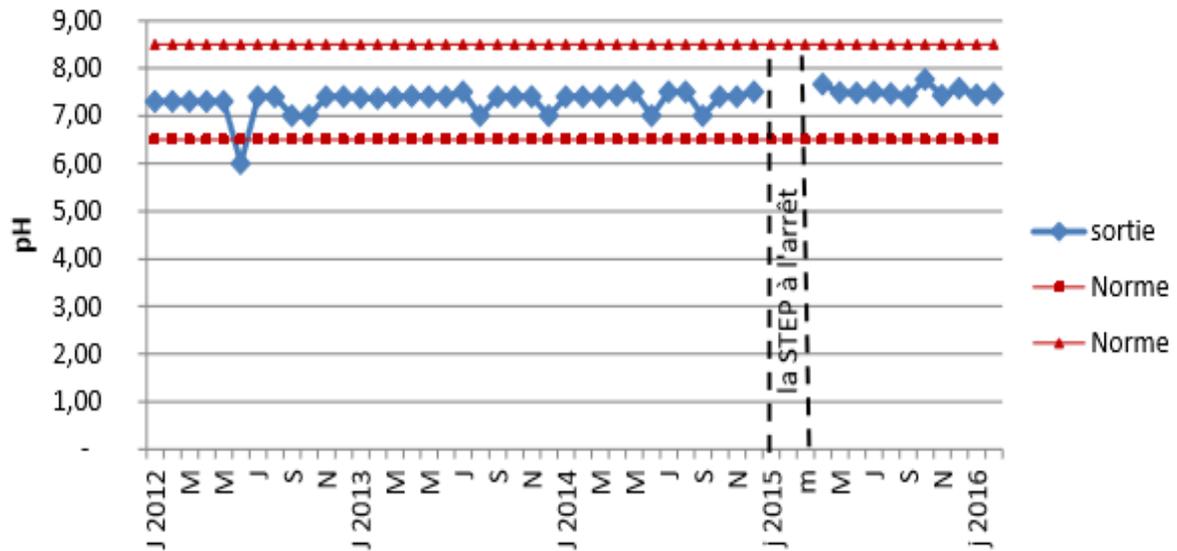


Figure 33 : Variation moyenne du pH de l'eau à la sortie de la STEP (49)

- Demande biologique en oxygène (DBO5)

La variation moyenne de la DBO5 des eaux épurées à la sortie de la STEP de Tlemcen est représentée dans la figure 34.

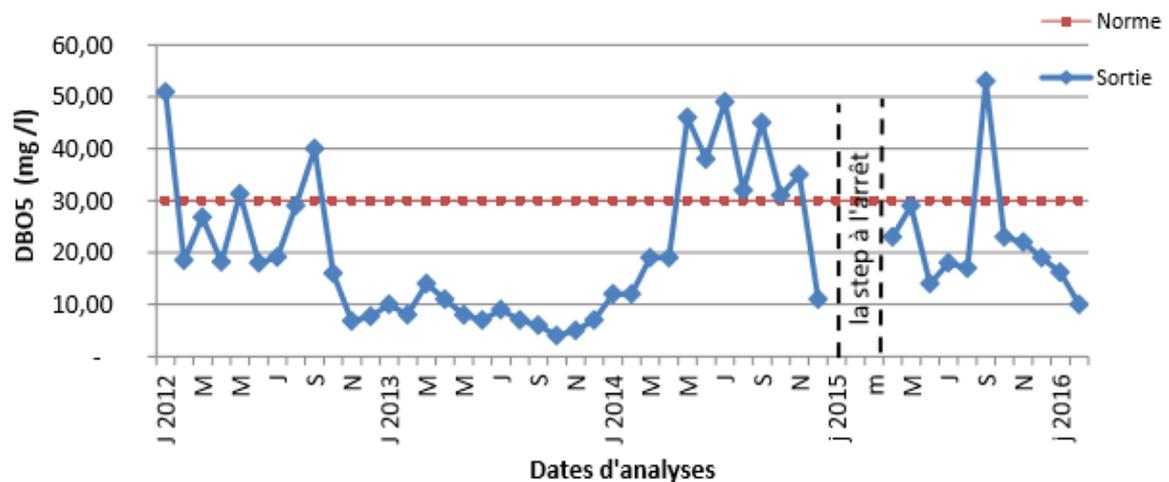


Figure 34 : Variation moyenne de la DBO5 de l'eau à la sortie de la STEP (49)

- Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide de bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables (51). Les variations moyennes de la DCO des eaux épurées à la sortie de la STEP sont représentées sur la figure 35.

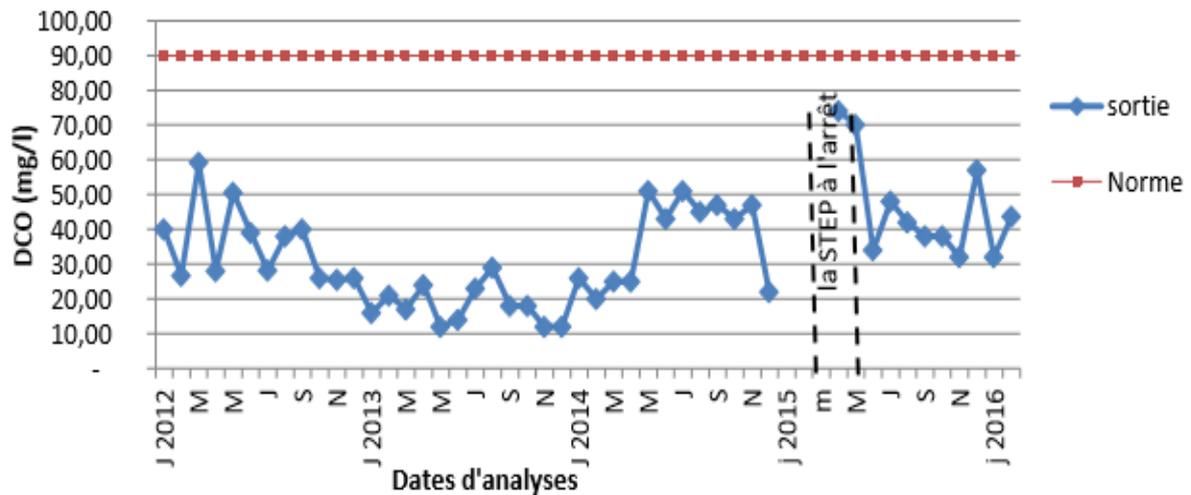


Figure 35 : Variation moyenne de la DCO de l'eau à la sortie de la STEP (49)

- Matières en suspension (MES)

Elle représente les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenue par un filtre. Les MES qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (2). Les techniques d'analyse font appel à la séparation directe par filtration ou par centrifugation. La variation moyenne de MES des eaux épurées à la sortie de la STEP sont représentées dans la figure 36.

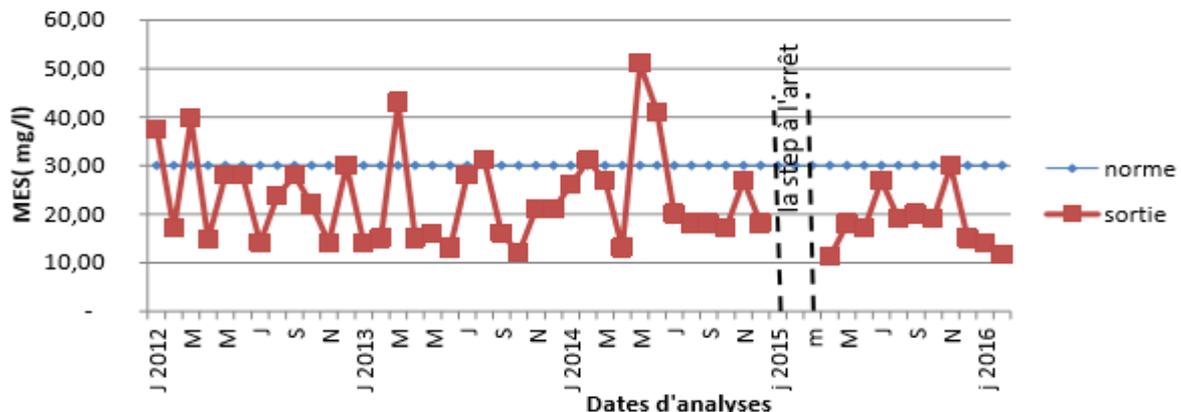


Figure 36 : Variation moyenne du MES de l'eau à la sortie de la STEP (49)

- La conductivité électrique CE

C'est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité. C'est une expression numérique de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique mesurée en milli siemens par centimètre. Les résultats obtenus mettent en évidence une variation plus ou moins importante de la minéralisation exprimée en conductivité moyenne (52). Les variations moyennes des valeurs de la conductivité électrique (CE) des eaux épurées à la sortie de la STEP sont représentées dans la figure 37.

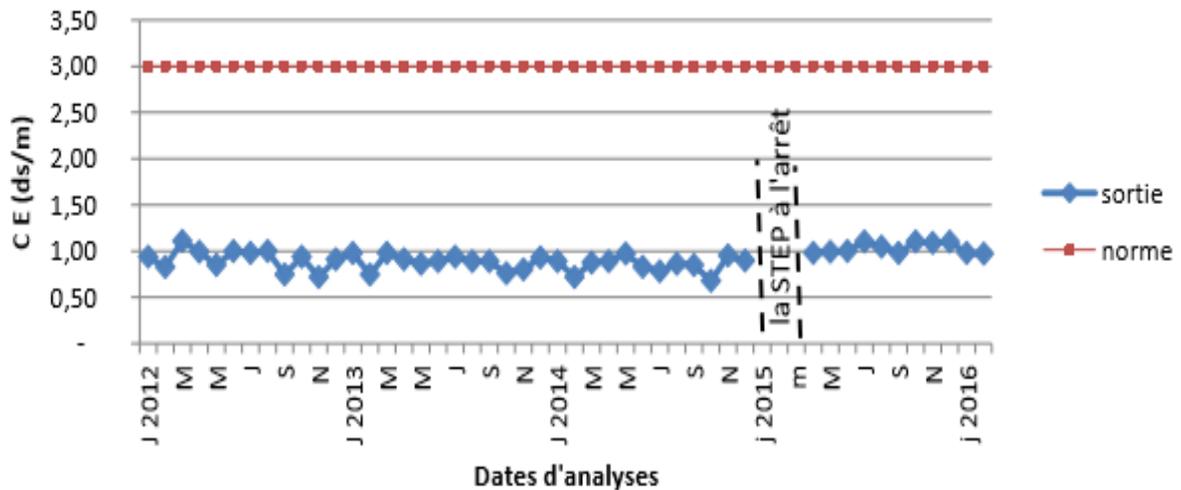


Figure 37 : Variation moyenne de la CE de l'eau à la sortie de la STEP (49)

- **Azote (N^-NO3^-)**

Il se forme naturellement par combinaison de l'azote (N) et de l'oxygène (O) du sol. Sa formule chimique est NO_3^- . C'est la forme la plus disponible pour les plantes. Les variations moyennes des teneurs de l'azote nitrique ($N-NO_3^-$) contenus dans les eaux épurées à la sortie de la STEP sont représentées sur la figure 38.

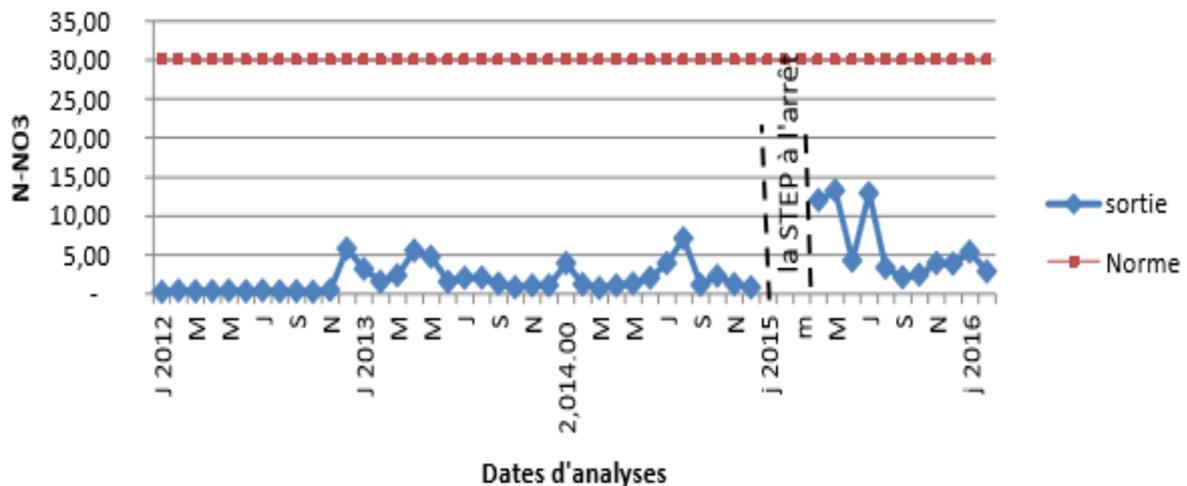


Figure 38 : Variation moyenne de N^-NO3^- de l'eau à la sortie de la STEP (49)

Conclusion et synthèse

D'après les figures, des analyses d'aux épurées à la sortie de la STEP de la ville de Tlemcen on observe et conclue les désavantages suivants :

Paramètre	L'observation si dans les normes ou non
PH	✓
DBO5	✗

DCO	✓
MES	✗
CE	✓
N-NO3	✓

Figure 39 : Synthèse des paramètres d'épuration

De ce faite, à la sortie du la STEP, on observe que les paramètres DBO5 et MES ne sont pas dans les normes en vigueur pour la réutilisation des eaux épurées. Ainsi, il y a une quantité importante des eaux épurées qui était utilisées pour l'irrigation avec des valeurs de MES et DBO5 qui dépassent les normes ce qui est strictement interdit.

En plus de ça, on remarque surtout que :

- Le paramètre d'éloignement des habitants n'est pas pris en compte soigneusement.
- La capacité de la station est petite par rapport à la population de la région.
- Une importante quantité d'eaux épurées est rejetée dans Oued Sekak.
- Les boues et l'eau épurée sont offertes aux agriculteurs gratuitement bien que la STEP n'a pas de revenu pour couvrir ses besoins.
- L'eau épurée qui sort de la STEP ne convient pas à l'irrigation pour tous les types des fruits et légumes.
- Le problème de l'odeur émise par la STEP nuise la population d'Ain El Houtz

Pour ces raisons, nous proposons dans ce projet une conception détaillée de l'activité d'épuration au groupement urbain de Tlemcen. La conception commence par déterminer le site et les sites appropriés pour implanter des stations d'épuration. La deuxième étape consiste à sélectionner la meilleure technique d'épuration qui correspond aux sites choisis tout en tenant comptes les différents critères. Ensuite, nous présentons une estimation économique de fonctionnement du nouveau réseau d'assainissement. Au final, nous présentons vision stratégique de réseau de station d'épuration de la région Tlemcen Remchi, Beni Mester et Ain Fezza. Le but est d'optimiser l'affectation des points de sources des eaux usées aux différentes STEPS choisis et les traitées aux différents zones agricoles.

Chapitre III

Adaptation de la
méthode TOPSIS floue
pour le choix des sites
d'épuration

Introduction

Dans le chapitre 2, nous avons présenté le cadre général de notre étude. Nous nous sommes attelés à comprendre puis à présenter le système existant d'épuration des eaux usées au GUT. Le traitement des eaux usées est une activité cruciale, en particulier leurs impacts économique et environnemental dans les pays en développement. Notre objectif dans ce chapitre est de développer une approche multicritère basée sur la méthode TOPSIS floue afin de sélectionner le (ou les) meilleur(s) site(s) pour localiser une station d'épuration à la ville de Tlemcen. Cependant, le choix d'un site se base sur plusieurs critères de natures différentes et d'une importance non négociable. La prise en considération de ces critères permet au décideur de se rapprocher le plus possible d'un site adéquat et de s'éloigner de mauvais sites

Dans la suite, la section 1 présente une revue de la littérature dédiée à l'adaptation des approches multicritères pour résoudre le problème de localisation des stations d'épurations. Ensuite, la section 2 donne une description détaillée du problème de sélection du site d'épuration à la ville de Tlemcen. Après, dans la section 3, nous présentons le principe de la méthode TOPSIS floue. Enfin, la section 4 décrit l'adaptation de cette méthode sur notre problématique et les résultats obtenus.

I. Etat de l'art

L'une des étapes les plus importantes dans l'implémentation d'une activité d'épuration des eaux usées, causant le moins d'effet sur l'environnement, est la sélection d'un site approprié. Par conséquent, de nombreux pays et organisations scientifiques ont publié leurs propres normes pour la conception de stations d'épuration. Rodrigues et al. (2018) ont développé un système décisionnel multicritère basé sur la méthode AHP et sur un système d'information géographique (SIG) pour localiser dans des meilleures conditions une unité de production de biogaz. La production se fait en utilisant les déchets et les eaux usées dans la région Barcelos en Portugal (53). Pour la ville d'Oumdurman au Soudan, Abdalla et El Khidir. (2017) ont développé un modèle de prise de décision pour sélectionner un site optimal pour une station d'épuration en utilisant la télédétection et un SIG couplées à l'analyse multicritère AHP (54). Li et al. (2017) ont étudié la possibilité d'installer un site de rejets des eaux usées industrielles dans les régions côtières de la région Fujian en Chine. En se basant sur l'analyse de pertinence pondérée et l'analyse relationnelle par la méthode Grey, ils ont développé une approche de sélection de site pour soutenir la gestion de l'environnement marin (55). Kafil et Albaji. (2017) ont intégré un SIG avec la méthode AHP pour le choix d'un site de bassins de stabilisation des eaux usées dans la ville Behbahan en Iran. Shahmoradi et Isalou. (2013) ont intégré la logique floue avec un modèle de décision multicritère pour localiser une unité de traitement des eaux usées à Kahak en Iran (56).

II. Définition et structuration du problème de sélection du site de traitement des eaux usées du GUT

La première phase dans une approche d'analyse multicritère consiste à définir et à structurer le problème de décision dans une structure hiérarchique en identifiant les éléments (actions, décideurs et critères) appropriés à notre objectif. La présente étude tente de sélectionner le site

le plus approprié pour la construction d'une station de traitement des eaux usées dans du groupement urbain de la ville de Tlemcen.

En effet, d'après l'analyse des besoins et des objectifs, nous sommes face à une problématique de rangement $P.\gamma$, suivant laquelle nous cherchons à classer les sites candidates selon leurs convenances du meilleur site au moins bon site.

II.1. Définition des sites candidats

La détermination de l'ensemble des actions est une étape très sensible de toute démarche d'aide à la décision. En se basant sur l'expérience des décideurs, quatre sites les plus appropriés ont été choisis comme sites potentiels, notés S_1 , S_2 , S_3 et S_4 .

II.1.1. Le site d'Aïn El Houtz (S_1)

Ce site est situé dans la région d'Aïn El Houtz en proximité de la route. Il est en permanence exposé au soleil. Il permettrait à l'eau de s'écouler par gravité jusqu'à la station et est hors zone inondable. L'inconvénient de ce site est qu'il est à proximité de la zone d'habitations.

II.1.2. Le site d'Ouzidane (S_2)

Ce site est situé dans la région d'Ouzidane loin des groupements de population. Il est en permanence exposé au soleil et il permettrait à l'eau de s'écouler par gravité jusqu'à la station. L'inconvénient de ce site est qu'il n'y a pas une route à proximité.

II.1.3. Le site de Sidi Kanoun (S_3)

Ce site est situé dans la région de Sidi Kanoun loin des groupements de population. Il est en permanence exposé au soleil et il permettrait à l'eau de s'écouler par gravité jusqu'à la station. L'inconvénient de ce site est qu'il n'y a pas une route à proximité.

II.1.4. Le site de Hennaya (S_4)

Ce site est situé dans la région de Hennaya. Il est éloigné des habitations et il y a une route à proximité. Ce site est en permanence exposé au soleil. Le terrain appartient déjà en partie à la commune et il permettrait à l'eau de s'écouler par gravité jusqu'à la station.

II.2. Définition des critères

La définition de l'ensemble des critères est parfois l'une des étapes les plus délicates. Pour ce problème de localisation d'une station d'épuration, nous avons onze critères à prendre en compte. Ces derniers sont déterminés après une revue de la littérature et une consultation des experts du domaine. Les onze critères peuvent être classifiés selon trois grandes catégories comme montré dans la figure 40.

II.2.1 Le climat (C_1)

Le climat semble a priori une importance pour les STEPS. Principalement, la température et l'odeur sont des facteurs importants pour déterminer l'implantation d'une STEP, du fait de l'existence de températures critiques pour les traitements biologiques. La future STEP doit

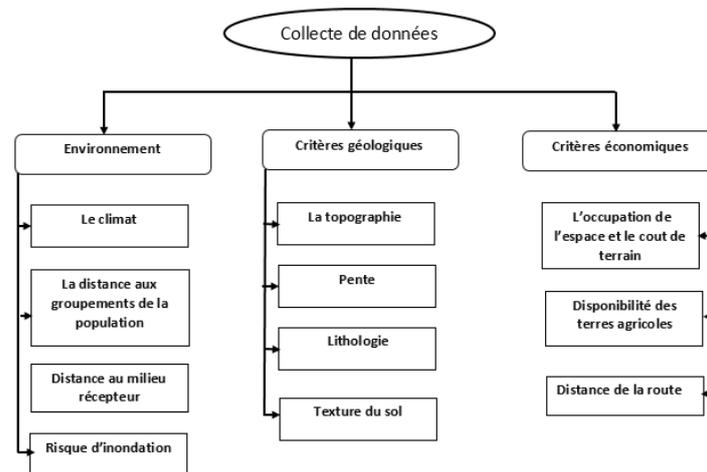


Figure 40 : Critères environnementales, géologique et économiques

être installée parallèlement à la direction du vent pour que les odeurs émises par les eaux au cours du traitement n'aient aucune nuisance pour la population.

II.2.2 L'occupation de l'espace et le cout de terrain (C_2)

Chaque projet créé par l'homme devrait avoir un effet minimal sur l'environnement. Il existe différentes utilisations des terres telles que l'agriculture, les prairies denses, les forêts denses, les prairies de moyenne et basse densité et les zones urbaines. Pour une station d'épuration, les terres avec des prairies à faible densité sont les meilleurs choix. Cependant, l'implantation d'une station d'épuration consomme de l'espace. Plus la surface de la STEP est grande, plus le cout de terrain est élevé.

II.2.3 La distance aux groupements de la population (C_3)

En raison de conditions environnementales défavorables et de la création d'odeurs désagréables, une station d'épuration devrait être placée loin des zones résidentielles présentes et futures. Dans ce cas, on réserve une distance minimale de 200 m.

II.2.4 La topographie (C_4)

Ce critère, qui est très important, indique la hauteur du groupement urbain du site potentiel. La collecte gravitaire des eaux usées n'est possible que si des pentes suffisantes sont présentes vers le site potentiel. L'élévation du site devrait être inférieure aux parties les plus basses de la ville. La classe la plus appropriée appartient aux sites à basse altitude de la ville entre -15 et -50 m, car les zones à forte élévation ne sont pas souhaitables (57).

II.2.5 La distance au milieu récepteur (C_5)

Les eaux usées traitées dans une station d'épuration sont destinées à être rejetées dans le milieu récepteur, dite aussi « milieu naturel ». Selon le contexte géographique du lieu de rejet, le milieu récepteur des eaux usées peut être :

- Une eau de surface (fleuves, rivières, lacs, étangs ...),
- Le sol (les eaux s'infiltrent dans le sol, généralement par l'intermédiaire de fossé),
- Une eau côtière (mer, océan),

- Un estuaire (ou un étang salé).

Dans la majorité des cas, les eaux traitées sont rejetées dans une eau de surface (88 %). Les autres types de milieu récepteur sont par ordre d'importance le sol (9,5 %), les eaux côtières (1,5 %) et les estuaires (1 %) (58).

Afin de protéger les ressources naturelles et minimiser les coûts de canalisation, Anagnostopoulos and Vavatsikos. (2007) ont identifié un minimum de 500 mètres et un maximum de 3 kilomètres des rivières principales comme zone appropriée pour la construction d'une raffinerie d'eaux usées (59).

II.2.6 La distance de la route (C_6)

Une grande distance par rapport aux routes augmente le coût de construction et d'entretien de la station. Cependant, la présence de la station près des routes affecte la santé publique.

II.2.7 Le risque d'inondation (C_7)

Les inondations les plus fréquentes se produisent par temps de pluie. Dans la conception des réseaux d'assainissement, on ne peut pas éliminer les risques d'inondations pluviales. Les risques d'inondation devraient être étudiés lors de la construction d'une station d'épuration. Les crues peuvent entraîner deux types de dysfonctionnements dans une station d'épuration :

- L'entrée de l'eau dans le réseau d'eaux usées.
- L'impossibilité de rejeter les eaux traitées dans le milieu naturel.

II.2.8 La pente du site (C_8)

Un bon site pour l'établissement d'un système de bassin de stabilisation devrait avoir une pente douce qui entraîne une grande capacité d'élimination des polluants (60). Les zones raides augmentent non seulement le coût des travaux d'excavation, mais augmentent également la possibilité de pollution des eaux souterraines et des eaux de surface. La pente la plus appropriée se situe entre 0 et 5% (61).

II.2.9 La forme géologique (C_9)

La lithologie, dite aussi « la formation géologique » est la nature des roches formant un objet, ensemble, ou couche géologique (62). La marne et le schiste forment la meilleure combinaison géologique pour un site d'épuration (57).

II.2.10 La disponibilité des terres agricoles (C_{10})

Le traitement des eaux usées devient crucial pour une consommation ultérieure, y compris des fins agricoles, en particulier lorsqu'il y a une augmentation de la consommation d'eau avec une source naturel limitée. Le problème s'aggrave lorsque la demande en eau dépasse l'offre. Pour cela, la localisation d'une station d'épuration à proximité des zones agricoles est préférable.

II.2.11 La texture du sol (C_{11})

Le sol approprié devrait avoir une fraction d'argile très élevée pour que le système de bassins de stabilisation ait le minimum d'impact sur les eaux souterraines. Un sol avec une texture de

surface intermédiaire à lourde, un taux de cailloux, une faible salinité et une faible alcalinité sont bénéfiques pour la construction de l'usine de traitement des eaux usées (57).

III. Choix de la méthode TOPSIS floue

Notre objectif dans cette partie est de classer, selon leur ordre de convenance, un ensemble des sites candidates pour localiser une station d'épuration. Le but est de donner aux décideurs un récapitulatif global sur lequel ils s'appuient pour choisir le meilleur site. Comme nous avons déjà mentionné dans le chapitre 1, la méthode TOPSIS est l'une des méthodes d'analyse multicritères d'aide à la décision les plus utilisées pour faire face à des problèmes de décision multicritères (63). Cette méthode est basée sur la sélection d'une alternative qui se rapproche le plus possible de la solution idéale et s'éloigne le plus possible de la pire solution pour tous les critères. Pour l'application de la méthode TOPSIS classique, l'évaluation et les poids des critères sont connus avec précision, et sont modélisés avec des nombres réels. Cependant, dans notre problématique, il y a des difficultés à juger parce qu'une majorité des données n'est pas connue avec précision. La version floue de la méthode TOPSIS (TOPSIS floue), proposé par Chen en 2000 (64), permet de traiter, évaluer et donner des poids des critères par des valeurs floues avec des variables linguistiques. Une introduction détaillée sur la théorie des ensembles flous est disponible dans (65).

Les étapes de la méthode TOPSIS floue seront présentées d'une façon détaillée dans la section 4 de ce chapitre.

IV. Application numérique

Après avoir présenté les différentes alternatives S_i ($i = 1, \dots, 4$) et les différents critères C_j ($j = 1, \dots, 11$) dans la deuxième section de ce chapitre. L'adaptation de la méthode TOPSIS floue sur notre problématique consiste en 6 étapes principales :

IV.1. Etape 1 : Construction de la matrice de décision floue et du vecteur du poids

Au départ, un ensemble de trois décideurs D_k ($k = 1, \dots, 3$), identifient l'ensemble des variables linguistiques des critères (Tableau 10). Ces valeurs sont ensuite converties en des nombres triangulaires.

Les variables linguistiques ainsi que ses nombres flous présentés dans le tableau 11 sont utilisées pour l'évaluation des alternatives par rapport à chaque critère.

Tableau 10 : Variables linguistiques pour le poids d'importance de chaque critère

Variabes linguistiques	Très faible (TF)	Faible (F)	Moyen (M)	Haute (H)	Très haute (TH)
Nombre triangulaire floue	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)

Tableau 11 : Variables linguistiques pour les alternatives (les sites)

Variables linguistiques	Très mauvais (TM)	Mauvais (M)	Juste (J)	Bien (B)	Très bien (TB)
Nombre triangulaire floue	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)

Ensuite, chaque décideur est invité à sélectionner et à communiquer ses préférences \tilde{w}_{ki} (poids d'importance) de chaque critère i (Tableau 12) ainsi que l'évaluation \tilde{x}_{kij} de chaque site j par rapport à chaque critère i (Tableau 13).

Tableau 12 : Importance du poids des critères donnée par chaque décideur

\tilde{w}_{kj}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
D_1	H (5,7,9)	TH (7,9,9)	M (3,5,7)	M (3,5,7)	TH (7,9,9)	M (3,5,7)	TH (7,9,9)	H (5,7,9)	H (5,7,9)	M (3,5,7)	H (5,7,9)
D_2	TH (7,9,9)	TH (7,9,9)	M (3,5,7)	M (3,5,7)	H (5,7,9)	M (3,5,7)	TH (7,9,9)	H (5,7,9)	H (5,7,9)	F (1,3,5)	H (5,7,9)
D_3	H (5,7,9)	H (5,7,9)	H (5,7,9)	M (3,5,7)	TH (7,9,9)	M (3,5,7)	F (1,3,5)	M (3,5,7)	TH (7,9,9)	M (3,5,7)	TH (7,9,9)

Tableau 13 : Evaluation linguistique des sites par chaque décideur sous les onze critères

\tilde{x}_{kij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	
S_1	D1	B	J	M	TM	M	M	TB	J	B	TM	TB
	D2	B	J	TM	M	M	TM	TB	M	B	M	B
	D3	B	M	TM	TM	TM	TM	TB	J	TB	M	TB
S_2	D1	B	M	M	J	TM	J	M	TB	B	B	B
	D2	TB	M	TM	J	TM	B	M	B	TB	B	B
	D3	B	M	TM	M	TM	B	M	B	B	J	B
S_3	D1	B	TM	TM	TM	TM	TM	J	M	M	TM	TM
	D2	TB	TM	TM	TM	TM	TM	M	M	M	TM	TM
	D3	B	TM	TM	M	TM	M	M	TM	M	M	TM
S_4	D1	B	TB	TB	B	TB	TB	B	B	B	TB	B
	D2	TB	TB	TB	B	TB	TB	B	B	TB	TB	B
	D3	B	TB	B	TB	B	B	B	TB	TB	TB	TB

Après, les poids des critères \tilde{w}_{kj} et les évaluations des sites \tilde{x}_{kij} sont agrégés pour obtenir respectivement le vecteur du poids \tilde{w}_j (Tableau 14) et la matrice de décision floue \tilde{x}_{ij} (Tableau 15), suivant les formules ci-dessous :

- **Pour le vecteur du poids**

Etant donné les poids d'importance (nombres flous) :

$$\tilde{W}_{kj} = \{w_{kj1}, w_{kj2}, w_{kj3}\}$$

Le vecteur du poids agrégé est défini comme suit :

$$\tilde{w}_j = \{w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}\}$$

Telle que :

$$w_{j1} = \min^k \{w_{kj1}\}$$

$$w_{j2} = \frac{1}{ND} \sum_{k=1}^{ND} w_{kj2}$$

$$w_{j3} = \max^k \{w_{kj3}\}$$

ND : Le nombre des décideurs.

Tableau 14 : Vecteur du poids des critères

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
\tilde{w}_j	5	5	3	3	5	3	1	1	5	1	5
	7.67	8.33	5.67	5	8.33	5	7	5	8.33	4.33	7.67
	9	9	7	7	9	7	9	9	9	7	9

- Pour la matrice de décision floue

Etant donné les évaluations des sites (nombres flous) :

$$\tilde{x}_{kij} = \{a_{kij}, b_{kij}, c_{kij}\}$$

La matrice de décision floue est calculée comme suit :

$$\tilde{x}_{ij} = \{a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}\}$$

Telle que :

$$a_{ij} = \min^k \{a_{kij}\}$$

$$b_{ij} = \frac{1}{ND} \sum_{k=1}^{ND} b_{kij}$$

$$c_{ij} = \max^k \{c_{kij}\}$$

Tableau 15 : Matrice de décision floue

\tilde{x}_{ij}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
S ₁	5	1	1	1	1	1	7	1	5	1	5
	7	4.33	1.67	1.67	2.33	1.67	9	4.33	7.67	2.33	8.33
	9	7	5	5	5	5	9	7	9	5	9
S ₂	5	1	1	1	1	3	1	5	5	3	5
	7.67	3	1.67	4.33	1	6.33	1	7.67	7.67	6.33	7
	9	5	5	7	3	9	5	9	9	9	9
S ₃	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	7.67	1	1	1.67	1	1.67	3	2.33	3	1.67	1
	9	3	3	5	3	5	7	5	5	5	3
S ₄	5	7	5	5	5	5	5	5	5	7	7
	7.67	9	8.33	7	8.33	8.33	7	7.67	8.33	9	9
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

IV.2. Etape 2 : Normalisation de la matrice de décision floue

L'ensemble des critères présentés ci-dessus peut être divisé (Tableau 16) selon leurs natures en « critères de type coût » (Co) (à minimiser) et « critères de type gain / bénéfique » (B) (à maximiser). Une solution idéale positive (FBIS) est la solution qui maximise les critères de type gain et minimise les critères de type cout ; cependant, une solution idéale négative (FNIS) est une solution qui maximise les critères de type cout et minimise les critères de type gain.

Tableau 16 : Classification des critères entre gain et cout

Critères de type coût	Critères de type gain
- L'occupation de l'espace et le cout de terrain (C_2) - La distance de la route (C_6)	- Le climat (C_1) - La distance aux groupements de la population (C_3) - La topographie (C_4) - La distance au milieu récepteur (C_5) - Le risque d'inondation (C_7) - La pente du site (C_8) - La forme géologique (C_9) - La disponibilité des terres agricoles (C_{10}) - La texture du sol (C_{11})

La matrice de décision est normalisée pour éliminer les anomalies avec les différentes unités de mesure. Les valeurs normalisées des nombres flous triangulaires sont inclus dans l'intervalle [0, 1].

$$\tilde{r} = [\tilde{r}_{ij}]_{4 \times 11}, i = 1, 2, \dots, 4 \text{ et } j = 1, 2, \dots, 11$$

Les valeurs normalisées sont calculées comme suit (Tableau 17) :

- **Pour les critères de nature gain**

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right)$$

- **Pour les critères de type coût**

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{a_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}} \right)$$

Avec :

$$c_j^+ = \max^i c_{ij} \text{ si le critère est de type gain}$$

$$a_j^- = \min^i a_{ij} \text{ si le critère est de type coût}$$

Tableau 17 : Matrice de décision floue normalisée

\tilde{r}_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
S_1	0,56	0,14	0,11	0,11	0,11	0,2	0,78	0,11	0,56	0,11	0,56
	0,78	0,23	0,19	0,19	0,26	0,6	1	0,48	0,85	0,26	0,93
	1	1	0,56	0,56	0,56	1	1	0,78	1	0,56	1
S_2	0,56	0,2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,56	0,56	0,33	0,56
	0,85	0,33	0,19	0,48	0,11	0,16	0,33	0,85	0,85	0,7	0,78
	1	1	0,56	0,78	0,33	0,33	0,56	1	1	1	1
S_3	0,56	0,33	0,11	0,11	0,11	0,2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	0,85	1	0,11	0,19	0,11	0,6	0,33	0,26	0,33	0,19	0,11
	1	1	0,33	0,56	0,33	1	0,78	0,56	0,56	0,56	0,33
S_4	0,56	0,11	0,56	0,56	0,56	0,11	0,56	0,56	0,56	0,78	0,78
	0,85	0,11	0,93	0,78	0,93	0,12	0,78	0,85	0,93	1	1
	1	0,14	1	1	1	0,2	1	1	1	1	1

IV.3. Etape 3 : Construction de la matrice de décision floue pondérée

La matrice floue pondérée est calculée en multipliant les valeurs de la matrice de décision floue normalisée par les poids des critères d'évaluation comme suit (Tableau 18) :

$$\tilde{v} = [\tilde{v}_{ij}]_{4 \times 11}, i = 1, 2, \dots, 4 \text{ et } j = 1, 2, \dots, 11$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j$$

Tableau 18 : Matrice de décision floue pondérée

\tilde{v}_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
S_1	2,78	1	0,33	0,33	0,56	0,6	0,78	0,33	2,78	0,11	2,78
	5,96	1,92	1,05	0,93	2,16	3	7	3,05	6,53	1,12	7,1
	9	9	3,89	3,89	5	7	9	7	9	3,89	9
S_2	2,78	1	0,33	0,33	0,56	0,33	0,56	1,67	2,78	0,33	2,78
	6,53	2,78	1,05	2,41	0,93	0,79	2,33	5,4	6,53	3,05	5,96
	9	9	3,89	5,44	3	2,33	9	9	9	7	9
S_3	2,78	1,67	0,33	0,33	0,56	0,6	0,11	0,33	0,56	0,11	0,56
	6,53	8,33	0,63	0,93	0,93	3	2,33	1,64	2,56	0,8	0,85
	9	9	2,33	3,89	3	7	5	5	5	3,89	3
S_4	2,78	0,56	1,67	1,67	2,78	0,33	0,56	1,67	2,78	0,78	3,89
	6,53	0,93	5,25	3,89	7,72	0,6	5,44	5,4	7,1	4,33	7,67
	9	1,29	7	7	9	1,4	9	9	9	7	9

IV.4. Etape 4 : Calcul de la solution idéale positive A^+ et la solution idéale négative A^-

La solution idéale positive floue FPIS (Fuzzy Positive Ideal Solution) notée A^+ et la solution idéale négative notée A^- sont calculées comme suit (Tableau 19) :

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_{11}^+) = \{max^i \tilde{v}_{i,1,3}, max^i \tilde{v}_{i,2,3}, \dots, max^i \tilde{v}_{i,11,3}\}, i = (1, 2, \dots, 4)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_{11}^-) = \{\min^i \tilde{v}_{i,1,1}, \min^i \tilde{v}_{i,2,1}, \dots, \min^i \tilde{v}_{i,11,1}\}, i = (1, 2, \dots, 4)$$

Tableau 19 : Solutions FBIS et FNIS

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
A^+	9	9	7	7	9	7	9	9	9	7	9
A^-	2,78	0,56	0,33	0,33	0,56	0,33	0,11	0,33	0,56	0,11	0,56

IV.5. Etape 5 : Calcul des distances entre chaque alternatif par rapport à FPIS et FNIS

Cette distance est calculée comme suit (Tableau 21):

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^{11} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i = 1, 2, \dots, 4$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{11} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, 4$$

La distance entre chaque alternative par rapport à FBIS et FNIS pour chaque critère est calculée par les deux équations suivantes respectivement (Tableau 20) :

$$d(\tilde{v}_{ij}, A_j^+) = \sqrt{\frac{1}{3}[(v_{ij1} - v_j^+)^2 + (v_{ij2} - v_j^+)^2 + (v_{ij3} - v_j^+)^2]}$$

$$d(\tilde{v}_{ij}, A_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(v_{ij1} - v_j^-)^2 + (v_{ij2} - v_j^-)^2 + (v_{ij3} - v_j^-)^2]}$$

Tableau 20 : Distance entre chaque alternative par rapport à FBIS et FNIS pour chaque critère

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
$d(S_1, A^+)$	4	6,17	5,46	5,51	6,69	4,36	4,89	6,18	3,86	5,53	3,76
$d(S_2, A^+)$	3,86	5,85	5,46	4,76	7,58	5,91	6,21	4,72	3,86	4,47	4
$d(S_3, A^+)$	3,86	4,25	5,97	5,51	7,58	4,36	6,82	6,96	6,55	5,64	7,61
$d(S_4, A^+)$	3,86	8,08	3,24	3,56	3,67	6,24	5,29	4,72	3,76	3,91	3,05
$d(S_1, A^-)$	4,04	4,95	2,09	2,08	2,73	4,15	6,5	4,16	6,11	2,26	6,3
$d(S_2, A^-)$	4,2	5,05	2,09	3,18	1,43	1,18	5,3	5,85	6,11	4,33	5,93
$d(S_3, A^-)$	4,2	6,66	1,17	2,08	1,43	4,15	3,1	2,8	2,81	2,22	1,42
$d(S_4, A^-)$	4,2	0,47	4,84	4,43	6,52	0,63	5,99	5,85	6,3	4,68	6,66

Tableau 21 : Distance entre les alternatives par rapport à FBIS et FNIS

Alternatives	d^+	d^-
S_1	56,39	45,36
S_2	56,70	44,64
S_3	65,11	32,03
S_4	49,38	50,57

IV.6. Etape 6 : Calcul des coefficients de proximité et rangement des alternatives

Cette consiste à associer à chaque alternative S_i un coefficient de proximité, ou coefficient de rapprochement au profil idéal CC_i , calculé en se basant sur les distances d_i^+ et d_i^- comme suit :

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, \dots, 4$$

Les alternatives (les sites) sont ensuite rangées en fonction des valeurs décroissantes des CC_i (Tableau 22). L'alternative ayant le plus grand coefficient de proximité sera le meilleur choix.

Tableau 22 : Coefficient de proximité et rangement

Alternatives	CC_i	Rangement
S_1	0,45	2
S_2	0,44	3
S_3	0,33	4
S_4	0,51	1

D'après les résultats obtenus, le site de Hennaya (S_4) est le meilleur site pour localiser une station d'épuration afin de traiter les eaux usées du groupement urbain de Tlemcen.

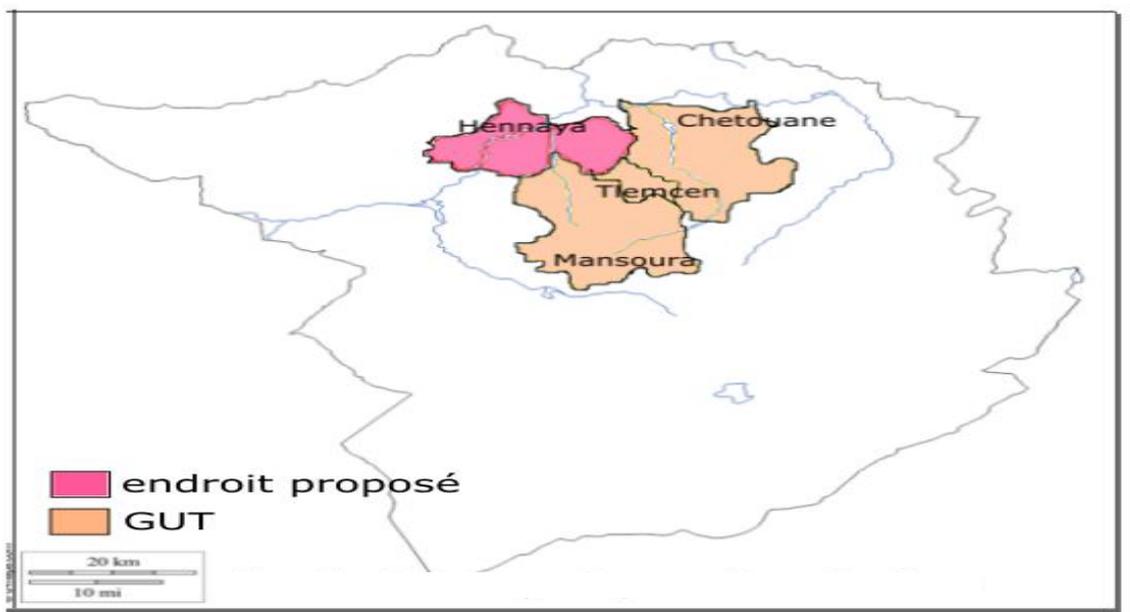


Figure 41 : Le site sélectionné par la méthode TOPSIS floue

Conclusion

L'évaluation d'un ensemble des sites candidats pour localiser une station d'épuration des eaux usées est au cœur de l'activité de traitement des eaux. Cette étape, étant d'une importance vitale permet aux parties prenantes de choisir le meilleur site parmi plusieurs sites possibles afin de diminuer l'impact environnemental de l'activité d'épuration d'un côté, et de minimiser les différents couts engendrés d'un autre côté.

Une technique de décision multicritères telles que la méthode TOPSIS floue constitue un meilleur choix pour la sélection de la meilleure alternative. L'objectif principal de ce chapitre était d'appliquer cette technique pour sélectionner le site approprié pour traiter les eaux usées du groupement urbain de la ville de Tlemcen. Quatre sites potentiels : Ain El Houtz, Ouzidane, Sidi Kanoun et Hennaya, et onze critères ont été définis par trois décideurs pour cet objectif. Les résultats ont révélé que le site de Hennaya est le meilleur choix. Cependant le site d'Ouzidane présente des résultats proches à celle obtenus pour le site existant d'Ain El Houtz et peut convenir dans le cas où le GUT nécessite une troisième station pour traiter ses eaux usées.

Chapitre IV

Adaptation de la
méthode AHP pour le
choix de la technique
d'épuration

Introduction

L'intérêt de ce chapitre est de choisir la technique de traitement le plus approprié à l'épuration des eaux usées pour la grande ville de Tlemcen. Comme, nous avons cité dans le chapitre 1, les techniques d'épuration des eaux usées sont nombreuses. Aussi, leurs performances sont liées à la qualité, à la charge admissible des eaux usées, et à la particularité de la réutilisation de l'eau après traitement. Pour donner une mesure de classification homogène par rapport à des caractéristiques de choix basées essentiellement sur des critères contradictoires, nous avons utilisé la méthode MCDM de classification AHP. Le point fort de cette dernière, c'est qu'elle est largement appliquée dans la littérature. Ce point fort de son utilisation, reflète sa simplicité de calcul et aussi sa profondeur d'utilisation de plusieurs niveaux de hiérarchie. Pour notre cas, le choix est porté sur cette méthode du fait que nous utilisons une hiérarchie avec des sous-critères. Entre autre, pour mettre à la disposition des décideurs, des données techniques et financières une approche multicritères qualitative et quantitative est nécessaire dont AHP fait partie.

Ce chapitre est organisé comme suit. Après avoir présenté un état de l'art sur les méthodes MCDM appliquée au choix de la technique de traitement, nous présentons le principe de la méthode AHP. Pour plus de détails, les points forts de justification de choix AHP et la technique arithmétique de AHP avec le cas de sous- critères seront expliquées dans la partie. Pour valider le choix de notre jugement, avant l'implémentation numérique de cette méthode MCDM, nous détaillons les paramètres de critères et des sous critères. Ces paramètres sont inspirés de la littérature et enrichie par des experts locaux chevronnés en hydraulique et l'assainissement (cités dans le chapitre 3). Cette critique analyse est présentées dans la partie problème de sélection de technologie d'épuration des eaux usées. En fin pour clôturer ce chapitre, une synthèse dotée de conclusion est exposée.

I. Etat de l'art

Dans la littérature, nous avons remarqué que les méthodes MCDM, sont de plus en plus utilisées pour une analyse des systèmes multicritères. Pour les problèmes de classification dédiée à la station d'épuration, nous présentons quelques travaux qui nous ont marqué par le rapprochement à notre thématique.

- Ilangkumaran et al. (2013) ont proposé le compromis de deux approches (FAHP & PROMETHEE) et (FAHP & GRA) pour l'évaluation du meilleur emplacement, l'approche FAHP est utilisée pour déterminer le poids des critères. Par la suite PROMETHEE et GRAY font le jugement pour le classement des sites candidats de l'épuration (66).
- Mehrdadi et al. (2007) ont utilisé l'approche (TOPSIS & Floue) pour la prise de décision multicritère. Pour la sélection d'une technologie de traitement des eaux usées, ils se sont servis de l'approche TOPSIS dans un environnement flou (67).
- Hu et al. (2016) ont appliqué la méthode de classification fuzzy-AHP. Leurs cas d'étude s'est porté sur le type de la technique de traitement des eaux usées du parc industriel qui se versent dans le bassin Tahu en Chine (68).

- Ibrahim M. Mehdi (2018) ont appliqué l'approche de classification AHP pour sélectionner l'usine de traitement des eaux usées la plus appropriée à différents niveaux de population. Pour ce fait, le jugement s'est fait sur sept alternatives (69).
- Dans le même contexte de choix de la technique de traitement des eaux usées, Srdjevic et al. (2012) se sont investie au choix de la méthode de traitement des eaux colorées issues de l'industrie. Une approche AHP robuste est utilisée en se basant sur sept critères (70).

II. Principe de la méthode AHP

Cette méthode est la plus ancienne parmi les méthodes MCDM. Elle est basée sur la classification des alternatifs par rapport à leurs degrés de comparaison sur des critères qualitatifs et quantitatifs. La sélection de cette méthode est due principalement à sa simplicité d'application, la facilité de compréhension pour résoudre des problèmes non structurés, la flexibilité et la capacité à rapprocher les critères quantitatifs et qualitatifs dans le même cadre décisionnel.

Pour un problème de comparaison compliqué, le principe de base de cette méthode consiste à déterminer d'abord les facteurs de comparaison dans une hiérarchie, puis les ai comparé deux à deux afin s'assurer une signification comparative (71). Dans la démarche de l'AHP, nous retrouvons les évaluations des alternatives pour obtenir l'importance de chaque critère afin de prendre la décision de choix. Ce principe est décomposé en quatre étapes :

- Décomposer le problème en une structure hiérarchique.
- Effectuer les combinaisons binaires.
- Définition des poids des critères pour chaque alternative.
- Synthétiser les priorités.

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

- Décomposer le problème en une structure hiérarchique

La première phase consiste à structurés le problème de décision dans une structure hiérarchique en identifiant (les critères, sous critères, alternatives)

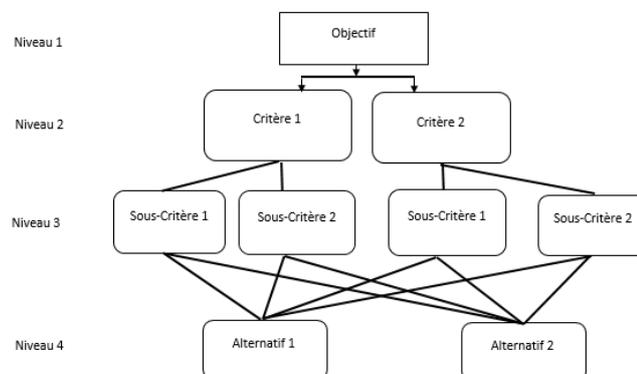


Figure 42 : un exemple de niveaux hiérarchiques

- Effectuer les combinaisons binaires

Configurer une matrice carrée ($k \times k$), formée par les évaluations des rapports, des poids, k étant le nombre d'éléments comparés. On obtient cette façon :

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

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

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{matrix}$$

- Définition des poids des critères pour chaque alternative

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

1. Calculer la somme par colonne
2. Diviser chaque valeur dans la colonne par la somme des valeurs.

Les poids est donné en calculant la moyenne de chacune des lignes et calculer la cohérence du résultat par :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

RI : Index de cohérence aléatoire

CI : indice de cohérence

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$$

- Synthétiser les priorités

Classer les poids par ordre croissant.

III. Problème de sélection de la technologie d'épuration des eaux usées

Pour le traitement des eaux d'assainissement urbaines, il existe principalement deux classes de traitement à savoir : intensives et extensives. Elles sont dotées de plusieurs éléments déterminants et spécifiques à chaque mode (voir le chapitre 1). Afin de réduire l'ensemble de modes à comparer et à classer pour en choisir le plus approprié, notre inspiration de savoir lequel de type est le plus utilisé mondialement nous a conduit vers le choix de quatre principaux alternatives : les lits bactériens et la boue activée (pour la classe intensive) ainsi le lagunage aéré et le lagunage naturel (pour la classe extensive).

Pour en savoir quel est la meilleure technique à mettre dans un site choisi, nous avons fait une classification des quatre alternatives proposées par rapport à plusieurs critères à caractères économiques, techniques, environnementaux et fonctionnels. Pour donner plus de crédibilité à notre étude, malgré les critères tirés de la littérature, nous avons comme même concerté trois experts en hydraulique et en assainissement. Ces derniers nous ont ajouté un autre critère celui de fonctionnement. Les évaluations d'experts sont notées par rapport 6 critères et 6 sous critères mentionnés ci-dessous.

Les paramètres (critères) entrants aux choix d'un procédé de traitements sont :

III.1. Caractéristiques des eaux usées (C1)

Les caractéristiques sont différentes de chaque zone par rapport aux nature des eaux usées qui se caractérisent essentiellement par :

III.1.1 Les charges polluantes (C1a)

Ce phénomène est lié à la concentration de DB05 et MES.

III.1.2 Débit journalier traité (C1b)

La consommation d'eau par habitant ce ; facteur est fondamental pour déterminer la taille de la STEP et la technique de traitement.

III.2. Performances techniques (C2)

C'est le rendement épuratoire d'élimination pour épurer l'eau usée.

III.3. Produit valorisé (C3)

Chaque technique de traitement à des produits valorisés ex : les produits de boues activées sont l'eau et la boue.

III.4. La gestion (C4)

Elle regroupe les deux sous critères suivants :

III.4.1 La gestion des personnes (C4a)

Elle représente le nombre des personnes qualifie.

III.4.2 La gestion de la STEP (C4b)

Elle représente le déroulement général de la gestion de STEP

III.5. Le site (C5)

Le site est l'emplacement de la future STEP, ce caractérisent généralement par l'ensemble des critères (critères de choix du site).

III.6. Les conditions économiques (C6)

III.6.1 Consommation électrique (C6a)

Ce critère est très élevé sortant dans la technique intensive.

III.6.2 Coûts d'exploitation (C6b)

Ce cout est exprimé par habitant et regroupe tous les couts (équipements, personnes, réalisation).

Afin de se permettre de passer à la comparaison, le tableau 23 présente l'évaluation en pourcentage de chaque alternatives par rapport aux critères et aux sous critères.

Tableau 23 : Comparaison entre les valeurs des critères de chaque alternative

		Boues activées	Lits bactériens	Lagunage aéré	Lagunage naturel
Caractéristiques des eaux usées	Les charges polluantes (m^3/j)	0.8	0.8	0.6	0.6
	Débit journaliers traité (m^3/j)	80	80	80	80
Performances techniques	%	95	90	98	97
Produit valorisé	Nombre de produits	2	2	3	3
La gestion	La gestion des personnes	15	20	8	6
	La gestion de la STEP %	20	30	90	95
Le site	Surface ($m^3/habitant$)	5	7.5	10	20
Les conditions économiques	Consommation électrique	80	90	25	5
	Coûts d'exploitation	90	95	25	5

IV. Expériences numériques

Pour appliquer la méthode AHP, 6 critères et 4 alternatives sont sélectionnées pour choisir la technique de traitement. Les critères cités en haut sont déterminés après prendre les avis des experts ayant une expérience dans le domaine d'épuration et après consulter la revue de la littérature.

Les alternatives sont les suivants : M1 : boues activées, M2 : lits bactériens, M3 : lagunage aéré, M4 : lagunage nature.

IV.1. Etape 1 : Décomposition du problème en une structure hiérarchique

La structure hiérarchique pour la meilleure technique est présentée selon cette configuration :

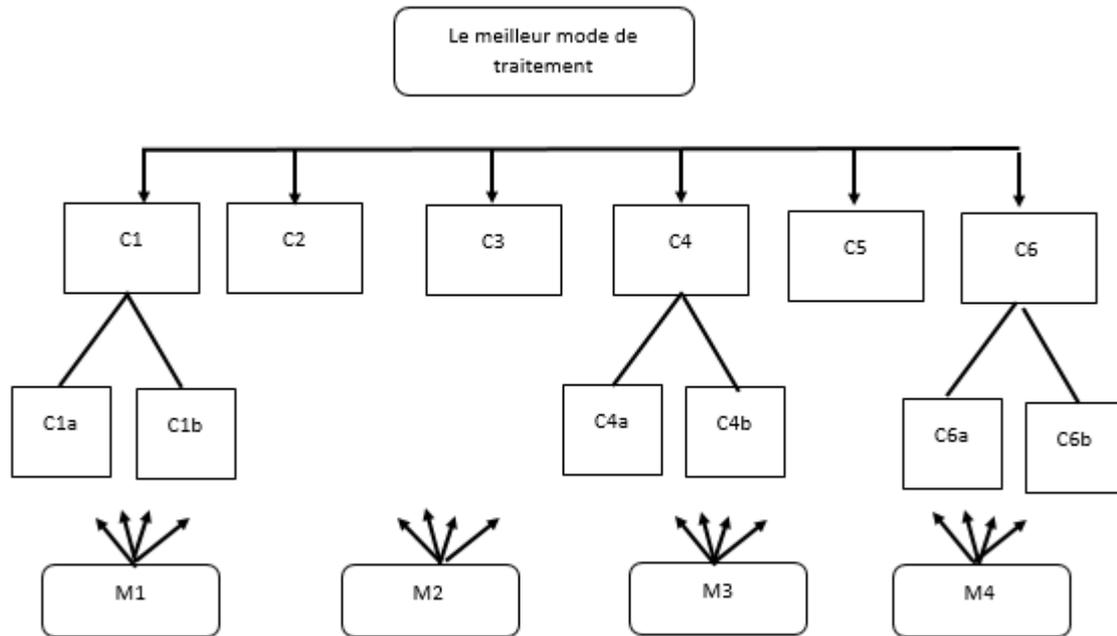


Figure 43 : Structure hiérarchique pour la sélection des alternatives pour les stations d'épuration

IV.2. Etape 2 : Effectuer les combinaisons binaires

Pour faire une comparaison par paire de chaque critère, un jugement de trois décideurs fait l'évaluation. Les valeurs de la matrice de comparaisons sont obtenues par la transformation des évaluations selon l'échelle de Saaty. Ensuite, les sommes des colonnes sont calculées et les valeurs dans les colonnes sont divisées par ces derniers.

Tableau 24 : Matrice de comparaisons

	C1a	C1b	C2	C3	C4a	C4b	C5	C6a	C6b
C1a	1	5	7	1/5	3	3	1/5	1/5	1/5
C1b	1/5	1	7	1/5	3	3	3	1/5	1/5
C2	1/7	1/7	1	1/3	7	7	3	3	1/3
C3	5	5	3	1	5	5	5	3	5
C4a	1/3	1/3	1/7	1/5	1	3	1/3	1/9	1/9
C4b	1/3	1/3	1/7	1/5	1/3	1	3	1/7	1/7
C5	5	1/3	1/3	1/5	3	1/3	1	1/5	3
C6a	5	5	1/3	1/3	9	5	5	1	9
C6b	5	5	1/3	1/5	9	7	1/3	1/9	1
Somme	22,01	22,14	19,29	2,87	40,33	34,33	20,87	7,97	18,99

Après la matrice de normalisation des critères et sous critères est présentés dans le tableau 25 :

Tableau 25 : Poids des critères

	C1a	C1b	C2	C3	C4a	C4b	C5	C6a	C6b	Poids
C1a	0,045	0,225	0,362	0,069	0,074	0,087	0,009	0,025	0,010	0,101
C1b	0,009	0,045	0,362	0,069	0,074	0,087	0,143	0,025	0,010	0,092
C2	0,006	0,006	0,051	0,116	0,173	0,203	0,143	0,376	0,017	0,121
C3	0,227	0,225	0,155	0,348	0,123	0,145	0,239	0,376	0,263	0,234
C4a	0,015	0,015	0,007	0,069	0,024	0,087	0,015	0,013	0,005	0,028
C4b	0,015	0,015	0,007	0,069	0,008	0,029	0,143	0,017	0,007	0,034
C5	0,227	0,015	0,017	0,069	0,074	0,009	0,047	0,025	0,158	0,071
C6a	0,227	0,225	0,017	0,116	0,223	0,145	0,239	0,125	0,470	0,199
C6b	0,227	0,225	0,017	0,069	0,223	0,203	0,015	0,013	0,052	0,116
Somme	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Pour vérifier la cohérence du résultat, l'AHP propose une mesure de validation de la fiabilité pour détecter les défauts des calculs et donne une crédibilité à l'évaluation des experts par le calcul du ratio (CR).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

RI: Index de cohérence aléatoire

CI: indice de cohérence

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$$

Si $CR \leq 0.1$, la matrice est cohérente

Sinon si $CR > 0.1$, les experts sont été invités à réviser leurs jugements.

Dans notre cas, la valeur de CR était inférieure à 0.1. En effet, puisque $CR = 0.03$ est inférieur à 0.1 alors le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Avec : $n = 12$ et λ_{max} et CI sont égaux respectivement à 12.22 et 0.02. Aussi comme $RI = 1.54$ alors :

$$CR = (0.02 / 1.54) = 0.01 < 0.1$$

Il est évident que puisque $CR = 0.01$ est inférieur à 0.1, le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Pour mieux voir les importances des critères et sous critères, les pourcentages présentés dans la figure 43, résumant d'une manière plus visible les résultats du tableau 25.

Selon les résultats de cette figure, les indicateurs les plus importants d'après les jugements des experts sont les indicateurs : de produits valorisés, les conditions économiques et la performance technique.

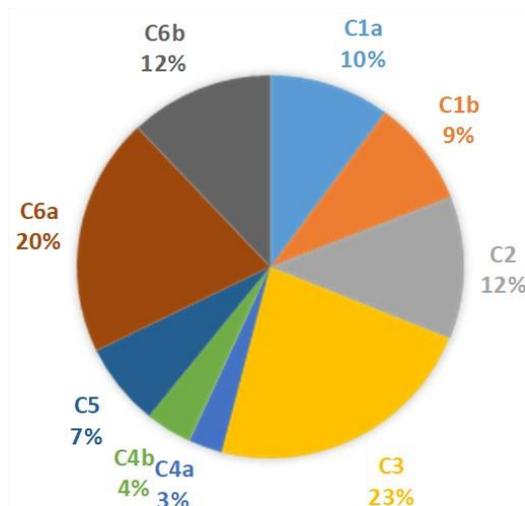


Figure 44 : Poids des critères

IV.3. Etape 3 : Définir les poids des critères pour chaque alternative

Chaque décideur donne une évaluation de comparaison entre les quatre alternatives par rapport à chaque critère. Les étapes de calculs sont les suivantes comme s'est indiqué sur le tableau 26:

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

Tableau 26 : le poids de critère pour chaque alternatif

	C1a	C1b	C2	C3	C4a	C4b	C5	C6a	C6b
M1	0,416	0,25	0,127	0,074	0,088	0,044	0,603	0,158	0,106
M2	0,416	0,25	0,039	0,080	0,226	0,090	0,248	0,464	0,073
M3	0,083	0,25	0,628	0,440	0,290	0,573	0,108	0,343	0,281
M4	0,083	0,25	0,204	0,404	0,393	0,291	0,039	0,033	0,538

IV.4. Etape 4 : Synthétiser les priorités

Une fois que les priorités locales pour tous les critères figurant dans la hiérarchie ont été déterminées, AHP calcule un score d'évaluation global attaché à chacune des solutions d'alternatives identifiées. Les résultats du plus grands poids donnent le meilleur jugement. Le tableau suivant donne la classification des jugements.

Tableau 27 : matrice de résultat

	C1a	C1b	C2	C3	C4a	C4b	C5	C6a	C6b	
M1	0,042	0,023	0,015	0,020	0,001	0,001	0,043	0,031	0,012	0,191
M2	0,042	0,023	0,004	0,053	0,002	0,003	0,017	0,092	0,008	0,247
M3	0,008	0,023	0,076	0,068	0,016	0,020	0,007	0,068	0,032	0,321
M4	0,008	0,0230	0,024	0,092	0,008	0,010	0,002	0,006	0,062	0,239

Chaque ligne correspond à une technique. Donc le choix de la meilleure technique se base sur les poids obtenus. Par conséquent, les techniques sont classés comme suit : technique 3, technique 4, technique 2 et technique 1.

Les résultats montrent que les décideurs favorisent le lagunage aéré parmi les quatre techniques de traitements. Ceci est dû à leur performance technique qui a atteint 98% par rapport aux autres. Entre autre les produits valorisés, ainsi que la simplicité de processus de gestion dans plus d'avantage à cette technique d'épuration.

Conclusion

L'approche multicritère AHP est utilisée pour l'évaluation et la sélection du technique de traitement à installer dans les stations d'épuration. Notre problème contient une hiérarchie de quatre niveaux de douze critères et sous-critères. Pour une évaluation de classification entre le quatre alternatifs, nous nous sommes basé sur le jugement des trois experts.

Les résultats de la méthode AHP, nous ont conduits vers le choix du type traitement celui du lagunage aéré. Les résultats ont montré que les dimensions économiques tiennent (32%), les produits valorisés (23%), la performance technique (12%) et les caractéristiques des eaux usées (19 %). Ces critères qui sont dû au choix des experts et de la littérature avaient une priorité non négociable, ce qui aide les décideurs à sélectionnes le technique de traitement.

Dans la partie suivante, nous présentons une analyse technique-économique relative à l'enrichissement des résultats obtenus dans le chapitre 4 et 5. Des visions logistiques de l'ordre tactiques et stratégique seront discutées.

Chapitre V

Présentation des
dimensions techniques
et économiques de
réseau d'épuration des
eaux usées des
agglomérations de
Tlemcen

Introduction

En vue de choisir le plus favorable site pour localiser une station d'épuration ainsi que le mode de traitement, dans les deux derniers chapitres, nous avons utilisé les méthodes de classification AHP et Fuzzy TOPSIS. Les résultats de classification nous ont orientés vers la localisation de la STEP au site de Hennaya qui est dotée par un mode de traitement de lagunage aéré. Cette amélioration du réseau d'assainissement et d'épuration des eaux usées de la grande ville de Tlemcen, offrira l'avantage de raccordement d'autres zones potentielles à la STEP de Hennaya où le niveau d'épuration atteindra 100%. A une échelle stratégique et pour un bon dimensionnement de la structure du réseau jusqu'à l'horizon de 2048 (qui est au moyen de l'âge relatif au vieillissement d'une STEP), nous présentons dans ce qui suit une analyse systématique liée à la taille et le mode de fonction du réseau. Par rapport à la croissance de la population de Tlemcen jusqu'à l'an 2048, nombreux facteurs de dimensionnement seront calculés et expliqués. Entre autre, pour donner à notre étude une opportunité d'analyse logistique, plusieurs scénarios seront présentés. C'est-à-dire ; bien que les subventions des autorités existent à quel prix le citoyen et l'agriculteur doivent s'impliquer financièrement pour assurer un service de fonctionnement à long terme.

I. Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à base de traitement par le lagunage aéré

Le principe du lagunage aéré est la photosynthèse qui est fourni par l'oxygène. Cette O_2 est mélangée avec des produits artificiels où la croissance des bactéries sera accélérée par les aérateurs d'air). Le principe de l'épuration de l'eau se manifeste au niveau de trois bassins à savoir le bassin facultatif, le bassin d'aération et le bassin d'infection ou décantation.

Les dimensions de chaque bassin dépendent de la population qui alimente cette station, par rapport aux normes des traitements, l'unité de mesure est à base d'indice équivalent habitant (EH). La surface du bassin est liée au facteur 0.3 m^2 par habitant. Ce pendant la hauteur est au voisinage de 1 mètre. La figure 44 explique les normes de conception d'une STEP à base du traitement par lagunage aéré.

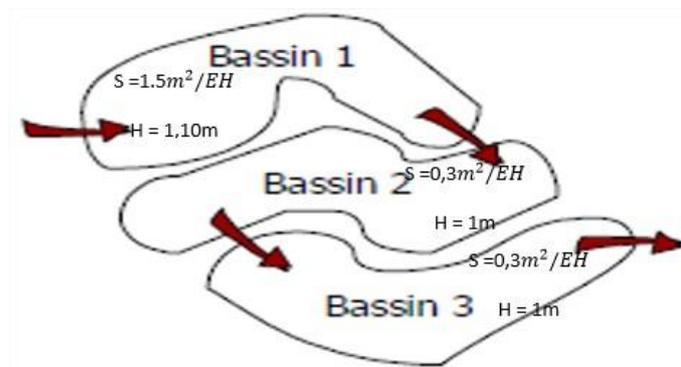


Figure 45 : les bassins de lagunage

I.1. Bassin facultatif

Ce bassin est utilisé pour accélérer la dégradation des matières organiques en présence des bactéries dans un milieu aéré en oxygène. La durée de traitement est de 3 jours. Principalement, deux types de bactérie se développent en fonction de la profondeur. On distingue la bactérie aérobie et la bactérie anaérobie.

- Les bactéries aérobies transforment la matière organique flottante en présence d'oxygène dissous. La charge organique dissoute se décompose en matières minérales (nutriments) et en gaz de monoxyde de carbone CO₂.
- Les bactériens anaérobies qui sont essentiellement méthanogènes (formation de méthane) réalisent la transformation de la matière organique au niveau des sédiments.

I.2. Bassin d'aération

Ce bassin permet d'utiliser aussi la lumière du jour comme une source d'énergie. C'est la base du processus de photosynthèse. Comme le premier bassin, les aérateurs sont les principaux producteurs d'oxygène. En général, la durée de traitement est de l'ordre d'une semaine.

I.3. Bassin d'infection ou décantation

La qualité d'épuration est améliorée dans le troisième bassin. En effet, les bactéries anaérobies trouvent plus de temps à dégrader les sédiments. En générale, l'eau reste 15 jours pour être rejeté après dans un milieu récepteur.

II. Dimensionnement de la nouvelle station d'épuration de Hennaya

Pour connaître le dimensionnement de la nouvelle STEP. Nous avons évalué la croissance de la population des zones de population qui alimentent la STEP de Hennaya. Les données techniques liées au fonctionnement actuel de la STEP de Hennaya sont présentées dans le tableau 28. Cette station desserve les zones de population citée dans le tableau 30.

Tableau 28 : Estimation des caractéristiques de la nouvelle STEP

Données de base	Unité	Valeur
Population	hab	120264 (actuelle)
Population de future	hab	275011 (à l'horizon 2048)
Débit journalier	m ³ /j	111242.24 (actuel)
Eau épurée	m ³ /j	88993.792 (actuelle)
Débit moyen horaire	m ³ /h	4635.09 (actuel)
Débits de pointe en temps sec	m ³ /h	101.88 (actuel)
Débit diurne	m ³ /j	6952.64 (actuel)
Charge en DBO5	kg/j	65547.26 (actuelle)
Charge en MES	kg/j	37455.26 (actuelle)
Charge en DCO	kg/j	65547.26 (actuelle)
Quantité de la boue	kg/j	40829.08 (actuelle)

II.1. Etude préalable

Avant de connaître l'investissement de la réalisation, il faut tout d'abord faire des estimations sur la population, la surface et le débit des eaux pour déterminer les charges (fixe et variable).

II.1.1. Estimation de la population

Comme nous avons indiqué dans le chapitre 2, la STEP d'Ain El Houtz reçoit l'eau usée des trois zones (Tlemcen ville, partie Est de Chetouane et la partie ouest de Mansourah). Pour voir l'évolution des zones non servies par la STEP d'Ain El Houtz et susceptibles d'être servie par la nouvelle STEP de Hennaya, la figure 45 montre l'évolution de la population des trois communes susceptibles d'être servie de l'an 2008 jusqu'à 2048.

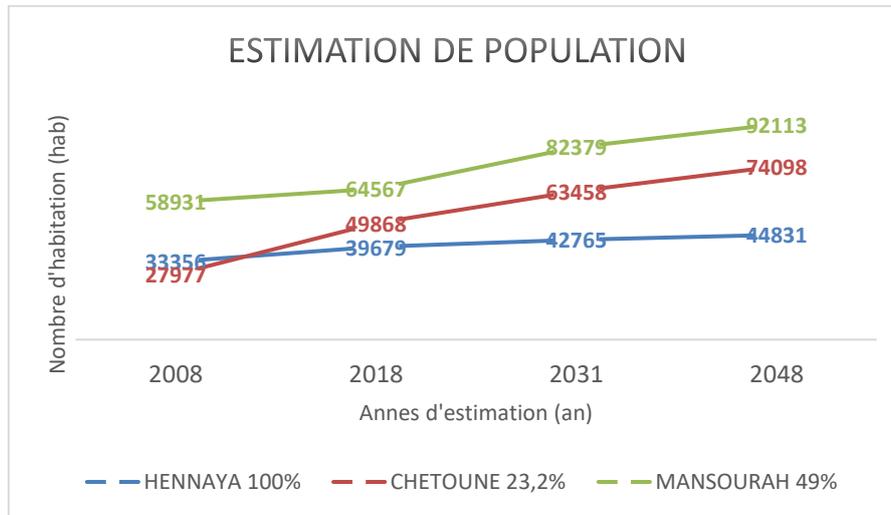


Figure 46 : Estimation de la population

Puisque la durée de vie d'un STEP est 30 ans, nous observons que la population actuelle de la commune de Hennaya est 33356 habitants avec un taux de croissance égal à 0.9 % (en bleu). Pour une partie de la commune de Chetouane, la population augmente à 74098 avec un taux de croissance égal à 3.3% (en orange). Une estimation selon les données (en gris) de l'évolution d'une partie de population de Mansourah donnera une population de 92113 en 2048.

II.1.2. Estimation de la Surface

Sans compter l'espace de réception, la surface totale est la somme des trois superficies des bassins en respectant la norme de meure mentionnée sur le tableau 29.

Tableau 29 : Estimation de la surface

Bassins	Surface (m^2/EH)
1	1.5
2	0.3
3	0.3
Total	$348347.26 = 34.83 H$

De même les estimations des débits d'eau usée et d'eau épurée actuelle et de l'horizon 2048, nous indiquent les suivants chiffres :

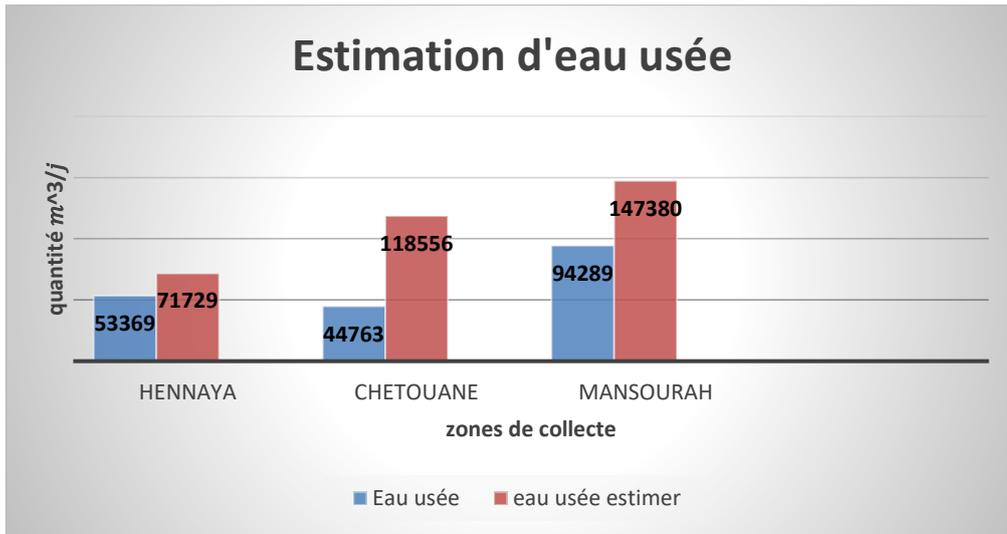


Figure 47 : Estimation des eaux usées

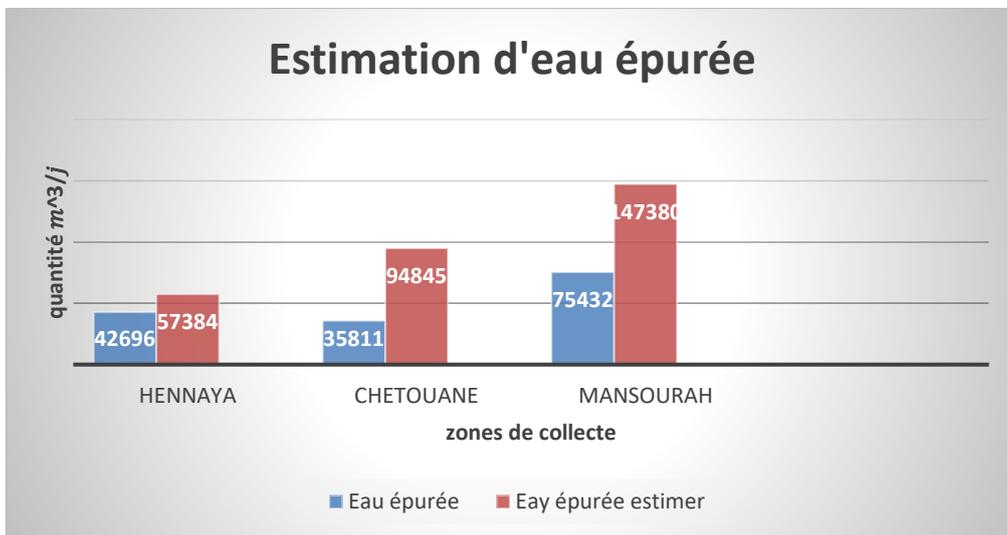


Figure 48 : Estimation des eaux épurées

Ces deux histogrammes représentent la quantité d'eau usée et épurée pour les trois zones, l'observation sur l'histogramme 1 montre qu'il y a une augmentation d'eau usée dans les trois communes ; cela est dû au nombre de populations ce qui influence directement sur la quantité. Pour le deuxième histogramme l'eau épurée sera moins par rapport à la valeur d'eau usée (presque 20 %).

II.1.3. Calcul de coûts de charge

a. Coût de la canalisation

III.1.1 Le réseau Séparatif

Le réseau séparatif distingue les eaux usées et pluviales dans deux collecteurs séparés. Pour éviter le passage by-pass, qui n'accepterait donc que les eaux usées des habitations, notre proposition consiste à faire un nouveau réseau pour les eaux usées non regroupés par la STEP d'Ain EL Houtz.

Tableau 30 : Réseau Séparatif - partie Est accordé avec La STEP de Hennaya

Partie est	Diamètre (mm)	Population (Hab)	L'eau usée (m^3/j)	L'eau épurée (m^3/j)
Saf Saf (Chetouane)	400	454	726.4	581.12
Ain Defla (Chetouane)	800	835	1336	1068.8
Ouzidane (Chetouane)	1500	11665	18664	14931.2
Sidi Yahia (Chetouane)	1500	15023	24036.8	19229.44

Tableau 31 : Réseau Séparatif - partie Centre accordé avec La STEP de Hennaya

Partie centre	Diamètre (mm)	Population	L'eau usée	L'eau épurée
Boudjlida (Mansoura)	1250	9365	14984	11987.2

Tableau 32 : Réseau Séparatif - partie Ouest accordé avec la STEP de Hennaya

Partie ouest	Diamètre (mm)	Population	L'eau usée	L'eau épurée
Hennaya Ouest	1500	10350	16560	13248
Hennaya	2000	23006	36809.6	29447.68
Ain El Hadjar	1500	9290	14544	11635.2
Beni Boublene (Mansoura)	1250	8550	13360	10688
Cité Kharouba	1250	715	11384	9107.2

Puisque les données des couts de canalisation de chaque diamètre sont indisponibles. Nous prenons le diamètre de collecteur principal qui regroupe les trois parties égale à 2000 mm, les distances de chaque partie sont :

Tableau 33 : Distances entre les collecteurs principaux et la nouvelle STEP

Points des canaux principaux	Distances (Km)
point d'est	5.04
Point de centre	4.88
Point d'Ouest	12.29
Total	22.21

Aussi, selon les données des experts, le cout moyen d'un kilomètre de canalisation DA/Km est égal 6250000 DA. Pour un kilomètre linéaire les coûts des canalisations sont :

Remarque

Il peut qu'il existe des variations de prix soit pour les travaux de canalisation soit pour l'exploitation, en fonction par exemple de la nature du sol ; de la localisation géographique du site. Donc, avant de mener les travaux, il faut un bureau d'étude spécialisé qui donne ces couts.

Tableau 34 : Cout total de canalisation

Les canaux	Couts (DA)
Est	31500000
Centre	30500000
Ouest	76812500
Total	138812500

b. Coûts de l'installation

Il est difficile d'estimer le coût d'installation, car il dépend à certains critères (type de terrain). D'après les données des experts, le cout d'une installation de station d'épuration par DA/EH est 2000 DA. Le prix présenté ne tient pas en compte de l'achat de terrain. Par conséquent, par rapport à la population, le prix sera 550022000DA. L'installation permet de servir au totale 120264 habitants et qui se double vers l'horizon 2048.

c. Coût de l'énergie

Sachant que le cout est estimé à 620 DA/kw/h alors le cout annuelle sera 52972800 DA.

d. Coût de la main d'œuvre

Pour un salaire manuel d'un ouvrier est de 40000 DA, et compte tenu que le nombre de main d'œuvre est 7 personnes par STEP partie technique et 4 personnes pour la partie administrative, alors le cout de la main d'œuvre annuel sera 3 360 000,00 DA.

Après les estimations, le tableau ci-dessous indique les différentes charges. Il combine tous les charges de réalisation d'une STEP à l'horizon de 30 ans pour une filière de lagunage aéré.

Tableau 35 : Les charges de réalisation d'une STEP à l'horizon de 30 ans pour une filière de lagunage aéré

Canalisation « fixe »	Installation « fixe »	Energie « variable »	Main d'œuvre « variable »	Total (DA)
138812500	550022000	540000000	300800000	1529634500

e. Les subventions envisageables

Notre proposition est de faire des subventions qui sont accordées par les citoyens et les autorités pour récupérer les charges de réalisation et assurées la continuité de la STEP.

Mais le taux de la subvention est différent pour chaque intervenant et n'est pas fixé dans le temps. Pour le moment, la subvention de l'autorité est de 100%. Mais ce taux peut être modifié au futur.

Le tableau suivant présente les scénarios des subventions.

Tableau 36 : Les subventions de l'autorité et des citoyens

Scénarios	Subvention de l'autorité (DA/mois)	Subvention des citoyens (DA/mois)
100% - 0%	3698498.6	0
75%- 25%	2773873.95	924624/65
25%- 75%	924624.65	1338648.657
0% - 100%	0	3698498.6

Remarque

- La STEP à installer sert une zone à un nombre d'habitation de 275011 habitants en 2048.
- Le cout des charges mensuelles liées à l'installation et le fonctionnement de la STEP, est présenté dans le tableau 36.

Pour intervenir les bénéficiaires de la station, nous fixons la tarification de la boue à 5000 DA/Tonne et de l'eau à 1 DA/m³. Les trois scénarios représentent la subvention de l'autorité et les citoyens.

- **Scénario 1** [La subvention de 100% par l'autorité et 0% par citoyens]

On considère que le payement est à la responsabilité de l'ONA et l'estimation du revenu est 3282248.41 DA/mois, le déficit sera donc 416249.44 DA /mois. Alors ce scénario est refusé.

- **Scénario 2** [75% par l'autorité – 25% par citoyens]

Dans ce scénario, l'ONA paie 2773873.95 DA et les citoyens 924624.65 DA. Si nous voulons connaitre la part de chaque personne, nous trouvons une tarification de 7.68 DA/mois avec un déficit de 5083374.46 DA.

- **Scénario 3** [25% par citoyens- 75% par l'autorité]

Ce scénario monte que l'ONA doit payer une somme de 924624.65 DA et chaque citoyen une somme de 11.13 DA, le bénéfice sera 2357623.76 DA/mois.

- **Scénario 4** [0% par l'autorité – 100% par citoyens]

Les citoyens prendront en charge tous les frais de l'investissement, Donc la tarification deviendra 30 DA par mois et par citoyen.

Remarque

Si nous avons pris que le nombre moyen d'une famille est 5 personnes, la tarification dans le scénario 3 sera 55.65 DA et pour le scénario 4 sera 150DA par mois pour chaque maison.

f. Valorisation des boues

Les quantités des boues de la STEP sont en augmentation (presque 34078.2 T/an en 2048) grâce à la croissance démographique des trois communes.

La valorisation des boues dans le domaine d'agriculture sera la meilleure voie sur le plan économique, pour améliorer les terrains agricoles de superficie totale d'environ 1539 H.

g. Valorisation des eaux

Mettre en valeur les eaux sortant de la STEP reste encore une démarche innovante à développer. Cette réutilisation dans le domaine agricole s'inscrit dans la logique d'économie circulaire. Il s'agit donc de décrire une méthode de distribution qui permettra d'irriguer les terres agricoles dans un cadre encadré et acceptable.

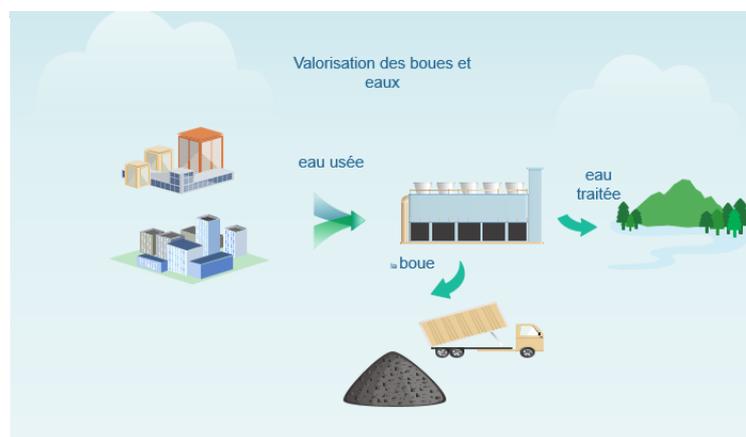


Figure 49 : Valorisation des boues et des eaux

h. Surface irriguée

Généralement, on trouve les agrumes (olives, oranges...) dans la plupart des terres agricoles de Hennaya. Mais l'orange occupe une place non négligeable de la totalité de zone, en optant le de l'orange comme un type des arbres pour l'irrigation. La figure 49 montre la carte d'irrigation de la zone agricole de Hennaya.



Figure 50 : La zone d'irrigation

i. Evaluation des besoins en eau des oranges

Ce secteur est un grand consommateur d'eau. Le besoin d'orange en eau dépend de plusieurs facteurs :

- L'âge d'arbre
- Conditions climatiques
- Nature de sol
- Mode d'irrigation.

Avec un besoin compris entre 6 L et 7 L par heure, la période d'irrigation s'étale généralement de mars à octobre. Pour déterminer la surface à irriguer, on doit tout d'abord connaître le nombre des arbres, et prendre une distance de 4 m entre chaque deux arbres.

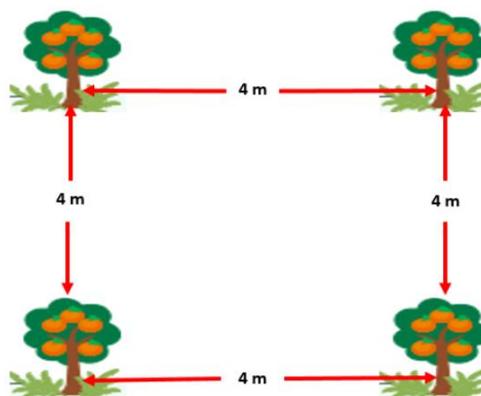


Figure 51 : la distance entre deux arbres d'orange

Le tableau 37 représente les estimations des nombres d'arbre qui seront irrigués et l'estimation de la surface totale. Le premier cas où le nombre d'habitation est 120564 Hab les estimations sont 1854037 arbres d'orange et 741.61 H dans les premières années de réalisation avec un

pourcentage de 48% de superficie totale. Après 30 ans, les évolutions des estimations seront 62418554 arbres et 2496.74 H avec un pourcentage de 100% de surface totale.

Tableau 37 : Estimation des arbres et de la surface

Nombre d'habitation	Qt = eau épurée (L/J)	Qa = besoin d'eau (L/J)	Nombre d'arbre	Surface (H)
120564	88993729	48	1854037	741.61
275011	299609	48	6241854	2496.74

III. Vision stratégique de réseau de station d'épuration de la région Tlemcen Remchi, Beni Mester et Ain Fezza.

Après la première phase d'étude de ce chapitre qui consiste à déterminer le cout de réalisation d'une STEP de lagunage aéré, et à estimer la surface irriguer de Hennaya, on va établir dans cette partie un modèle mathématique sous le logiciel Lingo pour affecter les points de sources des eaux usées aux différents STEPS et des STEPS aux zones agricoles pour le réseau de Tlemcen Remchi, Beni Mester et Ain Fezza.

III.1. Présentation du problème

Si la STEP de Hennaya est fonctionné seulement pour le GUT, dans cette partie on va proposer plusieurs STEPS pour la Wilaya de Tlemcen et voir quel sont les zones affectées aux STEPS localisés. En utilisant la carte de zone de Tlemcen à partir de Google Earth, les données des zones de population sont groupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 38 : Les coordonnées de zones affectées

Zones	X (m)	Y (m)	H (m)
Tlemcen	34,8941667	1,31861111	721
Hennaya	34,9433333	1,37194444	430
Zenata	34,9855556	1,45944444	239
Ain youcef	35,0975	1,37638889	267
Bensekrane	35,0697222	1,23361111	278
Sidi Abdeli	35,0405556	1,13722222	454
El fhouf	35,1194444	1,29611111	209
7 chyoukh	35,1611111	1,36222222	490
souk elkhmis	35,1694444	1,55777778	316
Remchi	35,0580556	1,42638889	221
Ouzidan	34,9444444	1,28972222	507
Chetouane	34,9175	1,29972222	590
Ouled Riyah	34,8783333	1,49666667	318
Bordj Arima	35,0825	1,55527778	298
Beni Mester	34,8652778	1,435	628
Sabra	34,8283333	1,52805556	606
Mansoura	34,8669444	1,35222222	815
Ain Fezza	34,8788889	1,23805556	849

De même pour les sites d'installation, les sites favorables sont choisis à base d'un pointage linéaire du réseau des cours d'eaux d'Oued Sekak et Oued Tefna. Afin de favoriser le phénomène de gravitation, les coordonnées géographiques par hauteur sont les suivantes :

Tableau 39 : Les coordonnées des sites candidats

Sites	X (m)	Y (m)	H (m)
1	35,0552778	1,34472222	171
2	35,0636111	1,35361111	164
3	35,0791667	1,36694444	144
4	35,0758333	1,38916667	133
5	35,0766667	1,40888889	133
6	35,0775	1,44944444	103
7	35,0586111	1,47944444	98
8	35,0430556	1,49861111	124
9	35,0244444	1,52555556	150
10	35,0163889	1,54361111	142
11	35,0105556	1,57777778	177
12	35,0183333	1,54027778	145
13	34,9988889	1,57611111	212
14	34,9691667	1,585	229
15	34,9397222	1,59972222	230
16	34,9975	1,49444444	192
17	34,9677778	1,46444444	85
18	34,9583333	1,44166667	322
19	35,0297222	1,34138889	254
20	34,9941667	1,33361111	311
21	34,9547222	1,33166667	357
22	34,9605556	1,32027778	376
23	34,9313889	1,2925	546
24	35,1077778	1,30888889	180
25	35,0827778	1,24861111	234
26	35,1061111	1,4575	90
27	35,0838889	1,17055556	344
28	35,0788889	1,20833333	296
29	35,0925	1,105	391
30	34.93	1.33	715
31	34.97	1.32	258

Pour plus de visibilité, la carte du réseau est schématisée sur la figure 51 :

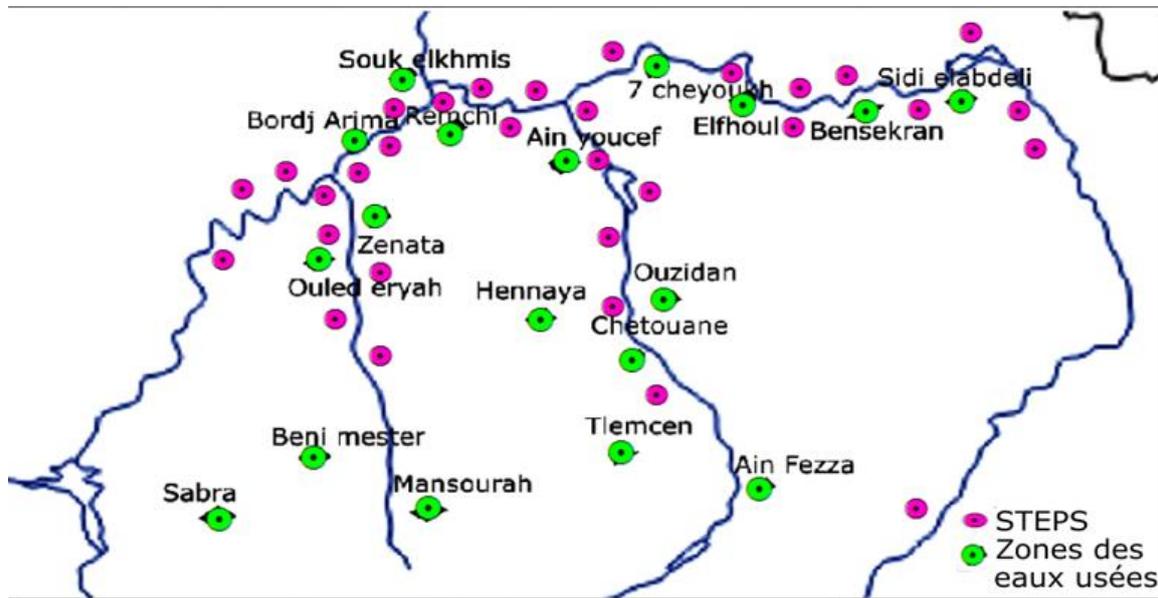


Figure 52 : Les STEPS proposées sur une carte géographique

III.2. La formulation mathématique du modèle

III.2.1. Les paramètres

- Les indices

i : indice de zone.

j : indice de STEP.

k : indice d'une zone irriguée.

Dis1 (i, j) : la distance entre la zone et la STEP.

Dis2 (j, k) : la distance entre la STEP et la zone irriguée.

H1 : la hauteur de la zone i .

H2 : la hauteur de site candidat j .

H3 : la hauteur de zone agricole k .

- Les variables de décision

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{si la STEP est localisée au site } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$Y_{ij}^1 = \begin{cases} 1 & \text{si la zone } i \text{ est affectée au site } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$Y_{ij}^2 = \begin{cases} 1 & \text{si la STEP } j \text{ est affectée au site } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

III.2.2. La fonction objective

$$\text{Min} = \sum_i \sum_j Dis_{ij}^1 * Y_{ij}^1 + \sum_j \sum_k Dis_{jk}^2 * Y_{jk}^2 \quad (1)$$

La fonction objective représente a pour but dédié le décideur sur le choix optimal du réseau assainissement-épuration-irrigation par rapport aux couts de raccordement. Elle minimise la somme des distances (i) et (ii) : tels que (i) sont les distances globales entre les zones de sources des eaux usées et les stations d'épuration et (ii) les distances globales entre les stations d'épuration et les terres agricoles.

Pour envisager l'effet d'écoulement de fluide par gravitation, les contraintes (2) et (3) vérifient cet impact de hauteur entre i (GUT), j (STEP), k (zones agricoles).

$$(H_1 - H_2) * Y_{ij}^1 \geq 50 * Y_{ij}^1 \quad (2)$$

$$(H_3 - H_2) * Y_{jk}^2 \geq 50 * Y_{jk}^2 \quad (3)$$

D'un point de vue stratégique la contrainte (4) signifie le nombre de STEP à installer, les contraintes (5) et (6) vérifient respectivement : l'unicité d'affecter i (GUT) et à une seule j STEP j ainsi que l'unicité d'affecter une zone agricole k à une seule STEP j. les contraintes (7) et (8) complètent l'affectation à l'installation par le faite qu'il faut localiser puis affecter. Par la suite, les définitions (9), (10) et (11) représentent la nature des variables de décisions proposées dans le modèle.

$$\sum_j X_j \geq n \quad (4)$$

$$\sum_j Y_{ij}^1 = 1, \forall i \quad (5)$$

$$\sum_j Y_{jk}^2 = 1, \forall k \quad (6)$$

$$Y_{ij}^1 \leq X_j, \forall i, j \quad (7)$$

$$Y_{jk}^2 \leq X_j, \forall j, k \quad (8)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \forall j \quad (9)$$

$$Y_{ij}^1 \in \{0,1\}, \forall i, j \quad (10)$$

$$Y_{jk}^2 \in \{0,1\}, \forall j, k \quad (11)$$

III.3. Interprétation des résultats

Afin de valider notre étude significativement, nous avons proposé deux scénarios à savoir :

- Si nous décidons de localiser deux installations qui sert le réseau Tlemcen, Remchi, Hennaya, Ain fezza quel est le meilleur choix ? Cette étude est présentée dans la partie ci-dessous (n=2).
- Si nous décidons de localiser trois installations qui sert le réseau Tlemcen, Remchi, Hennaya, Ain Fezza quel est le meilleur choix ? Cette étude est présentée dans la partie III.3.2 (n=3).

III.3.1 Résultat de la localisation des STEPS

1^{er} cas : installation de deux STEP

En implémentant le modèle proposé sur le solver Lingo, le choix des deux stations est présenté sur la figure 53. Nous remarquons que le choix de la STEP de Hennaya doit décaler vers une station proche de Remchi (montrer en jaune sur la figure 53 X=35.07, Y=1.38 et H=133)

```
Global optimal solution found.
Objective value:                4.601307
Extended solver steps:          0
Total solver iterations:        156
```

Figure 53 : La valeur de la fonction objectif sous Lingo

Nous supposons qu'il n'y a pas des stations d'épuration dans la zone étudié, d'où nous cherchons, l'endroit adéquat pour localiser deux stations d'épuration et leurs affectations.

Après le calcul, les deux emplacements les plus adéquats sont indiqués sur la carte avec les zones affectées et les zones irriguées.

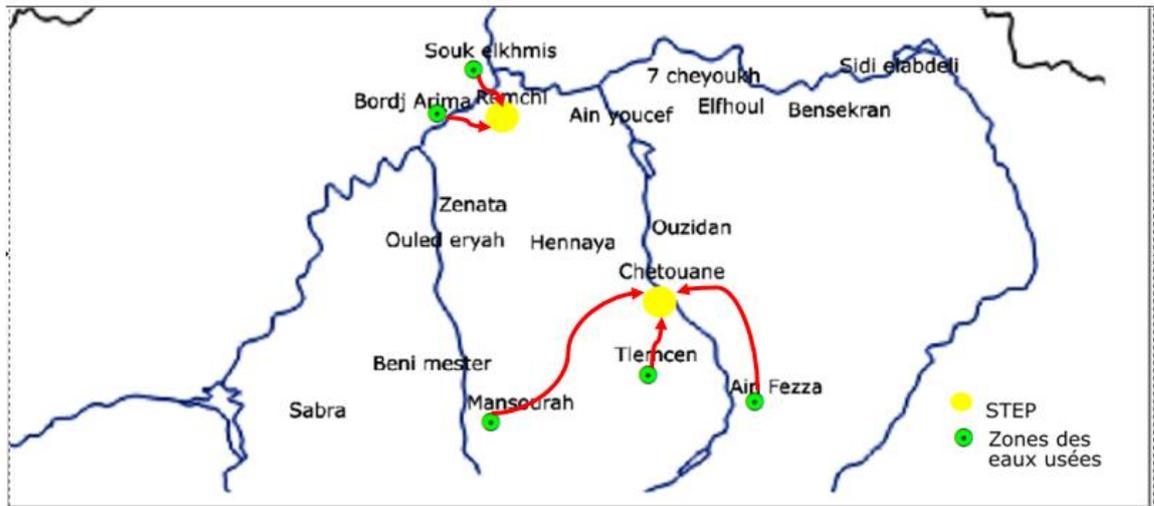


Figure 54 : Les affectations des zones aux STEPS

Les STEPS localisées sont la STEP de Remchi et la STEP d'Ain El Houtz. Les communes Tlemcen, Mansourah et Ain Fezza sont affectées aux STEP d'Ain Elhoutz qui se situé à Chetouane, puisque les hauteurs des trois zones sont supérieures à Chetouane par contre nous avons supprimées le zone d'Ain Fezza (les données de distance ne sont pas disponibles, on peut estimer la distance entre deux communes mais seulement la distance linéaire qui ne nous aidera

pas pour estimer le cout de canalisation). La distance peut être minimale ou doublée par rapport à la distance réelle. Nous basons dans ce cas sur la connaissance de la topographie de la région.

Ainsi, Mansourah et Tlemcen sont affectés aux Ain Elhoutz et par la suite la STEP localisée irrigue les terres agricoles d'Hennaya. De même Borj Arima et Souk Khemis sont affectés à Remchi.

- 2ème cas : installation de trois STEP

Pour le deuxième scénario, nous supposons que : la nouvelle STEP est localisée plus la STEP d'Ain El Houtz. En fixant $X_j = 3$, les zones de collecte des eaux usées non raccordées seront affectées à la nouvelle STEP de coordonnées (35,07 ; 1,40 ; 133) comme le montre la figure 54

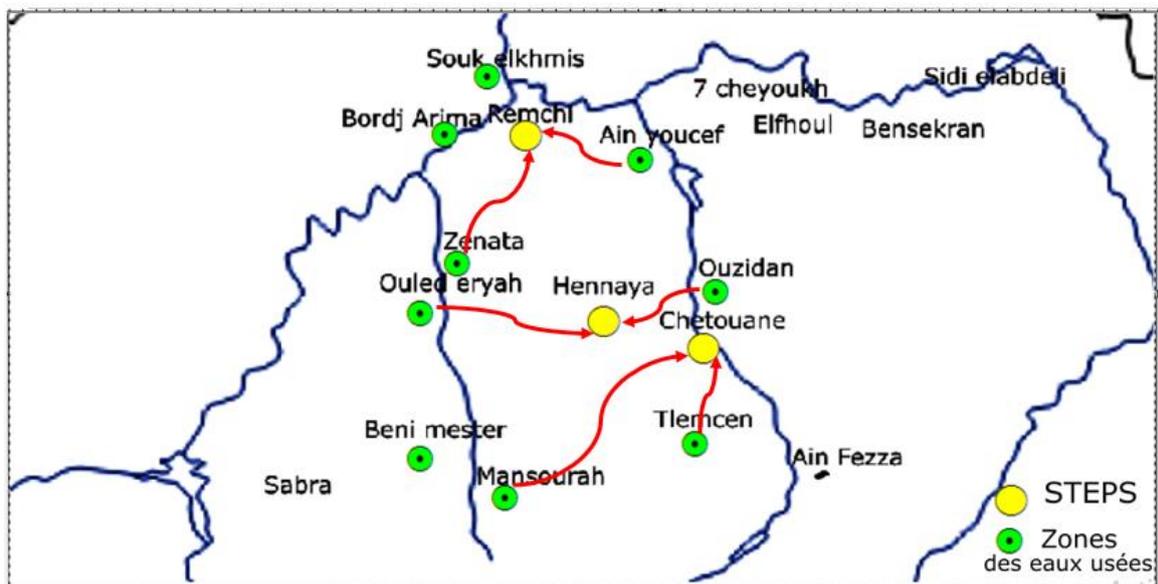


Figure 55 : Les affectations des zones aux sites et des sites aux zones agricoles

III.4. Évaluation : coûts et indicateurs d'installations

En prenant le premier cas ($n=2$), nous avons constaté que le site de Remchi est le plus adéquat pour la nouvelle station, Les indicateurs de mesure liée à d'installation sont les suivants :

Tableau 40 : Les indicateurs de mesure liée à d'installation

	unité	Valeur
Population	hab	69 920
Eaux usées	m^3/j	89409.76
Eaux épurées	m^3/j	71527.8
Cout de canalisation	DA	93750000
Cout d'installation	DA	139840000

Comme le montre le tableau 40, la population actuelle affectée à la STEP de Remchi est de 69 920 habitants. Ce chiffre permet de récupérer près de 71527.8 m^3/J et 23737.52 tonne de boue.

Conclusion

Après les estimations faites dans la première partie de ce chapitre, nous avons montré comment nous pouvons éviter les déficits avec des subventions des citoyens et d'autorité et en même temps comment pouvons-nous bénéficier des eaux usées à l'irrigation des oranges. Dans la deuxième partie, nous avons optimisé à l'aide d'un modèle mathématique la localisation de plusieurs stations d'épuration, l'affectation des zones de population à ces stations, ainsi que l'affectation des eaux traitées de chaque station à un ensemble des zones agricoles.

Conclusion et perspectives

Ce travail consiste à étudier conjointement la robustesse des choix de site de station et de technique de traitement relatif aux eaux usées urbaines. Si la conception des stations d'épurations STEP se classent parmi les problèmes de localisation allocation des entités indésirables, leurs importance est primordiale pour l'environnement et l'économie circulaire.

Après avoir présenté des définitions générales sur les stations d'épurations en termes de type, technique et mode de fonctionnement, nous nous sommes intéressés à revoir la conception du réseau urbain de la grande ville de Tlemcen.

Dans une première étape, nous avons utilisé l'approche de classification TOPSIS dans un environnement flou pour connaître l'emplacement adéquat à l'implantation d'une autre station d'épuration qui sert la zone de Tlemcen non raccordées à la STEP d'Ain El Houtz. Les sites ont été jugés en se basant sur des critères tirés de la littérature et enrichis par des experts. Comme résultat, notre choix s'est porté sur le site de Hennaya.

Par la suite, une autre approche MCDM est utilisée afin de juger la technologie de traitement la plus favorable à utiliser au niveau du site de Hennaya. En se basant sur 6 critères et 6 sous critères, l'approche AHP a jugé que la technique de lagunage aéré est le plus favorable. En effet, la consommation d'énergie, la disponibilité de l'espace, la simplicité de fonctionnement ont favorisé le lagunage aéré.

Pour donner à notre étude une approche logistique et économique, des interprétations sur l'effet de l'augmentation de la population par rapport aux quantités produites de valeur sont présentées. Pour un usage à caractère 100% agricole, nous avons estimé la surface en arbre fruitier en hectare qui peut être irriguée. Aussi, la quantité de la boue est évaluée.

Par ailleurs, compte tenu que les STEP n'ont pas de ressources financières mis à part les autorités en grande majorité, nous avons enrichi notre étude par des scénarios de financement de la population et les clients finaux à savoir les fermes (acheteur de la boue et utilisateur de l'eau). Cela permettra certainement, de soulever les crises de financements opérationnels liées à la maintenance et le fonctionnement.

Enfin, pour une vision stratégique, le problème de localisation des STEP et les affectations en amont des zones peuplés (habitants) et en aval des fermes est investigué sur la grande zone de la wilaya de Tlemcen. Comme remarque importante, nos chiffres d'évaluation sont générés jusqu'à l'horizon 2048 à base que la durée d'une STEP est de 30 ans.

- Références bibliographiques –

1. Dekhil, S. W. Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA. 2012.
2. BOUMEDIENNE, M. A. Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées : cas de la STEP D'Ain El Houtz. 2013.
3. Michel, B. Conception d'une station de traitement des eaux usées dans une commune rurale : Analyse, choix et réalisation de la méthode la plus appropriée à la commune et aux milieux aquatiques. s.l. : Université François - Rabelais Tours, 2015.
4. Tekfi, K. *Etude des performances épuratoires d'une station d'épuration à boues activées*. Tlemcen : Mèmoire de PFE DEUA hydraulique, 2006.
5. Asma, LOBIYED. *Proposition et dimensionnement d'une STEP pour Ghazaouet ainsi que les possibilités de réutilisation de ses eaux*. Tlemcen : s.n., 2017.
6. Gaid, A. *Épuration biologique des eaux usées urbaines*. s.l. : Alger : Office des publications universitaires, 1984.
7. Benmoussa, I. S. et Gasmi. Etude de faisabilité de l'épuration de eaux usées par un lagunage naturel (Cas de la region de M'rara). 2015.
8. Cors, Marle. *Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestique*. 2007.
9. Berland, J. M., Boutin, C. et Molle, P. Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eq-hab). 2001.
10. GUIDEnR Haute Qualité Environnementale. [En ligne] [Citation : 03 05 2018.] <http://www.hqe.guidenr.fr/>.
11. Benadda, L. Cours d'épuration biologique. Université de Tlemcen.
12. Agences de l'eau. Conception des stations d'épuration : les 50 recommandations, Etude Inter Agences n° 45. 1996.
13. *Le site de l'eau en seine-et-marne*. [En ligne] [Citation : 03 05 2018.] <http://eau.seine-et-marne.fr/>.
14. *Sillon38*. [En ligne] [Citation : 03 05 2018.] <http://www.sillon38.com/>.
15. Alladakan, O. Comparaison de filieres intensives et extensives d'épuration des eaux usées à OUAGADOUGOU (BURKINA FASO) : cas de l'eier et du centre de formation de l'ONEA. 2004.
16. Roy, B et Bouyssou, D. Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas. Economica, Paris. 1993.
17. Roy, B. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Economica, Paris. 1985.

18. Chakhar, S. Cartographie décisionnelle multicritère: formalisation et implémentation informatique (Doctoral dissertation, Université Paris Dauphine-Paris IX). 2006.
19. Belton, V et Stewart, T. Multiple Criteria Decision Analysis. Kluwer Academic Publishers, USA. 2002.
20. Vincke, Ph. L'aide multicritère à la décision. Éditions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles. 1989.
21. Ghalem, M. R. Systeme D'aide A La Decision En Amenagement Du Territoire: Approche Du Tri Multicritere, Integrale De Choquet Et SIG. Unpublished Magister memory, University of Oran1 Ahmed Ben Bella, Algeria. 2008.
22. Kaouane, N. et Bezoui, M. Conception d'un outil d'aide multicritère à la décision pour le ranking des projets d'exploration dans l'amont pétrolier (SONATRACH) (Doctoral dissertation). 2017.
23. Vincke, Ph. Multicriteria Decision Aid, John Wiley & Sons, England. 1992.
24. Admane, O., Ky Hoang et Ouakli. Statistique (Cours et exercices), Office des publications universitaires, Alger. 1998.
25. Mousseau, V. Concepts de base en aide multicritère à la décision, Vincent Mousseau. 2009.
26. An, J. H. Le choix d'un système de transport durable: analyse comparative des systèmes de transport guidé de surface (Doctoral dissertation, Université Paris-Est). 2011.
27. Guitouni, A. et Martel, J. M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method, European Journal of Operational Research. 1998, Vol. 109 (2), pp. 501-521.
28. Belton, V. Multiple Criteria Decision Analysis. Kluwer Academic Publishers, USA. 2002.
29. Vincke, Ph. et Roy, Bernard. L'aide multicritère à la décision. Editions Ellipses, 1989.
30. Scharlig, A. Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère. PPUR presses polytechniques, 1985.
31. Hwang, CL. et Yoon, K. Multiple criteria decision making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 1981.
32. Edwards, W. Social utilities. Engineering Economist, 1971.
33. Romualdas, G. et al. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods. Journal of Civil Engineering and Management, 2008.
34. Saremi, M., Mousavi, F. et Sanayei, A. Tqm consultant selection in smes with topsis under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 2009.
35. Wind, Y. et Saaty, T. Marketing applications of the analytic hierarchy process. Management science, 1980.
36. Keeney, R. et Raifa, H. Decision with Multiobjectives, Preferences and Value Trade-Offs. New York. 1976.

37. Jacquet-Lagrange, E. et Siskos, J. Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making, the UTA method. *European Journal of Operational Research*. 1982, Vol. 10(2).
38. Vincke, B. et Vincke, P. La modélisation des préférences. *Revue d'économie politique*, 217-234.
39. Mena, S. B. Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 4(2), 83-93. 2000.
40. Benayoun, R., et al. Linear programming with multiple objective functions: STEP Method (STEM). *Mathematical Programming*, 1(3) :366–375. 1971.
41. Boukli Hacene, A. Mèmoire de DEUA. *Université de Tlemcen*.
42. Abdelbaki, C. Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG-Cas du Groupement Urbain de Tlemcen. 2014.
43. Ali Nehari, Aissa. Etude de la sécurisation de l'alimentation en eau potable du Groupement Urbain de Tlemcen (Doctoral dissertation). 2013.
44. Kaid Slimane, B. « schéma directeur d'assainissement du groupement urbaine de Tlemcen (GUT) a l'horizon 2020 », Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen.
45. Berrahma, B. l'étude d'un nouveau schéma de répartition de ressources dans le Groupement Urbain de Tlemcen, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en hydraulique urbain, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen. 2009.
46. ONA. Fiche technique de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tlemcen (Ain El Houtz). 2010.
47. Slimani, A. *Mémoire d'ingénieur. Université de Tlemcen*.
48. BOUKLI HACENE, A. *Mémoire de DEUA. Université de Tlemcen*.
49. Khechiba, I. et Mahi, A. Etude diagnostique de la station d'épuration d'Ain El Houtz: réhabilitation de filières existantes et étude de filières à mettre en place. *Mèmoire de Master*. Université de Tlemcen, 2016.
50. Azonnaakpo, V. O. Problématique de l'eau et de l'assainissement en milieu scolaire en République du Bénin : cas de la ville de Porto Novo. Bénin, 20007.
51. Gomella et Gerree, H. les eaux usées dans l'agglomération.
52. Belghyti, D. et al. Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kénitra au Maroc. 2009.
53. RODRIGUES, C. et al. Spatial Multicriteria GIS-Based Analysis to Anaerobic Biogas Plant Location for Dairy Waste and Wastewater Treatment and Energy Recovery (Barcelos, NW Portugal). *International Conference on Innovation, Engineering and Entrepreneurship*. 2018, June.

54. Abdalla, O. O. et El Khidir, S. O. Site Selection of Wastewater Treatment Plant using RS/GIS data and Multi-Criteria Analysis (MCA): Case Study Omdurman City, Khartoum State, Sudan. 2017.
55. Li, Y., et al. Multi-criteria evaluation method for site selection of industrial wastewater discharge in coastal regions. *Journal of Cleaner Production*. 2017, Vol. 161.
56. Kafil, M. et Albaji, M. Selecting wastewater sites using analytical hierarchy and geographic information system. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*. Thomas Telford Ltd, 2017, January.
57. Mansouri, Z., Hafezi Moghaddas, N. et Dahrazma, B. Wastewater treatment plant site selection using AHP and GIS: a case study in Falavarjan, Esfahan. *Geopersia*, 3(2), 63-72. 2013.
58. OBSERVATION ET STATISTIQUES. *Ministère de la Transition écologique et solidaire*. [En ligne] 06 04 2011. [Citation : 16 06 2018.] Gestion de l'eau potable et des eaux usées.
59. Anagnostopoulos, K. P. et Vavatsikos, A. P. Using GIS and fuzzy logic for wastewater treatment processes site selection: the case of rodopi prefecture. In *AIP Conference Proceedings*. AIP, 2007, Vol. 963, 2.
60. Economopoulou, M. A. et Tsihrintzis, V. A. Sensitivity analysis of stabilization pond system design parameters. *Environmental technology*. 2002, Vol. 23, 3.
61. Gemitzi, A., et al. Using gis in sitting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*. 2007, Vol. 82, 2.
62. Lithologie. *Wikipedia*. [En ligne] [Citation : 16 06 2016.] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lithologie>.
63. Khemiri, R. Développement d'une approche floue multicritères pour une planification intégrée couplant la gestion de la performance et du risque (Doctoral dissertation). 2017.
64. Chen, C. T. Extensions of the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets Syst*, 114:1–9. 2000.
65. Saghafian, s. et Hejazi, S. R. Multi-criteria group decision making using a modified fuzzy topsis procedure. *International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce? (Vol. 2, pp. 215-221)*. IEEE. 2005, November.
66. Ilangkumaran, M. et al. Optimization of wastewater treatment technology selection using hybrid MCDM. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(5), 619-641. 2013.
67. Mehrdadi, N. et al. Wastewater treatment process in industrial estates based on fuzzy TOPSIS method as supply chain system. 2007.
68. Hu, W. et al. Wastewater treatment evaluation for enterprises based on fuzzy-AHP comprehensive evaluation: a case study in industrial park in Taihu Basin, China. *SpringerPlus*, 5(1), 907. 2016.

69. Mehdi, I. M. et al. Decision Support System for Proper Selection of Wastewater Treatment Plants Using Analytic Hierarchy Process (AHP). 2018.
70. Srdjevic, Z. et al. Robustness of AHP in selecting wastewater treatment method for the coloured metal industry: Serbian case study. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 29(2), 147-161. 2012.
71. Ouma, Y. O. et al. urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *water* 6(6).1515-1545. 2014.

Annexe 1

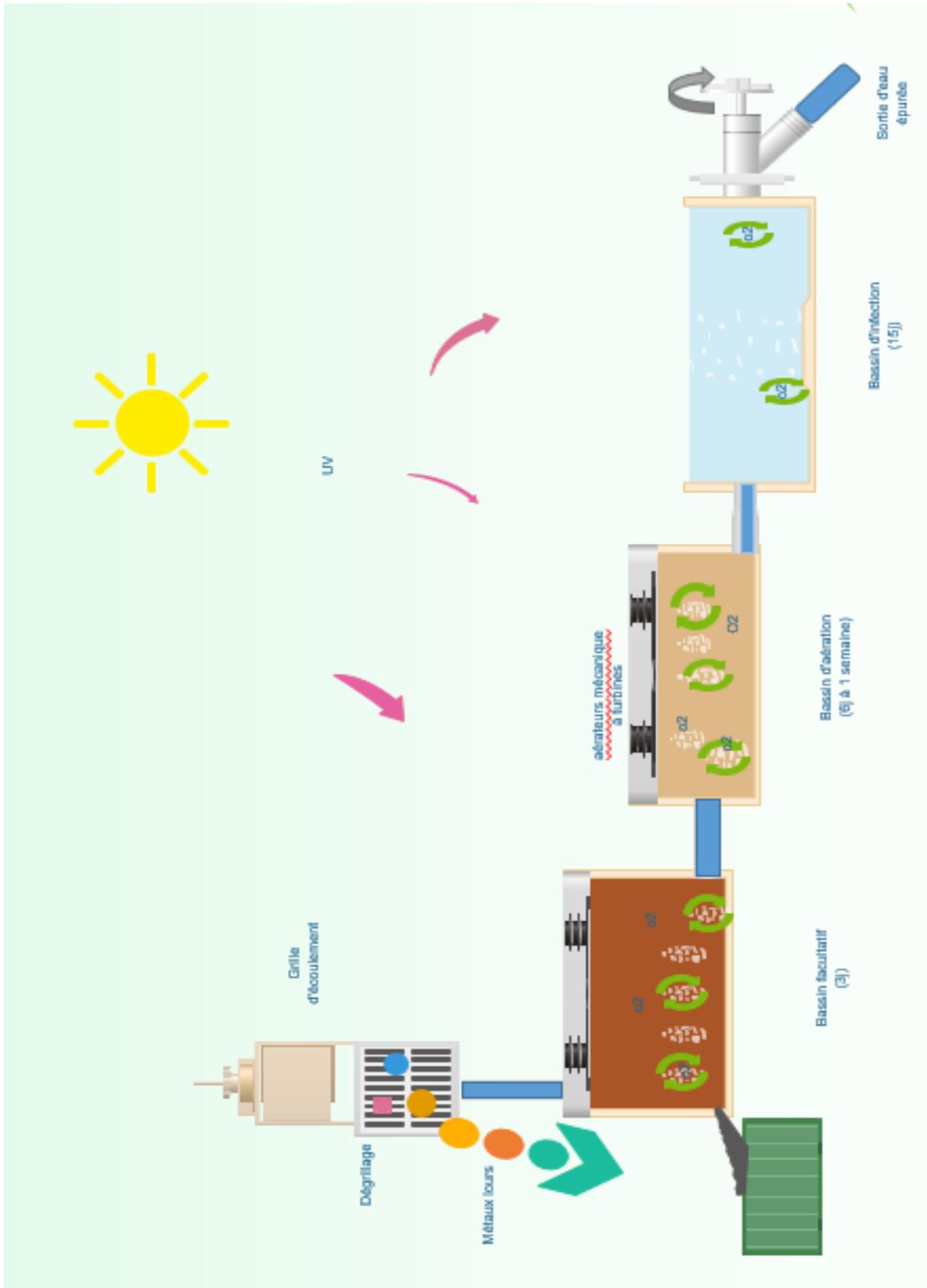


Figure 56 : Plan d'une station d'épuration

Annexe 2

Tableau 41 : Tableau des normes algérien des eaux usées rejeté

Paramètre	Normes	Unités
Température	30	(C°)
pH	6,5-8,5	/
O2	5	mg/l
DBO5	30	/
DCO	90	/
MES	30	/
Chrome	0,1	mg/l
Zinc	2	/
Azote	50	/
Phosphates	2	/
Huiles et graisses	20	/
Détergents	1	/
Hydrocarbures	10	/

- Résumé -

L'eau usée domestique est l'eau rejetée par une communauté après l'avoir polluée par diverses modes d'utilisation. Son rejet d'une manière inapproprié constitue un danger pour l'écosystème. Pour cela, les autorités doivent procéder à la mise en place des systèmes d'épuration. Une bonne conception d'un tel système passe par la sélection des meilleurs sites et le choix des meilleurs modes de traitement afin de protéger la santé humaine par la protection de l'air, du sol et des eaux souterraines. L'objectif de ce travail est de proposer des solutions pour les problèmes liés à la localisation et au fonctionnement de la station d'épuration de la ville de Tlemcen. À l'aide d'une approche d'aide à la décision multicritère TOPSIS floue, un ensemble des sites alternatifs sont classées selon leur degré de convenance pour localiser une ou plusieurs stations d'épuration. Ensuite, à l'aide de la méthode AHP de la même famille, la meilleure technique d'épuration est choisie en tenant compte l'emplacement de la station et d'autres critères. Cependant, les eaux traitées sont considérées comme une source non-négligeable pour une réutilisation dans différents domaines tels que l'agriculture, l'industrie... Dans ce contexte, une troisième problématique traitée dans ce projet concerne l'optimisation de l'affectation des eaux traitées aux zones agricoles de la ville de Tlemcen en se basant sur les coordonnées géographiques.

Mots-clés : Eaux usées, environnement, Localisation, technique d'épuration, TOPSIS fl, AHP.

-Abstract -

The domestic wastewater is the rejected water by a community after being polluted within various ways of use. Its reject with an inappropriate manner constitutes a serious danger in the ecosystem. For that, the authorities have to proceed at setting up purification system. A good design of such system passes by the selection of the best sites and the choice of the best ways of treatment in order to protect human health by protecting the air, soil and groundwater from pollution. This project aims at suggesting solutions for the problems related to the localisation and the operation mode of the wastewater treatment plant in the city of Tlemcen. Through the of multi criteria decision fuzzy TOPSIS method, a set of alternatives sites are classified according to their convenience degree to localise one or many wastewater treatment plants. Moreover, by using the AHP method of the same family, the best technique of purification is chosen by taking into account the station localisation and other criterias. However, treated waters are considered as a non-negligible source for reuse in different domains such as agriculture, industry... In this context, a third problematic treated in this study concerns the optimization of the assignment of treated waters in agricultural zones of Tlemcen city based on geographical coordinates.

Keywords : Wastewater, environnement, location, treatment technique, Fuzzy TOPSIS, AHP.

- ملخص -

مياه الصرف الصحي هي المياه الملوثة التي يتم تفرغها من قبل المجتمع بعد إستخدامات مختلفة. يشكل إقصائها العشوائي خطرا على النظام البيئي. لذلك يجب على السلطات بناء محطات تنقية لهذه المياه. التصميم الجيد لمثل هذه المنشآت يبدأ بإختيار أفضل المواقع وأفضل طرق المعالجة للحفاظ على صحة الإنسان، بحماية الهواء، التربة والمياه الجوفية من التلوث. الهدف من هذا العمل هو إقتراح حلول للمشاكل المتعلقة بموقع وتقنيات محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة تلمسان. بإستخدام منهجية دعم القرار متعددة المعايير "طوبسيس فلو"، يتم ترتيب مجموعة من مواقع وفقا لدرجة ملاءمتها وإختيار موقع واحد أو أكثر لإنشاء محطات لتنقية المياه، ثم إستخدام طريقة أخرى من نفس العائلة "أش بي"، لإختيار أفضل تقنية مع مراعاة الموقع ومعايير أخرى. من جهة أخرى، تعتبر المياه المعالجة مصدرا بديلا للمياه النقية من خلال إعادة إستخدامها في مجالات مختلفة، مثل الزراعة والصناعة... وفي هذا السياق تمت مناقشة المشكلة الثالثة المتعلقة بتحديد الطريقة المثلى لإستخدام المياه المعالجة في المناطق الزراعية لمدينة تلمسان بناء على الإحداثيات الجغرافية

الكلمات الرئيسية: مياه الصرف الصحي، البيئة، إختيار الموقع، تقنية المعالجة، طوبسيس فلو، أش بي