

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان  
Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## **THESE**

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT 3<sup>ème</sup> Cycle**

**En :** Hydraulique

**Spécialité :** Hydraulique urbaine

**Par :** Abdelmoumene Hanane

### **Sujet**

**Estimation du degré de performance d'une station d'épuration par le processus d'analyse hiérarchique (AHP): Etude de cas.**

Soutenue publiquement, le **13/02/2025**, devant le jury composé de :

M. Megnounif Abdesselam	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. Boumediene Maamar	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mme.Lallam Faiza	MCB	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de thèse
M.Maameri Abdelhamid	MCA	Univ. Béchar	Examineur 1
M.Bessedik Madani	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur 2

## **Remerciements**

*Je rends grâce à Dieu, source de sagesse et de force, pour m'avoir guidé tout au long de ce voyage académique. C'est par Sa grâce et Sa bienveillance que j'ai trouvé la persévérance et la clarté nécessaires pour surmonter chaque étape de ce parcours exigeant. À Lui, je confie ma reconnaissance pour chaque épreuve, chaque réussite et pour les innombrables bénédictions qu'Il m'a accordées tout au long de cette aventure. Sans Sa lumière, ce projet n'aurait pas vu le jour.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude sincère à mon directeur de thèse, **Mr. Boumediene Maamar**, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de superviser ce travail doctoral. Je le remercie également pour le temps précieux qu'il a consacré à me guider et à orienter cette recherche avec un dévouement constant.*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude à **Mme Lallam Faiza** pour son accompagnement, sa disponibilité et son expertise tout au long de ce travail. Votre rigueur intellectuelle, vos conseils précieux et votre bienveillance ont été essentiels à la réalisation de cette thèse en 3 ans. Vous avez su m'orienter avec patience, me pousser à approfondir mes réflexions et à donner le meilleur de moi-même. Ce projet doit beaucoup à votre soutien constant et à votre engagement. Merci infiniment pour avoir cru en moi et pour m'avoir aidé à accomplir ce parcours.*

*Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à **M. Lallam Mostepha**, enseignant au département de génie civil de l'Université de Mascara, pour son soutien indéfectible tout au long de ce travail. Votre expertise, vos conseils avisés et vos encouragements m'ont été d'une aide précieuse pour mener à bien cette recherche. Grâce à votre accompagnement, j'ai pu surmonter les défis et atteindre avec succès l'étape de la soutenance. Je vous remercie sincèrement pour votre engagement et votre disponibilité.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude aux membres du jury de soutenance **Mr. Megnounif Abdesselam, Mr. Maameri Abdelhamid et Mr. Bessedik Madani** pour avoir accepté d'évaluer mon travail de recherche. Votre expertise, vos observations constructives et vos remarques pertinentes ont grandement enrichi cette thèse. Je vous remercie pour le temps que vous avez consacré à analyser et discuter de ce projet, ainsi que pour vos précieux conseils qui contribueront à son amélioration future. Votre engagement dans ce processus est un honneur et je vous en suis profondément reconnaissante.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à **M. Benaada lotfi**, chef du département d'hydraulique, pour son soutien précieux tout au long de la réalisation de cette thèse de doctorat. Votre disponibilité, vos conseils avisés et votre accompagnement ont grandement contribué à la bonne conduite de ce travail. Merci pour votre aide précieuse, ainsi que pour les facilités que vous avez mises en place pour permettre la progression de cette recherche. Votre engagement a été une source d'inspiration et de motivation tout au long de ce parcours.*

*Je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude à l'ensemble des enseignants du département d'hydraulique, qui ont joué un rôle clé dans ma formation. Je tiens à adresser un remerciement tout particulier à **Mme Baba hamed kamila et M. Bouanani Abderrezzak** pour leur enseignement précieux sur l'hydrologie, la modélisation et la gestion des*

ressources en eau. Et **M. Bessedik Madani** et **M. Boumediene Maamar** pour leur transmission précieuse de connaissances sur le traitement et l'épuration des eaux, ainsi qu'à **Mme Bouchelkia Fadila**, avec qui j'ai eu l'opportunité d'approfondir la réutilisation des eaux usées épurées.

Mes remerciements s'adressent également à **Mme Boukli Chérifa**, **M. Bouchelkia Hamid** et **M. Habi Mohammed** et **M. Benaada Lotfi** pour m'avoir enseigné les fondamentaux du dimensionnement des réseaux d'assainissement et d'adduction d'eau potable, aménagement hydraulique, et les écoulements à surface libre. Un grand merci tout particulier à **M. Chiboub Fellah Abdelghani** pour m'avoir appris tant sur l'analyse de l'eau et le dessalement.

Je n'oublie pas non plus **Mme Djedid Hayet** pour ses enseignements sur les écoulements en charges, ainsi que **M. Debbal Mohammed Zakaria**, **M. Bentelha Chakib** et **M. Terki Hassaine Taha El Amine**, **Megnounif Abdesselam** pour leurs cours de programmation sur Matlab ainsi que **Mme Lallam Faiza** pour le cours de mathématiques. Merci également à **M. Ghenim Abderrahmane** pour les leçons sur le transport solide, à **M. Seddini Abdelali** pour ses enseignements sur les turbomachines, Je remercie aussi **Mme Tedlaoui sarapour** pour les cours d'anglais, ainsi que **M. Adjim Mohamed** et **Mme Adjim Fouzia** pour leurs contributions à mon apprentissage.

Ce fut une grande fierté et une immense joie d'avoir été l'une de vos étudiantes. Cette thèse est le fruit direct de l'application des précieuses connaissances que vous m'avez transmises tout au long de ces années.

## **Dédicaces**

*À ma mère, Pour ton amour inconditionnel, ton soutien sans faille et tes encouragements constants. Tu as été mon roc, me rappelant chaque jour l'importance de la persévérance et de la détermination. Ce travail est également le résultat de tes nombreux sacrifices et de ton soutien inébranlable à mes côtés, toujours présent à chaque étape. Je te dédie cette thèse avec toute ma reconnaissance et mon amour.*

*À mon frère Abdeldjebbar, Ton soutien, tes conseils avisés et ta capacité à me faire sourire même dans les moments les plus difficiles ont été essentiels tout au long de ce parcours. Tu m'as poussé à aller toujours plus loin, et cette réalisation est aussi la tienne. Merci d'être à mes côtés dans cette aventure, comme dans tant d'autres.*

*À tous ceux qui occupent une place précieuse dans mon cœur.*

## **Résumé :**

Les stations d'épuration des eaux usées (STEP) sont principalement conçues pour éliminer les polluants présents dans les rejets d'eaux usées. Cependant, en raison de diverses contraintes, elles peuvent rencontrer plusieurs problèmes de dysfonctionnement qui nécessitent des prises de décision adaptées. Cette étude a pour but d'évaluer le niveau de dysfonctionnement des STEP, de mesurer leurs performances épuratoires, et de développer un modèle de gestion visant à éviter des arrêts inutiles. Le degré de dysfonctionnement a été déterminé à l'aide des méthodes AHP (Analytic Hierarchy Process) et FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process), qui tiennent compte de différents critères et sous-critères pour évaluer l'état de fonctionnement des installations. Notre étude a porté sur deux stations d'épuration, celle de Sebdou, appartenant au complexe textile DENITEXT à Tlemcen, dans le nord-ouest de l'Algérie, où nous avons utilisé la méthode AHP, et celle d'Aïn El Houtz, dédiée au traitement des eaux usées urbaines, pour laquelle la méthode FAHP a été appliquée. L'objectif commun aux deux cas était d'évaluer le niveau de dysfonctionnement, d'analyser les performances de purification des stations, et de proposer des modèles de gestion capables de prévenir les interruptions inutiles. Les deux modèles proposés permettent de contrôler efficacement les stations d'épuration, quelles que soient les circonstances. En situation de crise, ces modèles fournissent aux ingénieurs des outils pour générer des solutions visant à éviter la fermeture des stations, tout en protégeant l'environnement contre la pollution industrielle et domestique. Ainsi, les méthodes AHP et FAHP s'avèrent être des outils scientifiques précieux et performants pour la prise de décision dans la gestion des STEP. Cette contribution pourrait également servir d'outil d'aide pour les gestionnaires, leur permettant d'améliorer le niveau de traitement des eaux usées dans leurs installations.

**Mots clés :** STEP, AHP, FAHP, Dysfonctionnements.

**Abstract:**

Wastewater treatment plants (WWTPs) are primarily designed to remove pollutants from wastewater discharges. However, due to various constraints, they may experience malfunction issues that require appropriate decision-making. This study aimed to evaluate the degree of dysfunction in WWTPs, assess their purification performance, and develop a management model to prevent unnecessary shutdowns. The level of dysfunction was determined using the AHP (Analytic Hierarchy Process) and FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) methods, which consider various criteria and sub-criteria to assess the operational status of the facilities. Our study focused on two wastewater treatment plants: the Sebdou plant, part of the DENITEXT textile complex in Tlemcen, northwestern Algeria, where the AHP method was applied, and the Aïn El Houtz plant, which treats urban wastewater, where the FAHP method was used. The common objective in both cases was to evaluate the dysfunction level, analyze the purification performance, and propose management models capable of preventing unnecessary interruptions.

The proposed models allow for effective control of the WWTPs under any circumstances. In a crisis situation, these models equip engineers with tools to generate solutions that avoid plant shutdowns while protecting the environment from industrial pollution. Thus, the AHP and FAHP methods prove to be valuable and effective scientific tools for decision-making in the management of WWTPs. This contribution can also serve as a decision-support tool for managers, helping to improve wastewater treatment processes at their facilities.

**Keywords:** Wastewater treatment plant, AHP, FAHP, Malfunctions.

## الملخص:

تم تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المقام الأول لإزالة الملوثات من تصريف مياه الصرف الصحي. ومع ذلك، وبسبب القيود المختلفة، قد تعاني هذه المحطات من مشاكل خلل وظيفي يتطلب اتخاذ القرارات المناسبة. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم درجة الخلل الوظيفي في، وتقييم أداء التنقية فيها، وتطوير نموذج إداري لمنع الإغلاق غير الضروري. وقد تم تحديد مستوى الخلل الوظيفي باستخدام أساليب (عملية التسلسل الهرمي التحليلي) و (عملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي)، والتي تأخذ في الاعتبار معايير ومعايير فرعية مختلفة لتقييم الحالة التشغيلية للمنشآت. ركزت دراستنا على محطتين لمعالجة مياه الصرف الصحي: محطة سبدو، وهي جزء من مجمع النسيج في تلمسان شمال غرب الجزائر، حيث تم تطبيق هذه الطريقة، ومحطة عين الحوت التي تعالج مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية، حيث تم استخدام هذه الطريقة. كان الهدف المشترك في كلتا الحالتين هو تقييم مستوى الخلل الوظيفي، وتحليل أداء التنقية، واقتراح نماذج إدارية قادرة على منع الانقطاعات غير الضرورية. تسمح النماذج المقترحة بالتحكم الفعال في محطات معالجة مياه الصرف الصحي تحت أي ظرف من الظروف. في حالة الأزمات، تزود هذه النماذج المهندسين بأدوات لتوليد حلول لتجنب توقف المحطات مع حماية البيئة من التلوث الصناعي. وبالتالي، فإن هذه النماذج والطرق تثبت أنها أدوات علمية قيمة وفعالة لاتخاذ القرارات في إدارة محطات معالجة مياه الصرف الصحي. يمكن أن تكون هذه المساهمة أيضًا بمثابة أداة لدعم اتخاذ القرار للمديرين، مما يساعد على تحسين عمليات معالجة مياه الصرف الصحي في منشآتهم.

الكلمات المفتاحية: نهج صنع القرار متعدد المعايير، عملية التسلسل الهرمي التحليلي، عملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، الأعطال، نموذج

---

# TABLE DES MATIERES

---

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Tables des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement</b>	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Constitution des eaux usées .....	3
I.3. Caractéristiques des eaux usées .....	3
I.4. Diverses étapes du traitement des eaux usées .....	4
I.4.1. Prétraitement .....	4
I.4.2. Traitement primaire.....	4
I.4.3. Traitement secondaire (Biologique) .....	5
I.4.3.1. Procédés à cultures libres .....	5
I.4.3.2. Procédés à cultures fixées.....	6
I.4.4. Traitement tertiaire.....	7
I.5. Utilisation des eaux usées traitées.....	7
I.6.Historique des Méthodes d'Étude des Dysfonctionnements d'une Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP).....	7
I.7.Conclusion .....	9
<b>Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.</b>	
II.1 Analyse multicritère (AMC).....	10
II.1.1 Applications de l'AMC dans le domaine environnemental.....	10
II.1.2 Les méthodes d'AMC les plus utilisées.....	11
II.1.3 Utilisation de l'AHP et l'AHP FUZZY.....	12
II.1.4 Les avantages de l'AMC.....	12
II.2.Méthode AHP .....	13
II.2.2 Avantages de l'AHP et ses applications dans le traitement des eaux usées.....	16
II.2.3 Applications multiples dans le domaine des STEP.....	16
II.3Méthode FAHP .....	17
II.3.1 Fonctionnement de la méthode FAHP.....	17
II.3.2 Comparaison entre l'AHP et la FAHP.....	21
II.4.Conclusion.....	23
<b>Chapitre III : L'estimation de degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdu</b>	
III.I La station d'épuration du complexe textile de Sebdu.....	24
III.I Présentation et description.....	24
III.I.1 : Situation géographique de la STEP par rapport du complexe.....	24
III.I.2. Description du processus de traitement.....	25
III.II Estimation du degré de dysfonctionnement de la STEP du complexe textile de Sebdu.....	26
III.II.1.Procédure.....	26
III.II.2.Identification des facteurs de dysfonctionnement de la STEP.....	27
III.II.3. Développement de la structure hiérarchique.....	34

---

## TABLE DES MATIERES

---

III.II.4. Construction des matrices de comparaison binaire et calcul des pondérations .....	38
III.II.5. Attribution des notations.....	41
III.II.6. Calcul du score de dysfonctionnement de la station d'épuration (STEP)...	42
III.II.7. Classification de l'état de fonctionnement de la station d'épuration (STEP).....	43
III.III. Application du modèle à différents scénarios.....	43
Conclusion.....	46
<b>Chapitre IV : L'estimation de degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz.</b>	
Partie I : Présentation et description du la STEP d'Ain El Houtz.....	47
IV.I.1. Localisation, Capacités et Gestion.....	47
IV.I.2. Fonctionnement de la station d'épuration (STEP).....	47
IV.I.3. Description du processus de traitement .....	48
Partie II : Application de le Processus d'Analyse Hiérarchique Flou (FAHP) sur la STEP de d'Ain El Houtz.....	50
IV.II.1 Méthodologie.....	50
IV.II.2 Choix des facteurs de dégradation .....	51
IV.II.2.1 Effet des facteurs sur le fonctionnement de la STEP.....	51
IV.II.3 Développement de la structure hiérarchique .....	58
IV.II.4 Comparaisons binaires des critères et sous-critères et calcul de leurs Pondérations.....	59
IV.II.5 Notations (N).....	62
IV.II.6 le Calcul du score de fonctionnement (R).....	63
IV.II.7 Classification de l'état de fonctionnement des STEP .....	64
IV.II.8 Application du Modèle à Divers Scénarios.....	64
IV.III. Conclusion.....	68
Conclusion générale.....	69
Références bibliographiques.....	72

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Schéma simplifié d'un système à boues activées [1].....	5
<b>Figure I. 2</b> : Lagunage naturel (Pasquini, 2013).....	6
<b>Figure I. 3</b> : Lagunage aéré [1].....	6
<b>Figure I. 4</b> : Disques biologiques (Pasquini, 2013).....	7
<b>Figure II.1</b> : Structure de la hiérarchie AHP.....	15
<b>Figure II.2</b> : La courbe du Nombre Flou Triangulaire.....	20
<b>Figure III.1</b> : localisation de la STEP de Sebdou .....	25
<b>Figure.III.2</b> : Étapes du traitement à la station d'épuration de Sebdou.....	26
<b>Figure.III.3</b> :Diagramme de la procédure d'estimation du degré de dysfonctionnement à la station d'épuration de Sebdou.....	27
<b>Figure. III.4</b> :Les différentes étapes du processus de traitement des eaux usées à la station d'épuration de Sebdou.....	34
<b>Figure. III.5</b> : Arbres des facteurs internes à la STEP de Sebdou.....	38
<b>Figure. III.6</b> : Arbres des facteurs externes à la STEP de Sebdou.....	38
<b>Figure IV.1</b> : localisation de la station d'Ain El Houtz.....	47
<b>Figure IV.2</b> : Étapes du traitement à la station d'épuration d'Ain EL Houtz .....	50
<b>Figure IV.3</b> : Organigramme de la procédure d'évaluation de l'état de fonctionnement d'une station d'épuration.....	51
<b>Figure IV.4</b> : La structure hiérarchique de la STEP .....	59
<b>Figure IV.5</b> : Graphique solaire de la pondération locale (Abdelmoumene H et al, 2024).....	54
<b>Figure IV.6</b> : Graphique solaire de la pondération globale (Abdelmoumene H et al, 2024).....	62

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : les seuils maximaux des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal officiel de la république algérienne, 2006).....	8
<b>Tableau II.1</b> : Échelle de comparaison par paires de Saaty (Saaty T. L., 2003).....	16
<b>Tableau II.2</b> : Matrice des comparaisons à deux éléments.....	16
<b>Tableau II.3</b> : Calcul de $\lambda_{\max}$ .....	17
<b>Tableau II.4</b> : L'indice aléatoire RI (Ennaouri I. 2010).....	17
<b>Tableau II.5</b> : Échelle fondamentale pour les comparaisons par paires dans le Fuzzy-AHP .....	20
<b>Tableau III.1</b> : Analyse comparative des critères et des pondérations établies.....	40
<b>Tableau III.2</b> : Notation des facteurs internes.....	41
<b>Tableau III.3</b> : Notation des facteurs externes .....	42
<b>Tableau III.4</b> : Classification de l'état de dysfonctionnement de la station d'épuration (STEP).....	43
<b>Tableau III.5</b> : État actuel de la station d'épuration de Sebdou.....	43
<b>Tableau III.6</b> : État de la station d'épuration de Sebdou (situation de risque naturel) .....	43
<b>Tableau III.7</b> : État de la station d'épuration de Sebdou(cas de Rejet).....	45
<b>Tableau III.8</b> :État de la station d'épuration de Sebdou (3 <sup>e</sup> scénario).....	45
<b>Tableau III.9</b> :État de la station d'épuration de Sebdou (4 <sup>e</sup> scénario).....	46
<b>Tableau IV.1</b> : Données fondamentales de la station d'épuration d'Ain El Houtz(ONA, 2006) .....	48
<b>Tableau IV.2</b> : Matrices de comparaison par paires en fonction de la structure hiérarchique supposée.....	60
<b>Tableau IV.3</b> . Système d'évaluation des facteurs de performance des STEP.....	62
<b>Tableau IV.4</b> : Classification de l'état de fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées.....	64
<b>Tableau IV.5</b> : Résultats de la simulation du modèle dans différents scénarios.....	67

## Liste des Abréviations

CE : Conductivité Electrique

DBO5 : la demande biologique en oxygène durant 5 jours

DCO : la demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

MO: matière organique

ONA : Office National d'Assainissement

OMS : Organisation mondiale de la santé

STEP : Station d'épuration

C° : degré Celsius

T : Température

Ts : temps de séjour

pH : potentiel hydrique

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> : Ammonium

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : Nitrate

# **Introduction Générale**

## Introduction générale

---

Au cours des dernières années, la pollution de l'eau causée par diverses activités humaines s'est intensifiée de manière préoccupante. Cette dégradation progressive de la qualité de l'eau résulte principalement du rejet massif de substances toxiques telles que les déchets industriels, les pesticides issus de l'agriculture intensive, ainsi que les eaux usées domestiques insuffisamment traitées. Ce phénomène constitue une menace majeure pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques, entraînant la disparition de nombreuses espèces animales et végétales. De plus, cette pollution a des répercussions directes sur la santé humaine, en augmentant les risques de maladies liées à la consommation d'eau contaminée, telles que les infections gastro-intestinales, les troubles neurologiques et certaines pathologies chroniques. Face à cette situation alarmante, une prise de conscience collective et la mise en place de mesures de prévention et de dépollution sont indispensables pour préserver cette ressource essentielle à la vie. Les principales sources de contamination sont les rejets urbains, industriels, agricoles et illégaux. Surveiller la qualité de l'eau est essentiel pour identifier les polluants et prendre des mesures correctives. C'est pourquoi la gestion de l'eau est fortement encadrée (**Preisner et al. 2022**). Le processus de purification consiste à éliminer les minéraux, la matière organique, les particules en suspension et autres déchets afin d'obtenir une eau purifiée conforme aux normes de rejet (**Canler 2004**). Comme pour toutes les infrastructures créées et développées par l'homme, le secteur du traitement des eaux usées fait face à de nombreux défis liés à l'obsolescence et à l'inefficacité des processus. Ces défis incluent des émissions de carbone importantes, une consommation énergétique élevée, des non-conformités réglementaires et une perte de confiance du public (**Borzooei et al. 2019**). Malheureusement, ces défis sont aggravés par les effets du changement climatique, de l'urbanisation et de la croissance démographique (**Haldar et al. 2022**). Bien que de nombreuses technologies aient été développées ces dernières années par le monde académique et industriel pour résoudre ces problèmes au niveau des stations d'épuration (**Kehrein et al. 2020**), ces installations peuvent rencontrer des problèmes opérationnels perturbant leurs processus et entraînant une non-conformité avec les réglementations de rejet, affectant ainsi l'environnement, en particulier les masses d'eau. Ces problèmes peuvent découler de divers facteurs, tels que les aléas naturels, les conditions de pompage et les caractéristiques des eaux usées traitées.

Une analyse approfondie est nécessaire pour identifier et comprendre ces dysfonctionnements et réduire les risques. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel de bien comprendre l'équipement et d'identifier ses éventuels problèmes, afin de prendre les mesures nécessaires pour garantir une performance optimale.

Les dysfonctionnements des stations d'épuration remontent aux premières installations modernes au XIXe siècle, avec l'essor de l'urbanisation et de l'industrialisation. Initialement conçues pour traiter les eaux usées domestiques, ces stations ont rapidement été confrontées à des problèmes tels que la surcharge hydraulique, l'accumulation de boues et l'inefficacité des procédés face aux polluants industriels. Au fil du temps, des défaillances mécaniques, des erreurs de conception et

## Introduction générale

---

un entretien insuffisant ont aggravé ces dysfonctionnements, entraînant parfois des rejets d'eaux insuffisamment traitées dans l'environnement. Aujourd'hui, malgré des avancées technologiques, ces installations doivent encore faire face à des défis comme le vieillissement des infrastructures, la gestion des micropolluants et l'adaptation au changement climatique.

Cette étude a porté sur deux stations d'épuration en Algérie. Pour la station de Sebdou, un modèle numérique basé sur la méthode AHP a été développé pour évaluer les dysfonctionnements à chaque étape du traitement et analyser l'impact des critères sur le fonctionnement global. À la station d'Ain el Houtz, un modèle utilisant l'analyse hiérarchique floue (FAHP) a été conçu pour évaluer la performance des processus de traitement. Ces modèles permettent de détecter les dysfonctionnements et d'examiner l'effet de chaque critère sur le fonctionnement global. Leur validité a été testée en simulant divers états opérationnels, offrant ainsi aux gestionnaires des outils d'analyse pour mieux comprendre et prévenir les défaillances.

La thèse est organisée en quatre chapitres. Le premier chapitre traite des concepts fondamentaux des eaux usées, leurs sources, polluants, et les techniques de traitement (biologiques, chimiques, physiques), ainsi que leurs enjeux environnementaux et sanitaires. Le deuxième chapitre présente les méthodes d'analyse multicritères AHP et Fuzzy AHP, en expliquant leurs principes et avantages pour l'évaluation des performances. Le troisième chapitre est une étude de cas sur la station de Sebdou, utilisant l'AHP pour évaluer les dysfonctionnements. Dans le quatrième chapitre, nous avons appliqué la méthode FAHP afin d'évaluer le fonctionnement de la station d'Ain El Houtz. La thèse se termine par une synthèse des résultats et des recommandations.

***Chapitre I : Aperçu général  
des eaux usées et des  
filiales de traitement.***

# Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement

---

## I.1. Introduction

Les eaux usées, provenant d'activités domestiques, industrielles, agricoles et urbaines, contiennent divers polluants tels que matières organiques, produits chimiques et micro-organismes. Avec la hausse des besoins en eau, leur recyclage pour des usages non potables (irrigation, nettoyage industriel) ou même pour l'eau potable après traitements avancés devient courant. La gestion des boues issues du traitement, souvent utilisées pour produire des engrais ou de l'énergie, est également importante. Le traitement des eaux usées est crucial pour protéger l'environnement, la santé publique et les ressources en eau, face à l'urbanisation et au changement climatique. Ce chapitre traitera des différentes catégories de polluants présents dans les eaux usées, des divers procédés de traitement employés, ainsi que des principaux domaines de réutilisation de ces eaux.

## I.2. Constitution des eaux usées :

Les eaux usées résultent d'activités humaines diverses (domestiques, industrielles, agricoles ou urbaines) et sont contaminées durant leur utilisation. Elles contiennent un mélange de substances indésirables, notamment des matières organiques, des produits chimiques, des micro-organismes, des nutriments et d'autres polluants (**Belaid, 2010 ; Bouaziz, 2014 ; DO Carmo, 2008 ; Wang, 2015**).

## I.3. Caractéristiques des eaux usées :

Les eaux usées se distinguent par plusieurs paramètres, parmi lesquels :

- pH
- Température
- MES
- Éléments azotés et phosphatés
- Micro-organismes
- Turbidité
- DCO (Demande Chimique en Oxygène) : Évalue la quantité totale de matière oxydable présente dans l'eau et indique la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la MO.
- DBO (Demande Biochimique en Oxygène) : Représente la quantité d'oxygène dissous utilisée par les micro-organismes pour dégrader la totalité de la matière organique biodégradable.
- Biodégradabilité : Représente le rapport DCO/DBO, si  $DCO/DBO < 2$  : effluent facilement biodégradable, si  $2 < DCO/DBO < 4$  : effluent

# Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement

---

moyennement biodégradable, et si DCO/DBO > 4 : effluent difficilement biodégradable

- COT (Carbone Organique Total) : Indique la concentration de carbone associé à la matière organique.

## I.4. Diverses étapes du traitement des eaux usées :

Le traitement des eaux usées combine des procédés physiques, physico-chimiques et biologiques pour éliminer les gros déchets et réduire la pollution organique, notamment celle liée au carbone, afin de protéger l'environnement et la santé humaine (**Bonin, 1986**).

### I.4.1. Prétraitement :

Le prétraitement des eaux usées vise à éliminer les grosses particules pour protéger les équipements et faciliter les étapes ultérieures du traitement (**Obeid, 2014**). Il inclut le dégrillage, qui filtre les gros déchets; le dessablage, qui retire les sables par sédimentation; et le dégraissage/déshuilage, qui élimine les graisses par flottation, afin d'éviter qu'elles ne nuisent aux traitements biologiques (**Carre, 2007 ; Alighardashi, 2007 ; Sid ,2017**).

### I.4.2. Traitement primaire :

Le traitement primaire vise à éliminer plus de 50 % des matières en suspension (MES) dans l'effluent, en utilisant des méthodes physiques ou physico-chimiques comme la coagulation-floculation. Il existe plusieurs types de décantation : la décantation classique, qui dépend de la vitesse de Hazen pour retenir les particules; la décantation physico-chimique, qui utilise un coagulant et un flocculant pour agglomérer les colloïdes; et la décantation lamellaire, qui optimise la sédimentation grâce à des lamelles inclinées, augmentant ainsi l'efficacité tout en réduisant l'espace requis. (**Sabiri et al,2016 ; Mailler, 2015 ; Gaid, 1984**).

### I.4.3. Traitement secondaire (Biologique) :

Les traitements physico-chimiques réduisent partiellement la pollution soluble, mais seuls les traitements biologiques sont efficaces et économiques pour éliminer en profondeur la pollution organique et soluble. Ils visent à réduire les polluants carbonés, azotés et phosphorés, et se divisent en deux méthodes principales : les procédés aérobies, utilisant de l'oxygène, et les procédés anaérobies, sans oxygène. (**Obeid, 2014 ; Pasquini, 2013**).

# Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement

## 1.4.3.1. Procédés à cultures libres :

Les procédés à cultures libres incluent deux méthodes principales : les boues activées, qui utilisent un bassin d'aération pour dégrader la pollution organique, suivi d'un décanteur pour séparer les solides (Fig. I.1), et le lagunage, où les eaux traversent plusieurs bassins peu profonds. Le lagunage repose sur l'équilibre entre bactéries aérobies et algues. Il peut être naturel, utilisant la photosynthèse pour fournir de l'oxygène (Fig. I.2), ou aéré, avec un apport artificiel d'oxygène, bien que ce dernier nécessite plus d'espace et soit moins constant en rendement (Fig. I.3) (Sid, 2017).

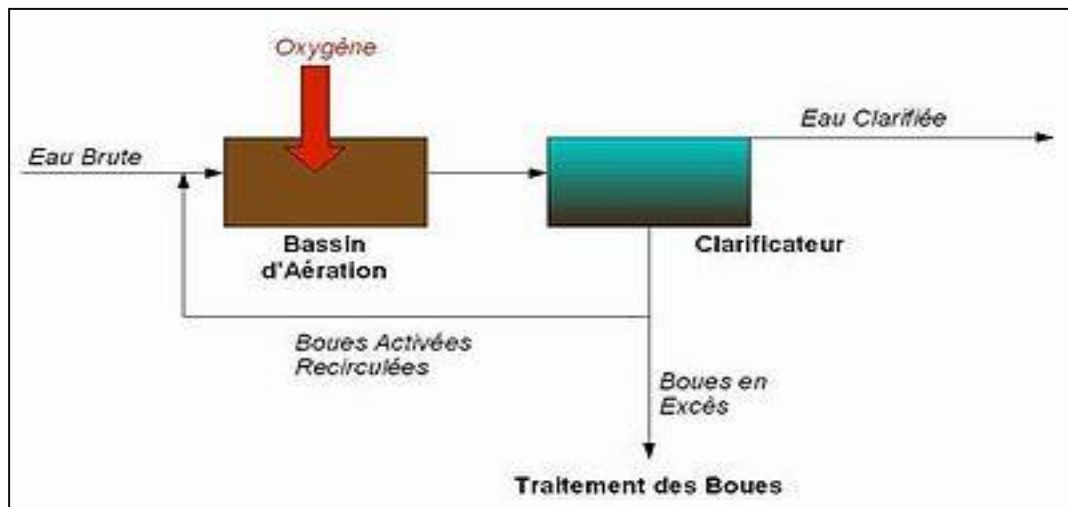


Figure I.1 : Schéma simplifié d'un système de traitement par boues activées [1]

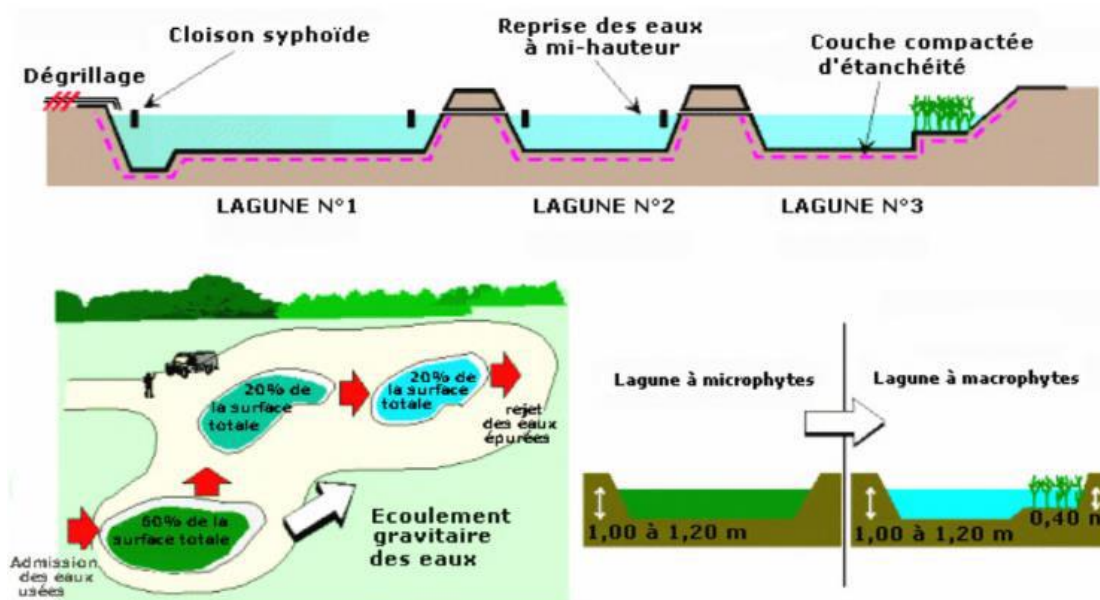


Figure I.2: Lagunage naturel (Pasquini, 2013).

## Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement



Figure I.3: Lagunage aéré [1].

### I.4.3.2. Procédés à cultures fixées :

1. Lits bactériens ou biofiltres: Composés de bassins contenant des supports inertes colonisés par des micro-organismes, ces lits utilisent un courant d'air naturel pour fournir de l'oxygène, avec des matériaux tels que des pouzzolanes et du coke comme supports (Sid, 2017).

2. Disques biologiques: Cette méthode utilise des disques parallèles montés sur un axe tournant, permettant aux micro-organismes de se développer et de former un film biologique (Fig I.4), tout en assurant leur oxygénation grâce à leur immersion partielle (Desjardins, 1997).

3. Filtres biologiques : Adaptés aux pays en développement, ces systèmes naturels d'épuration des eaux usées, comme le lagunage, tirent profit d'un climat chaud pour favoriser l'activité bactérienne (Guilloteau, 1992).

4. Bioréacteurs à membranes (BRM) : Ils combinent un traitement biologique de la pollution avec une séparation physique par membranes, permettant l'extraction du perméat sans nécessiter de pression supplémentaire (Gaid et al., 2007).

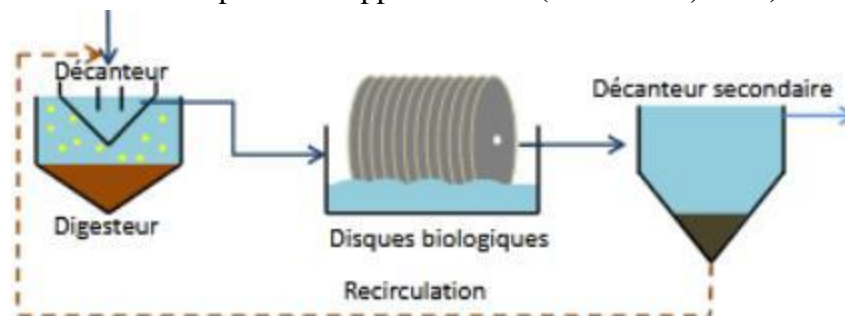


Figure I. 4: Disques biologiques (Pasquini, 2013).

# Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement

---

## ***1.4.4. Traitement tertiaire :***

Les traitements primaires et secondaires des eaux usées ne suffisent pas toujours à respecter les normes de rejet. Un traitement tertiaire est alors nécessaire pour éliminer les composés résistants, appelés « DCO dure » (**Obeid, 2014; Aboussaoud, 2014**). Ces méthodes, bien que souvent coûteuses (**Herteman, 2010**), sont adaptées en fonction du type de pollution et des exigences environnementales.

- Désinfection: Essentielle pour les eaux usées destinées à des zones balnéaires, elle utilise des méthodes telles que la chloration, l'ozonation et l'irradiation UV pour éliminer les germes pathogènes (**Alighardashi, 2007**).

- Filtration: Cette technique sépare les solides en suspension ou dissous en faisant passer le liquide à travers un milieu poreux, éliminant efficacement bactéries, matières organiques, kystes, ovules et virus, en fonction des caractéristiques des particules (**Yaman et al., 2006 ; Aloo et al., 2014**).

- Adsorption : est un procédé utilisé pour éliminer les polluants dissous, tels que les matières organiques, les métaux lourds, ou certains composés chimiques. Ce processus se produit lorsque ces contaminants se fixent à la surface d'un matériau adsorbant, souvent du charbon actif (**Mailler, 2015**).

- Oxydation chimique: Utilise des substances oxydantes pour éliminer des polluants non biodégradables ou toxiques, avec des agents tels que l'ozone et le chlore (**Bouaziz, 2014**).

- Filtration membranaire: Sépare les substances dans l'eau à l'aide d'une membrane fine, permettant de filtrer les particules solides tout en laissant passer l'eau et les sels, tout en concentrant la biomasse (**Sabiri et al., 2016; Jantaporn, 2016**).

- Traitement des boues: Le traitement des boues est l'ensemble des processus visant à réduire le volume, la toxicité et les contaminants des boues issues des stations d'épuration, afin de les rendre plus sûres pour l'élimination ou la valorisation (compost, énergie, etc.) (**Metahri, 2012**).

## **1.5. Utilisation des eaux usées traitées :**

La réutilisation des eaux usées est une pratique courante et économiquement viable, satisfaisant environ 85 % des besoins en eau dans les pays développés. Les principaux utilisateurs de l'eau recyclée incluent les centrales thermiques et nucléaires, ainsi que divers secteurs industriels tels que le lavage de voitures, le papier, l'acier, le textile et

## **Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement**

---

l'électronique (**David, 2013**). Dans l'agriculture, environ 70 % de l'eau mondiale est utilisée, tandis que l'usage domestique et industriel représente respectivement 10 % et 20 %. L'eau réutilisée est principalement destinée à l'irrigation, améliorant les rendements agricoles, même dans des zones moins adaptées (**David, 2013**). En milieu urbain et périurbain, les eaux usées réutilisées servent à irriguer les espaces verts, à l'aménagement paysager, au nettoyage des rues et des véhicules, et à la protection contre les incendies (**Ben Hassan, 2014**). L'eau ménagère traitée peut également être recyclée pour le lavage dans les bâtiments (**Carre, 2017**).

### **I.7. Historique des Méthodes d'Étude des Dysfonctionnements d'une Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) :**

L'étude des dysfonctionnements des stations d'épuration repose sur la surveillance, les inspections, les analyses et la modélisation. Ces actions permettent de résoudre les pannes et de prévenir les futurs problèmes, garantissant un traitement efficace des eaux usées et la protection de l'environnement.

L'étude des dysfonctionnements des stations d'épuration a évolué avec le temps, en parallèle des avancées technologiques et de la prise de conscience environnementale. Dans l'Antiquité, les systèmes d'évacuation des eaux usées se limitaient à éliminer les eaux sales sans traitement. Ce n'est qu'au XIXe siècle, avec l'urbanisation, que l'assainissement devient un enjeu de santé publique.

Avec l'industrialisation au XIXe siècle, les premières stations d'épuration apparaissent, utilisant des méthodes physiques et chimiques, mais souvent sujettes à des pannes mécaniques et des erreurs de conception. Le XXe siècle introduit des processus biologiques, utilisant des micro-organismes pour traiter l'eau, mais présentant des défis comme le maintien des conditions optimales pour ces micro-organismes. L'informatisation et les systèmes de contrôle automatique à partir des années 1970 ont amélioré la gestion des dysfonctionnements, mais ont ajouté de la complexité technique. Aujourd'hui, les études portent sur des défis modernes comme la gestion des micropolluants, l'écologie, et l'optimisation énergétique des stations.

Les stations d'épuration sont des systèmes complexes influencés par divers paramètres, tels que la qualité de l'eau, les aspects techniques, les coûts opérationnels, l'impact environnemental et la consommation d'énergie. Une approche multicritère permet d'examiner ces éléments simultanément, offrant une vision globale des interactions et des compromis nécessaires. Cela aide à identifier les causes des dysfonctionnements et à proposer des solutions équilibrées. Les méthodes multicritères permettent de simuler différents scénarios et d'anticiper les risques de dysfonctionnement sous diverses conditions. En évaluant plusieurs options, comme un changement de débit d'eaux usées, une modification des processus biologiques ou

## **Chapitre I : Aperçu général des eaux usées et des filières de traitement**

---

une panne d'équipement, les ingénieurs peuvent prévoir les impacts négatifs et élaborer des stratégies préventives.

L'intégration de ces méthodes d'analyse dans l'étude des dysfonctionnements des stations d'épuration améliore la compréhension des problèmes complexes, facilite la prise de décision et optimise l'utilisation des ressources, tout en tenant compte des dimensions techniques, économiques et environnementales.

### **I.8. Conclusion :**

Les eaux usées présentent une composition complexe, mais divers procédés d'épuration permettent de produire différentes qualités d'eau, adaptées à des usages spécifiques. Ces traitements réduisent les polluants à des niveaux considérés comme non dangereux.

Cette étude vise à mesurer l'efficacité d'une station d'épuration (STEP) en examinant plusieurs critères simultanément. L'analyse multicritères permet d'évaluer la performance de la STEP non seulement en termes de traitement des eaux, mais aussi selon divers aspects tels que la réduction des polluants, le coût opérationnel, l'impact environnemental, et l'efficacité énergétique. En combinant ces différents critères, l'étude cherche à fournir une vue globale et détaillée de la performance de la STEP, permettant ainsi une évaluation complète et équilibrée de son efficacité.

***Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.***

### Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.

L'analyse multicritère (AMC) est une approche essentielle dans le domaine de la prise de décision, particulièrement lorsque les enjeux sont complexes et impliquent plusieurs critères souvent en conflit. Ce chapitre se concentre sur les méthodes d'analyse multicritère, mettant en lumière leur pertinence, leurs applications et leurs avantages dans divers contextes, notamment environnementaux.

Le chapitre explore également les applications de l'AMC dans des domaines tels que la gestion des ressources en eau et l'aménagement des infrastructures. Ces exemples illustrent comment l'AMC peut guider des décisions éclairées en prenant en compte des critères multiples, contribuant ainsi à une gestion plus durable et efficace des ressources naturelles.

Parmi les méthodes discutées, l'AHP (Analytic Hierarchy Process) et ses variantes, comme l'AHP Fuzzy, sont mises en avant pour leur capacité à structurer les problèmes décisionnels complexes. Ce chapitre détaille les étapes de mise en œuvre de ces méthodes, ainsi que leurs avantages en termes de transparence et d'objectivité dans le processus décisionnel.

En somme, ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie de l'analyse multicritère, soulignant son rôle crucial dans la prise de décision moderne face à des défis environnementaux et sociaux complexes.

#### II.1 Analyse multicritère (AMC) :

L'analyse multicritères (AMC) constitue une méthode d'aide à la décision qui évalue simultanément plusieurs critères, souvent en conflit, afin d'examiner différentes alternatives ou solutions. Contrairement aux approches traditionnelles qui se focalisent sur un seul critère, tel que le coût ou l'efficacité, l'AMC prend en compte divers facteurs, notamment l'impact environnemental, la faisabilité technique, les coûts financiers, la durabilité et les bénéfices sociaux. Cette approche offre ainsi une vision plus globale et équilibrée des options disponibles.

##### II.1.1 Applications de l'AMC dans le domaine environnemental :

L'AMC s'est particulièrement imposée dans le domaine de l'environnement, où les enjeux sont complexes et les impacts multiples. Elle est couramment utilisée pour :

- **La gestion des ressources en eau** : Lors de la sélection des méthodes de traitement des eaux usées, l'AMC permet de comparer différentes solutions selon des critères tels que l'efficacité du traitement, les coûts d'exploitation, les émissions de gaz à effet de serre et l'impact sur les écosystèmes aquatiques (Anandalingam, G., et Olsson, 1989).
- **L'aménagement des infrastructures hydrauliques** : Lors de construction de barrages, de digues ou de systèmes d'irrigation, l'AMC permet d'évaluer les effets sur les populations locales, l'impact environnemental (biodiversité, habitats naturels), la faisabilité technique et les considérations financières [2].

- **Le traitement des eaux usées :** Dans les (STEP), l'AMC permet de comparer différentes technologies de traitement en fonction de critères tels que la réduction de la pollution, l'efficacité énergétique, l'encombrement des installations et la conformité aux normes environnementales (**Anaokar et al., 2018**).
- **La gestion des bassins versants :** L'AMC permet de combiner des critères hydrologiques (débit des cours d'eau, rétention des sols), écologiques (biodiversité, préservation des zones humides) et économiques (coût des infrastructures, impact sur l'agriculture) pour identifier les meilleures pratiques de gestion (**Philippe et al., 2018**).

### II.1.2 Les méthodes d'AMC les plus utilisées :

La littérature sur l'aide à la décision multicritère (AMC) propose une multitude de méthodes, telles que le DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), l'ELECTRE (Et Choice Translating Realit, le TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), le PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), l'AHP (Analytic Hierarchy Process) et l'AHP FUZZY (Fuzzy Analytic Hierarchy Process). Ces outils permettent d'évaluer et de comparer différentes options en fonction de critères multiples, facilitant ainsi la sélection de la solution optimale adaptée à un contexte donné (**Eseoglu et al. 2022; Juzni c-Zonta et al. 2022; Sucu et al. 2021; Ali et al. 2020; Eltarabishi et al. 2020**).

Ces méthodes ont fait leurs preuves dans divers secteurs. Par exemple ;

- ❖ TOPSIS a été utilisé pour sélectionner la machine de flottation la plus appropriée (**Stirbanovic et al., 2019**).
- ❖ PROMETHEE pour évaluer des technologies énergétiques en fonction de critères d'efficacité, de coût et de disponibilité (**Oberschmidt et al., 2010**).
- ❖ ELECTRE pour classer des sites de barrages souterrains (**Dortaj et al., 2020**).

### II.1.3 Utilisation de l'AHP et l'AHP FUZZY:

Les méthodes AHP et AHP FUZZY ont démontré leur polyvalence dans la résolution de problèmes décisionnels complexes. Elles ont notamment été utilisées pour :

- Déterminer le coefficient de ruissellement (**Lallam et al., 2018**).
- Evaluer des facteurs affectant les risques pour la santé publique liés aux inondations dans l'État de Kassala au Soudan (**Abbas et Routray, 2014**).
- Evaluer l'état de dégradation d'un pont en maçonnerie (**Lallam et al., 2021**).
- Evaluer l'impact des travaux fluviaux (**Hachol et al., 2017**).
- Sélectionner un site pour une usine de gestion des déchets solides dans la région métropolitaine de Valence en Espagne (**Aragones et al., 2010**).
- Développer un indice de résilience aux catastrophes afin d'évaluer les communautés côtières (**Orencio et Fuji, 2013**).

## Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.

---

- Sélectionner des projets de contrôle des inondations dans la planification des ressources en eau (**Willett et Sharda, 1991**).
- Modéliser la dégradation structurelle des canalisations d'eaux usées et pluviales (**Ennaouri et Fuamba, 2010**).

### II.1.4 Les avantages de l'AMC :

L'AMC offre plusieurs avantages :

- Prise en compte de la multidimensionalité des problèmes environnementaux.
- Transparence et objectivité des décisions.
- Amélioration de la communication entre les divers acteurs.
- Amélioration de la qualité des décisions.

En conclusion, l'analyse multicritère (AMC) constitue un outil essentiel pour la prise de décision en matière environnementale. Elle aide à organiser la réflexion, à intégrer divers critères et à choisir les solutions les mieux adaptées à un contexte spécifique. Son utilisation se généralise de plus en plus dans les secteurs de l'eau, de l'énergie, de l'aménagement du territoire et de la gestion des déchets.

### II.2.Méthode AHP :

La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) a été créée en 1980 par Thomas L. Saaty afin de simplifier la prise de décision dans des contextes complexes. Cette méthode repose sur la construction d'une structure hiérarchique qui permet de décomposer un problème décisionnel en différents niveaux d'éléments interdépendants. Une fois cette hiérarchie établie, des comparaisons par paires sont effectuées entre les critères de chaque niveau, permettant ainsi d'évaluer leur importance relative. Ces comparaisons sont ensuite utilisées pour calculer les priorités des différentes actions possibles, offrant ainsi une base rationnelle pour prendre une décision éclairée(**Linard et al,2016**).

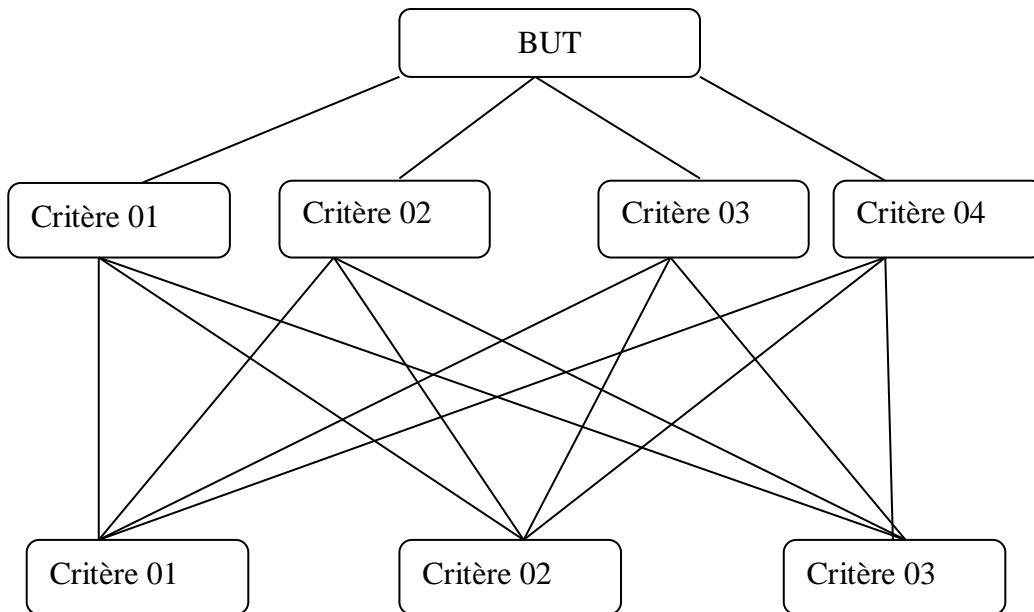
La méthode AHP se déroule en cinq étapes principales :

#### **Étape 1** : Organiser le problème sous forme de hiérarchie :

Le problème complexe est organisé sous forme d'une structure hiérarchique. Au sommet (niveau 0), se trouve l'objectif de décision, suivi d'un niveau (niveau 1) dédié aux critères de décision, puis d'un niveau (niveau 2) décrivant les caractéristiques de ces critères. Le dernier niveau présente les actions à évaluer (fig. II.1).

## Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.

Dans une hiérarchie plus élaborée, les critères peuvent être divisés en sous-critères et sous-sous-critères, créant ainsi des niveaux supplémentaires. Toutefois, la hiérarchie doit comprendre au minimum trois niveaux (Mu.E Pereyra-rojas, 2017).



**Figure II.1:** Structure de la hiérarchie AHP.

**Étape 2 :** À chaque niveau de la hiérarchie, il est essentiel de comparer les critères par paires de manière binaire, en les évaluant par rapport au critère du niveau supérieur. Cette comparaison se réalise en attribuant une note selon une échelle prédéfinie (Saaty T., 2003).

**Tableau II.1 :** Échelle de comparaison par paires de Saaty (Saaty T. L., 2003).

Degré d'importance	évaluation
1	Equivalence d'importance entre deux critères
3	Importance réduite d'un critère par rapport à un autre
5	Importance élevé d'un critère par rraport à un autre
7	Importance considérable
9	Importance cruciale
Les 2,4,6 et 8 peuvent etre utilisés pour exprimer des valeurs intermédiaires entre les degrés principaux.	

Cette étape facilite l'élaboration de matrices de comparaison (Tab. II.2).

**Tableau. II.2:** Tableau de comparaison des critères.

## Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.

	Critère 1,1	Critère 1,2	.....	Critère 1,n
Critère 1,1	1	a <sub>12</sub>	.....	a <sub>n1</sub>
Critère 1,2	a <sub>21</sub>	1	.....	a <sub>n2</sub>
.....	.....	.....	.....	.....
Critère 1,n	a <sub>1n</sub>	a <sub>2n</sub>	.....	1

Avec :  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$  (2.1)

Selon la convention, la comparaison se fait toujours des éléments à gauche (lignes) vers ceux en haut (colonnes).

Étape 3 : Pour déterminer le poids de chaque critère, on procède comme suit : chaque élément de la matrice est divisé par la somme de sa colonne.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_j a_{ij}} \quad (2.2)$$

- Nous procédons ensuite au calcul de la moyenne arithmétique des valeurs de chaque ligne. Chaque ligne représente un critère, et la moyenne obtenue pour ce critère détermine son poids (p<sub>i</sub>) par rapport au critère supérieur.

$$p_i = \frac{1}{n} \sum_j b_{ij} \quad (2.3)$$

n représente le nombre de critères à comparer.

Remarque : La somme des poids des critères d'un même nœud d'arborescence est égale à «1».

### Étape 4 : Vérification de la cohérence des jugements

Dans un processus décisionnel, nos évaluations peuvent parfois paraître aléatoires. Néanmoins, il est souvent difficile d'assurer une cohérence parfaite. Un des principaux atouts de l'AHP est la possibilité de calculer le ratio de cohérence (RC), qui doit être inférieur ou égal à 10 % pour que les jugements soient considérés comme cohérents.

Cet indice est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.4)$$

L'indice de cohérence (IC) est déterminé à partir de la valeur propre maximale ( $\lambda_{\max}$ ) de la matrice de comparaison, calculée comme suit :

**Tableau .II.3:** Calcul de  $\lambda_{\max}$ .

	Critère 1.1	Critère 1.2	.....	Critère 1.n
Critère 1.1	$p_1^* a_{11}$	$p_1^* a_{12}$	.....	$p_1^* a_{n1}$
Critère 1.2	$p_2^* a_{21}$	$p_2^* a_{22}$	.....	$p_2^* a_{n2}$
.....	.....	.....	.....	.....
Critère 1.n	$p_n^* a_{1n}$	$p_n^* a_{2n}$	.....	$p_n^* a_{nn}$
	$d1 = \sum_i p_i * ai1$	$d2 = \sum_i p_i * ai2$	.....	$dn = \sum_i p_i * ain$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_j \frac{d_j}{p_j} \quad (2.5)$$

Enfin, le ratio de cohérence (RC) est exprimé par l'équation suivante :

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (2.6)$$

Où RI représente l'indice de cohérence (voir tableau II.4).

**Tableau II.4:** L'indice aléatoire RI (Ennaouri I. 2010).

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

n est le nombre de critères à comparer.

Un ratio de cohérence (RC) inférieur à 10 % est généralement jugé acceptable. Dans le cas contraire, il est nécessaire de revoir les comparaisons par paires pour réduire les incohérences.

**-Étape 5 :** Synthèse des priorités finales :

La dernière étape consiste à résumer un ensemble de priorités globales pour parvenir à une décision finale. (Ayadi D. Azzabi L. Kobi A. Robledo C. Chabchoub H., 2008).

### II.2.2 Avantages de l'AHP et ses applications dans le traitement des eaux usées :

L'analyse hiérarchique analytique (AHP) s'est imposée comme un outil de choix dans les processus décisionnels liés aux technologies de traitement des eaux usées (STEP). Sa popularité repose sur plusieurs atouts :

- **Simplicité et accessibilité** : L'AHP est reconnue pour sa structure méthodologique claire et sa facilité d'implémentation, même sans connaissances approfondies en statistiques.
- **Impartialité** : En structurant les critères de décision de manière hiérarchique, l'AHP permet de comparer les différentes options de manière objective et de réduire les biais subjectifs (Aziz et al., 2016; Eltarabishi et al., 2020; Hamlat et al. 2022)
- **Flexibilité** : Cette méthode s'adapte à une grande variété de problèmes complexes, en intégrant des critères quantitatifs et qualitatifs (Radwan et al., 2018)

### II.2.3 Applications multiples dans le domaine des STEP :

Les études menées ces dernières années témoignent de l'efficacité de l'AHP dans le domaine des STEP. Elle a été appliquée avec succès pour :

- **Sélection de technologies de traitement des eaux usées** : L'AHP aide à choisir les technologies de traitement les plus adaptées en fonction de critères environnementaux, économiques et techniques (Ćetkovic et al. 2023).
- **Sélection d'un site alternatif pour une station de traitement des eaux usées en milieu urbain**: Elle permet d'évaluer l'implantation de stations d'épuration en tenant compte de facteurs géographiques, socio-économiques et environnementaux (Hamlat et al. 2022).
- **Comparaison de performances** : L'AHP est utilisée pour comparer les performances de différentes stations d'épuration ou de différents procédés de traitement (Hu et al. 2016 ; Upadhyay 2017).
- **Optimisation de systèmes de traitement** : Elle contribue à optimiser les systèmes de traitement en identifiant les leviers d'amélioration et en évaluant les impacts de différentes configurations (Dursun M. 2016 ; Arroyo et Molinos-Senante 2018 ; Srdjevic et al., 2017)
- **évaluation des performances des systèmes d'assainissement urbains**(Marzouk et al. 2011).
- **détermination des poids des critères et sous-critères des technologies de traitement des eaux usées municipales** (Shubham et al. 2022; Kamble et al. 2017; Karimi et al. 2011; Liu et al. 2020; Ouyang et al. 2015).
- **Sélection de solutions naturelles pour le traitement des eaux usées** Ouyang et al., 2015.

En résumé, l'AHP s'est avéré être un outil puissant et flexible pour l'aide à la décision dans le domaine complexe du traitement des eaux usées. Sa capacité à structurer les problèmes, à intégrer plusieurs critères et à fournir des résultats clairs en fait un atout précieux pour les ingénieurs, les décideurs et les chercheurs.

### II.3 Méthode FAHP:

L'Analyse Hiérarchique Processus Flou (**FAHP**; **F**uzzy **A**nalytical **H**ierarchy **P**rocesses) est une extension de l'Analyse Hiérarchique Processus (AHP) classique, conçue pour mieux gérer l'imprécision et l'incertitude inhérentes à de nombreux problèmes de décision, en particulier dans les domaines où les jugements humains sont subjectifs.

#### II.3.1 Fonctionnement de la méthode FAHP :

La méthode FAHP suit un processus structuré similaire à celui de l'AHP classique, mais elle intègre des éléments de logique floue pour gérer l'incertitude dans les évaluations. Voici les étapes clés de la méthode FAHP :

##### a) Structuration du problème en hiérarchie :

Pour prendre une décision éclairée, il est essentiel de commencer par définir clairement l'objectif principal que l'on souhaite atteindre. Une fois cet objectif établi, il convient d'identifier les critères pertinents qui permettront d'évaluer les différentes options disponibles. Ces critères peuvent être décomposés en sous-critères si nécessaire, afin de fournir une analyse plus fine et détaillée. Il est important que cette hiérarchie soit structurée en au moins trois niveaux : l'objectif principal, les critères associés et les alternatives possibles.

##### b) Établissement des comparaisons par paires floues

Les décideurs effectuent des comparaisons par paires à chaque niveau de la hiérarchie, en utilisant des nombres flous qui reflètent leur degré de préférence (**Kahraman et al., 2004**).

Les Nombres Flous Triangulaires (NFT) :

Parmi les diverses formes de nombres flous, le Nombre Flou Triangulaire (NFT) est celui qui est le plus couramment utilisé dans la littérature. Ce NFT se définit par un triplé (l, m, u), où l représente la valeur inférieure, m la valeur moyenne, et u la valeur supérieure. Le NFT se distingue par sa simplicité d'utilisation, sa facilité de calcul et son efficacité pour effectuer des opérations dans un contexte flou. La fonction d'appartenance du NFT est illustrée à travers la Figure II.2 et formulée comme suit :

$$\mu_{\tilde{N}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{si non} \end{cases} \quad (2.7)$$

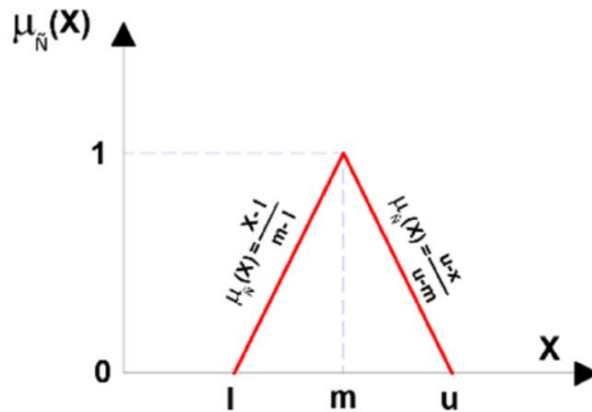


Figure II.2: La courbe du Nombre Flou Triangulaire (Lallam et al., 2023).

Considérant deux Nombres Flous Triangulaires (NFT)  $\tilde{A}_1=(l_1,m_1,u_1)$  et  $\tilde{A}_2=(l_2,m_2,u_2)$ , les opérations fondamentales relatives aux nombres flous triangulaires sont les suivantes (Brunelli, 2014):

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2.8)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (2.9)$$

$$\tilde{A}_1 (/) \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) (/) (l_2, m_2, u_2) = \left( \frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (2.10)$$

$$\tilde{A}_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (2.11)$$

Échelle linguistique :

Les jugements sont souvent exprimés à l'aide d'une échelle linguistique (par exemple, "très important", "modérément important"), qui est ensuite convertie en valeurs numériques floues.

Tableau II.5. Échelle de conversion floue triangulaire (Lallam et al., 2023).

Echelle linguistique d'importance	Echelle Flou Triangulaire	Echelle réciproque floue triangulaire
Importance égale	(1,1,1)	(1,1,1)
Importance modérée	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
Importance forte	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
Importance très forte	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
Importance absolue	(9,9,9)	(1/9,1/9,1/9)

(1,2,3), (3,4,5), (5,6,7) et (7,8,9) : valeurs intermédiaires entre deux évaluations servant à affiner le jugement.

### c) Construction des matrices de comparaison :

Pour chaque niveau de la hiérarchie, une matrice de comparaison par paires est élaborée en utilisant des nombres flous triangulaires qui illustrent les comparaisons entre les critères. Par exemple, si un expert juge qu'un critère est « environ deux fois plus important » qu'un autre, cela peut être représenté par le nombre flou triangulaire (1, 2, 3). De manière similaire, la matrice de comparaison par paires  $[\tilde{A}]$  est constituée en rassemblant des évaluations individuelles qui comparent deux éléments à la fois, comme suit (Wang, 2011):

$$[\tilde{A}] = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1,1,1) & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

où  $i$  et  $j$  varient de 1 à  $n$  (nombre de paramètres à comparer), et  $(\tilde{a}_{ij})$  représente la préférence de l'expert pour le critère  $i$  par rapport au critère  $j$ . La matrice triangulaire inférieure  $[\tilde{A}]$  est calculée en utilisant l'Équation 2.13 :

$$(\check{a}_{ji}) = (\check{a}_{ij})^{-1} = \left( \frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}} \right), \text{ for } i < j \quad (2.13)$$

### d) Calcul des poids flous

Une fois que les comparaisons sont effectuées, les poids flous sont calculés en utilisant des méthodes statistiques appropriées, telles que la moyenne géométrique. Ces poids reflètent l'importance relative des critères et alternatives dans le contexte du problème étudié.

#### Méthode de la Moyenne Géométrique Floue.

La méthode de la moyenne géométrique floue permet d'intégrer les évaluations individuelles, exprimées sous forme de nombres flous triangulaires, en une valeur unique représentative pour chaque comparaison par paires. Cette approche maintient la nature floue des jugements des experts tout en offrant une estimation consensuelle.

Selon Buckley (Buckley, 1985), la matrice  $[\tilde{A}]$  est agrégée par la moyenne géométrique floue  $\tilde{r}_i$  en utilisant l'expression suivante.

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right)^{1/n}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.14)$$

#### Calcul des poids flous :

Les poids flous  $\tilde{w}_i$  sont déterminés en multipliant chaque moyenne géométrique floue  $\tilde{r}_i$  par une somme vectorielle, comme indiqué ci-dessous (Rogulj et al., 2021) :

$$\tilde{w}_i = (lwi, mwi, uwi) = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}, i=1,2,\dots,n \quad (2.15)$$

Par la suite, les poids flous  $\tilde{w}_i$  doivent être défuzzifiés par la méthode appelée centre de gravité (COA) comme suit :

$$W_i = \frac{lwi+mwi+uwi}{3}, i=1,2,\dots,n \quad (2.16)$$

En fin on normalise les poids défuzzifiés en utilisant l'expression suivante.

$$nW_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, i=1,2,\dots,n \quad (2.17)$$

### e) Test de cohérence

Pour assurer la cohérence de la matrice de jugement, un processus de défuzzification a été réalisé en utilisant la méthode proposée par Kwong et Bai (Kwong, 2003). Chaque TFN dans la matrice par paires est transformé en un nombre net  $c_{ij}$  de la manière suivante :

$$c_{ij} = \frac{(l_{ij}+4m_{ij}+u_{ij})}{6}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.18)$$

Ensuite, la matrice de comparaison nette par paire [C] est élaborée de la manière suivante (Yang. Et al., 2018):

$$[C] = (c_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & 1 & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

L'indice de cohérence, noté *CI* (Yang. Et al., 2018; Saaty et al., 1987) , se calcule de la manière suivante :

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \quad (2.20)$$

Où  $\lambda \max$  désigne la valeur propre maximale de la matrice [C]. Le rapport de consistance (CR) est calculé selon l'expression (2.21), où  $\lambda \max$  représente également la valeur propre maximale de la matrice [C]. Le rapport de consistance, noté CR, est donné par l'équation suivante :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.21)$$

Où CI désigne l'indice de cohérence et RI correspond à l'indice aléatoire présenté dans le tableau II.5 Selon Saaty (Saaty et al., 1987), les matrices avec des valeurs de CR inférieures ou égales à 10 % sont considérées comme acceptables, tandis que celles dont les valeurs de CR dépassent 10 % sont rejetées.

### f) Synthèse des résultats

Les poids flous normalisés obtenus sont ensuite agrégés pour fournir une évaluation globale des alternatives. Cela permet de déterminer quelle alternative est la plus appropriée en fonction des critères établis (Chang, 1996).

### II.3.2 Comparaison entre l'AHP et la FAHP :

L'AHP classique s'appuie sur des comparaisons par paires précises entre les éléments d'une hiérarchie. Cependant, dans de nombreuses situations réelles, il peut être difficile d'obtenir des jugements exacts en raison du manque d'informations ou de la subjectivité des critères. La FAHP introduit la notion de nombres flous pour représenter cette imprécision. Ainsi, au lieu d'attribuer une valeur précise à chaque comparaison, on utilise un intervalle ou une distribution de probabilité pour exprimer le degré de préférence d'un élément par rapport à un autre.

#### Comparaison entre la méthode AHP et FAHP

##### 1. Définition et principes de base

- AHP (Analytic Hierarchy Process) : est une méthode de prise de décision multicritères qui décompose un problème complexe en une hiérarchie de critères et sous-critères. Les décideurs effectuent des comparaisons par paires pour évaluer l'importance relative des critères, ce qui permet de calculer des poids et de classer les alternatives.

- FAHP : intègre la logique floue dans le processus AHP pour gérer l'incertitude et l'imprécision des jugements humains. Au lieu d'utiliser des valeurs numériques précises pour les comparaisons, cette méthode utilise des valeurs floues, permettant ainsi une évaluation plus nuancée des critères.

##### 2. Gestion de l'incertitude.

- AHP : Ne prend pas en compte les incertitudes dans les jugements. Les décisions reposent sur des valeurs crispes, ce qui peut ne pas refléter fidèlement la réalité lorsque les informations sont vagues ou subjectives.

## Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.

---

- FAHP : Gère explicitement l'incertitude en utilisant des évaluations floues. Cela permet aux décideurs d'exprimer des opinions plus nuancées et d'intégrer des jugements subjectifs, rendant le processus décisionnel plus robuste face à l'incertitude (**Van Laarhoven et al., 1983**).

### 3. Complexité et facilité d'utilisation

- AHP : Bien que relativement simple à utiliser, la méthode peut devenir complexe avec un grand nombre de critères et d'alternatives, nécessitant de nombreuses comparaisons par paires.

- FAHP : La complexité augmente car elle nécessite la compréhension et l'application de concepts de logique floue. Les décideurs doivent être familiarisés avec la manipulation des valeurs floues, ce qui peut représenter un défi pour certains utilisateurs (**Mikhailov et al., 2003**).

### 4. Interprétation des résultats

- AHP : Les résultats sont généralement plus faciles à interpréter car ils reposent sur des valeurs numériques précises. Les poids attribués aux critères sont clairs et directement comparables.

- FAHP : L'interprétation peut s'avérer plus complexe en raison de la nature floue des résultats. Les décideurs peuvent éprouver des difficultés à saisir comment les valeurs floues se traduisent en décisions concrètes. En effet, cela nécessite l'ajout d'une étape supplémentaire pour « défuzzifier » les résultats, c'est-à-dire convertir les poids flous en valeurs précises après les calculs. Cette complexité rend la FAHP plus exigeant sur le plan computationnel, mais elle permet une meilleure représentation de la réalité dans des situations où l'incertitude est significative.

### 5. Précision et pertinence des résultats

- AHP : Peut parfois donner une image simplifiée de la réalité, surtout si les jugements ne capturent pas toute la complexité du problème.

- FAHP : Offre une meilleure précision dans le traitement des préférences subjectives et peut fournir une évaluation plus représentative lorsque les jugements sont incertains ou vagues. Cependant, il existe un risque que les résultats soient trop influencés par les biais subjectifs du décideur (**Kahraman et al., 2003**).

## II.4. Conclusion

## **Chapitre II : Analyse multicritère et les méthodes AHP et FAHP.**

---

L'AHP et l'FAHP sont deux méthodes puissantes pour la prise de décision multicritères, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients. L'AHP est préférable lorsque les informations sont claires et précises, tandis que l'FAHP excelle dans des situations où l'incertitude et la subjectivité jouent un rôle crucial dans le processus décisionnel. Le choix entre ces deux méthodes dépendra donc du contexte spécifique de la décision à prendre.

***Chapitre III : L'estimation  
du degré de performance  
pour la station d'épuration  
Complexe textile de Sebdou.***

## **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

### ***Chapitre III : Estimation du degré de dysfonctionnement de la station d'épuration du complexe textile de Sebdou***

Le complexe textile de Sebdou, situé près de Tlemcen, joue un rôle clé dans la production de tissus. Pour garantir un traitement efficace de ses effluents industriels, l'entreprise a établi une station d'épuration. Cette section explorera en détail les spécificités de cette station, en soulignant les divers facteurs susceptibles d'affecter son rendement et sa capacité à respecter les normes environnementales.

#### **III.I La station d'épuration du complexe textile de Sebdou.**

##### **III.I.1 Présentation et description**

Le complexe textile de Sebdou, une unité de production de DENITEX située à 37 km au sud de Tlemcen, est spécialisé dans la production et la commercialisation de tissus comme le denim (bleu jean) et la gabardine. Construit en 1976 et mis en service depuis 1979, ce site industriel couvre une superficie de 16,9 hectares et dispose d'installations pour la filature, le tissage, le finissage, ainsi que d'une station d'épuration et d'un poste d'énergie électrique.

La STEP a été stratégiquement positionnée à proximité de l'usine, permettant ainsi le déversement direct des effluents liquides dans l'oued Tafna (Fig III.1). Conformément aux études réalisées par Belhadji (2016), la STEP est conçue pour traiter une eau brute avec des caractéristiques spécifiques. Elle doit gérer un pH variant entre 8,5 et 12, une température comprise entre 30°C et 40 °C, ainsi que des matières sédimentaires ne dépassant pas 5 mg/l. En ce qui concerne la qualité organique de l'eau, la DBO5 est d'environ 400 mg/l, tandis que la DCO (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) se situe entre 800 et 1400 mg/l. De plus, l'oxydabilité au KMnO<sub>4</sub> est mesurée entre 600 et 1000 mg/l, et le coefficient de biodégradabilité est compris entre 2 et 3,5.

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdoou.

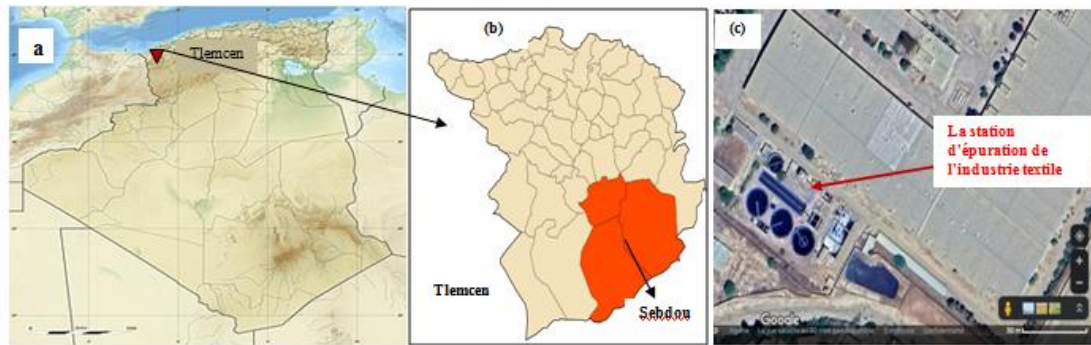


Figure III.1 : localisation de la STEP de Sebdoou.

### III.I.2 Description du processus de traitement des eaux usées industrielles de la STEP :

Le traitement des eaux usées à la STEP du complexe textile de Sebdoou se déroule de manière simplifiée. Dans un premier temps, les eaux usées subissent un prétraitement qui comprend le criblage et l'élimination des sables. Elles sont ensuite dirigées vers un bassin de mélange et d'égalisation d'une capacité de 1200 m<sup>3</sup>, où les eaux usées domestiques se mélangent avec les eaux usées industrielles. Un ajustement du pH est effectué pour atteindre une valeur de 7, à l'aide d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et d'une solution de chaux (Ca(OH)<sub>2</sub>) dans le bassin de mélange et de neutralisation N°1, qui a une capacité de 96 m<sup>3</sup>.

Les eaux usées mélangées sont ensuite transférées vers un bassin de floculation-décantation d'une capacité de 840 m<sup>3</sup> et d'un diamètre de 18 m, où les boues se séparent de l'eau claire.

Le processus se poursuit dans le bassin de mélange et de neutralisation N°2, où le pH est à nouveau ajusté à 7 avant d'entrer dans le bassin de traitement biologique, qui a une capacité de 100 m<sup>3</sup>. Dans ce dernier, des bactéries sont utilisées pour réduire la pollution organique présente dans les eaux usées.

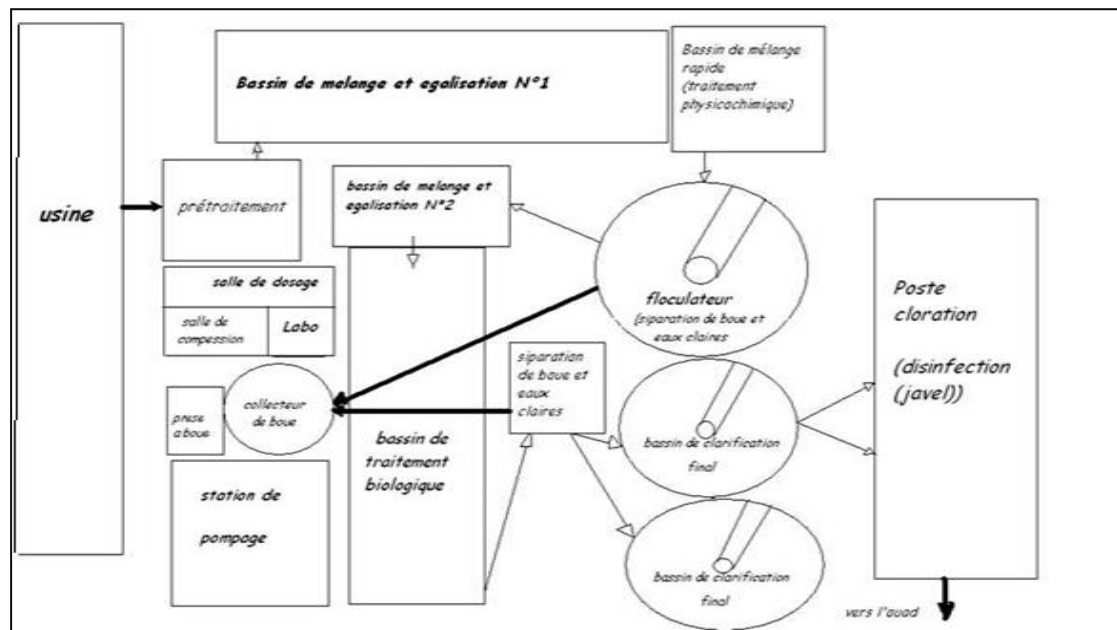
Après la dégradation de la pollution, les eaux usées sont dirigées vers un clarificateur où les liquides se séparent des solides. L'installation comprend deux clarificateurs circulaires, chacun ayant une superficie de 250 m<sup>2</sup>, conçus pour recueillir les boues.

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

Chaque clarificateur est équipé d'un pont rotatif qui permet de racler les boues accumulées au fond.

Ensuite, les eaux usées traitées passent par un bassin de chloration d'une capacité de 121 m<sup>3</sup>, suivi d'un traitement des boues, avant d'être rejetées dans l'oued Tafna.

La Fig. III.2 illustre les différentes étapes du traitement à la station d'épuration de Sebdou.



**Figure.III.2 :** Étapes du traitement des eaux usées à la station d'épuration de Sebdou(Belhadji, 2016).

### III.II Estimation du degré de dysfonctionnement de la STEP du complexe textile de Sebdou.

#### III.II.1 Procédure :

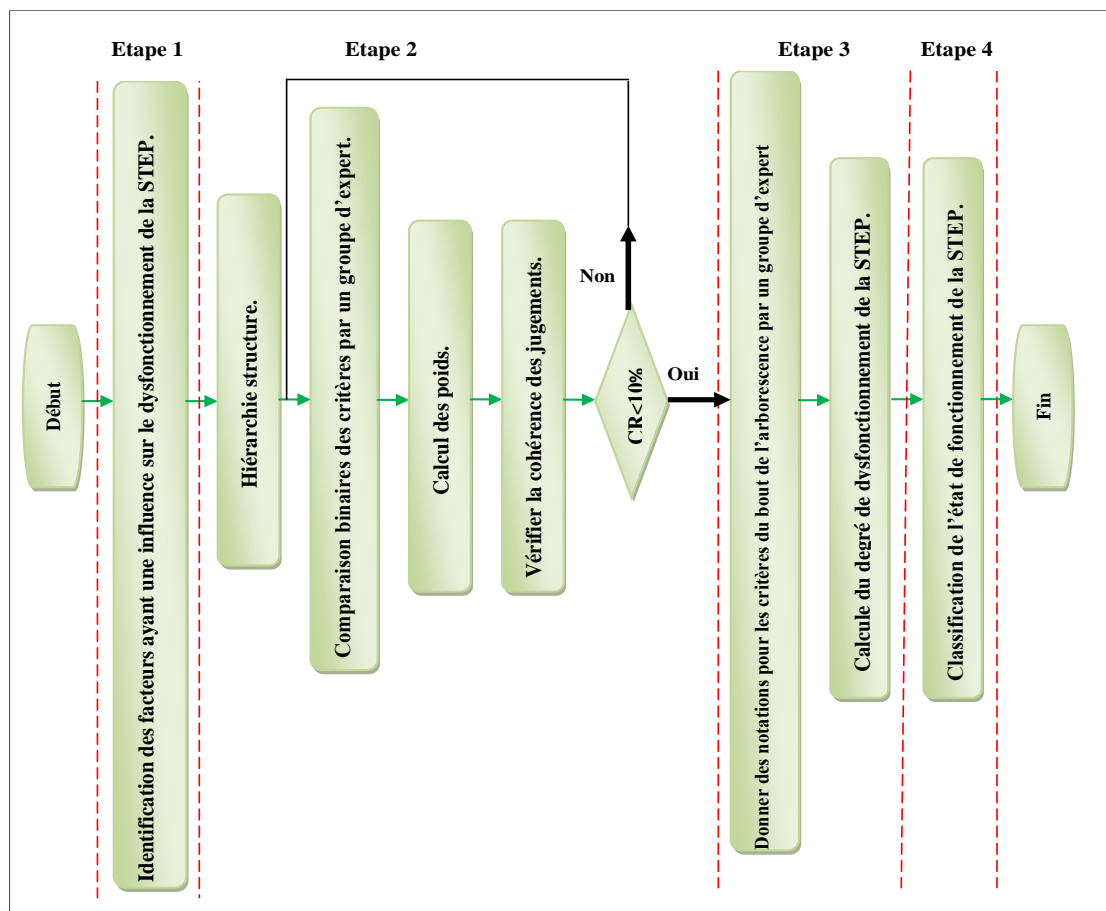
Pour évaluer le degré de dysfonctionnement de la STEP, nous avons mis en œuvre une démarche structurée en quatre étapes, comme illustré en figure III.3.

1. **Identification des facteurs clés :** Dans un premier temps, nous avons identifié les critères ayant un impact direct sur les dysfonctionnements de la STEP.
2. **Hiérarchisation et pondération :** Nous avons ensuite établi une structure hiérarchique et appliqué la méthode AHP (Analyse Hiérarchique des Processus)

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

pour attribuer des poids aux différents facteurs et sous-facteurs, reflétant ainsi leur importance relative sur le traitement des eaux usées.

3. **Évaluation et calcul du score:** En évaluant les critères situés aux extrémités de la hiérarchie, nous avons calculé un score global à l'aide d'une formule spécifique.
4. **Diagnostic de l'état de fonctionnement:** Le score obtenu a été déterminant pour évaluer de manière quantitative l'état de fonctionnement de la station.



**Figure .III.3 :** Diagramme de la procédure d'estimation du degré de dysfonctionnement de la STEP du complexe textile de Sebdou.

### III.II.2 Identification des facteurs de dysfonctionnement de la STEP :

Suite à un processus d'inspection rigoureux, nous avons identifié les principaux facteurs influençant le fonctionnement de la STEP de Sebdou. Ces critères englobent des facteurs aussi variés que les conditions externes, les caractéristiques des ouvrages, les équipements utilisés, les produits chimiques ajoutés et les paramètres physico-chimiques des eaux traitées.

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

---

### 1- Ouvrages :

Nous avons identifié deux sous-critères majeurs :

#### • **Charge hydraulique :**

La charge hydraulique correspond au volume d'eau que la station est capable de traiter par unité de temps. Un équilibre délicat doit être maintenu pour garantir un traitement optimal des eaux usées (CEMAGREF ,2008).

○ **Charge hydraulique faible :** Lorsque le volume d'eau à traiter est nettement inférieur à la capacité de la station, le temps de séjour des eaux usées dans les bassins est excessivement long (supérieur à une heure). Bien que cela puisse sembler bénéfique, une charge hydraulique trop faible peut engendrer des problèmes tels que :

▪ **Sédimentation excessive :** Les particules solides ont davantage de temps pour se déposer au fond des bassins, formant des couches épaisses de boues qui réduisent le volume utile et peuvent entraver les processus biologiques.

▪ **Développement de micro-organismes indésirables :** Un temps de séjour prolongé favorise la prolifération de certaines bactéries qui peuvent dégrader la qualité de l'effluent.

▪ **Risque de stratification :** Les différentes couches d'eau dans les bassins peuvent se stratifier, limitant les échanges d'oxygène et de nutriments nécessaires aux processus biologiques.

• **Charge hydraulique moyenne :** Un temps de séjour compris entre 20 et 30 minutes est généralement considéré comme optimal, permettant un bon équilibre entre les différents processus de traitement.

• **Charge hydraulique élevée :** Lorsque la station est surchargée, le temps de séjour des eaux usées est fortement réduit ( $T_s$  inférieur à 0) (AFNOR ,2001). Cela entraîne :

**Surcharge des bassins:** Les bactéries n'ont pas suffisamment de temps pour dégrader la matière organique, ce qui se traduit par une sortie de matières en suspension et de polluants dans l'effluent.

## **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

**Usure prématurée des équipements:** Les pompes, les aérateurs et autres équipements sont soumis à des contraintes excessives, ce qui réduit leur durée de vie et augmente les coûts de maintenance.

**Risque de débordement:** En cas de surcharge extrême, les bassins peuvent déborder, entraînant une pollution directe du milieu récepteur.

Remarque : le temps de séjour noté par  $T_s$  correspond au temps moyen qu'une particule d'eau passe dans un bassin de traitement.

- **Entretien des ouvrages :**

Un entretien régulier et adapté est indispensable pour assurer le bon fonctionnement de la station et prolonger la durée de vie de ses équipements (**Rodier, J., et al. 2016**).

Un entretien insuffisant peut entraîner :

**Pannes fréquentes:** L'usure des équipements n'étant pas compensée, les pannes se multiplient, entraînant des arrêts de fonctionnement et des perturbations dans le traitement des eaux usées.

**Dégradation des performances:** L'encrassement des équipements, la corrosion des tuyauteries et d'autres dégradations réduisent l'efficacité du traitement.

**Augmentation des coûts de fonctionnement:** Les réparations et les remplacements d'équipements sont coûteux et peuvent entraîner une hausse significative des dépenses de fonctionnement de la station.

### **2- Équipements clés de la station d'épuration :**

La station d'épuration (STEP) est dotée d'une variété d'équipements, chacun ayant un rôle spécifique dans le traitement des eaux usées. Les principaux équipements examinés dans cette étude incluent (**Baumont, H. 2015**):

-Pompes : Éléments moteurs du système, les pompes assurent le transfert des eaux usées d'un bassin à l'autre, leur levage et leur distribution dans les différentes unités de traitement. Leur performance, en termes de débit et de hauteur manométrique, ainsi que leur état de maintenance, ont un impact direct sur l'efficacité globale de la station.

-Conduites : Constituant le réseau veineux de la STEP, les conduites transportent les eaux usées entre les différents équipements. Leur dimensionnement, leur état

## **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

(corrosion, encrassement) et leur étanchéité sont cruciaux pour éviter les pertes de charge et les fuites.

-Panier de dégrillage : Premier élément de traitement, il retient les gros déchets (bouts de bois, plastiques, etc.) présents dans les eaux usées brutes afin de protéger les équipements situés en aval.

- Crible spécial : Utilisé pour séparer les solides des liquides, ce crible permet de filtrer les eaux usées et d'éliminer les particules fines.

- Bennes : Elles sont utilisées pour évacuer les déchets solides retenus par le dégrillage et pour nettoyer les bassins.

-Aérateurs immergés : Indispensables aux procédés biologiques, ces aérateurs injectent de l'air dans les bassins pour oxygéner les micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique. Leur bon fonctionnement est crucial pour maintenir une activité biologique optimale.

-Agitateurs : Ils assurent l'homogénéisation des boues et des réactifs dans les bassins, favorisant ainsi les réactions chimiques et biologiques.

-Compresseur d'air : Fournissant l'air nécessaire aux aérateurs, ce compresseur joue un rôle essentiel dans l'oxygénation des bassins.

-Appareillages de mesure : Ces dispositifs permettent un contrôle continu des paramètres physico-chimiques des eaux usées (pH, conductivité, température, etc.), afin d'ajuster les processus de traitement en fonction des besoins.

-Presse à boue : En fin de chaîne, cette presse déshydrate les boues produites lors du traitement, réduisant ainsi leur volume et facilitant leur élimination.

Une défaillance dans l'un de ces éléments peut entraîner des perturbations significatives dans le processus de traitement et compromettre la performance globale de la STEP.

### **3. Produits chimiques injectés :**

Le traitement des eaux usées repose sur l'utilisation judicieuse de produits chimiques (coagulation, désinfection, etc.) pour optimiser la décantation des particules, l'élimination des micro-organismes et la qualité globale de l'effluent. Un dosage

## **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

inadéquat de ces produits peut compromettre l'efficacité du traitement, générer des sous-produits indésirables et avoir des répercussions sur l'environnement (Tchobanoglous, G. et al .2003).

### **Impact d'un dosage inapproprié :**

Sous-dosage : Un dosage insuffisant de coagulant peut entraîner une décantation incomplète des particules, conduisant à une turbidité élevée de l'effluent et à une augmentation de la charge organique. Un dosage insuffisant de désinfectant peut laisser subsister des micro-organismes pathogènes, compromettant ainsi la qualité sanitaire de l'effluent (AESN, 2015).

Surdosage : Un excès de produits chimiques peut avoir des conséquences néfastes sur l'environnement et sur le fonctionnement de la station. Par exemple, un excès de coagulant peut entraîner la formation de boues difficiles à traiter, tandis qu'un excès de désinfectant peut générer des sous-produits de désinfection (SPD) toxiques pour la faune et la flore aquatique (Droste, R. L. 1997).

### **4-Paramètres physico-chimiques :**

Les paramètres physico-chimiques des eaux usées fournissent des informations cruciales sur leur qualité et leur composition. Leur suivi régulier permet d'évaluer l'efficacité du traitement et d'identifier d'éventuels dysfonctionnements (Barillon, B., & Liénard, A. 2013).

**-DBO5 (Demande Biochimique en Oxygène) :** La DBO5 mesure la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour dégrader la matière organique biodégradable présente dans l'eau. Plus la DBO5 est élevée, plus la charge organique est importante et plus la demande en oxygène des micro-organismes est grande. Une DBO5 élevée indique une pollution organique significative et peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau réceptrice.

**pH :** Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Un pH optimal est essentiel pour le bon fonctionnement des processus biologiques de traitement. Un pH trop acide ou trop basique peut inhiber l'activité des micro-organismes, affecter l'efficacité des produits chimiques utilisés et corroder les équipements.

### **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

**Température :** La température influence la vitesse des réactions chimiques et biologiques. Une température élevée accélère généralement les réactions, mais peut également favoriser la prolifération de certains micro-organismes indésirables. Une température trop basse ralentit les réactions et peut réduire l'efficacité du traitement biologique.

**DCO (Demande Chimique en Oxygène) :** La DCO mesure la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique et inorganique présente dans l'eau, qu'elle soit biodégradable ou non. La DCO fournit une indication de la pollution globale de l'eau et permet de compléter l'information donnée par la DBO5.

**Débit :** Le débit représente le volume d'eau traité par la station par unité de temps. Des variations importantes du débit peuvent perturber l'équilibre des processus biologiques et entraîner des fluctuations de la qualité de l'effluent. Un débit trop faible peut favoriser la sédimentation et la formation de boues, tandis qu'un débit trop élevé peut surcharger les installations et réduire l'efficacité du traitement.

**-Températures extrêmes :** Le froid intense peut provoquer le gel des canalisations et réduire l'activité biologique dans les bassins, tandis que des températures élevées peuvent favoriser la prolifération d'algues et de bactéries.

**-Titre hydrométrique :** Il influe sur les réactions chimiques utilisées pour le traitement des eaux. Par exemple, une eau trop dure peut interférer avec certains processus de coagulation ou précipitation. Une eau dure peut également causer des dépôts (incrustations) dans les équipements.

**-Titre d'alcalinité :** Une bonne alcalinité est nécessaire pour maintenir un pH stable lors des réactions chimiques, comme la nitrification dans les procédés biologiques. Si l'alcalinité est insuffisante, des ajustements (ajout de chaux ou bicarbonates) peuvent être nécessaires pour éviter une acidification du milieu.

**-Conductivité, sédimentation :** Une **conductivité élevée** perturbe le traitement biologique et favorise la corrosion, tandis qu'une **mauvaise sédimentation** réduit l'efficacité de la séparation solide-liquide.

**-Boue :** Les propriétés des boues dans les stations d'épuration (STEP) jouent un rôle crucial dans leur bon fonctionnement. Lorsqu'elles sont mal gérées ou leurs caractéristiques sont inadaptées, cela peut entraîner des dysfonctionnements

## **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

importants. Voici un aperçu des propriétés des boues et de leurs impacts potentiels sur les STEP :

Matières sèches (MS): Une teneur en MS trop faible entraîne des volumes importants de boues, ce qui surcharge les équipements de traitement et augmente les coûts de gestion.

Capacité de déshydratation : Des boues difficiles à déshydrater augmentent les coûts énergétiques et logistiques.

Stabilisation insuffisante : Si les boues ne sont pas bien stabilisées, elles continuent à fermenter, provoquant des gaz et des odeurs désagréables. Cela peut entraîner des plaintes des riverains et des dysfonctionnements dans le stockage ou le transport des boues.

Propriétés chimiques : Une boue avec une DBO ou une MOV trop élevée peut déséquilibrer les réactions biologiques dans les bassins d'aération ou les digesteurs.

### **Facteurs externes :**

Le fonctionnement optimal d'une station d'épuration est susceptible d'être affecté par divers facteurs externes. Parmi les principaux critères à considérer, on retrouve :

#### **Âge de la STEP :**

L'âge d'une station d'épuration (STEP) peut avoir un impact significatif sur son fonctionnement et son efficacité. Avec le temps, les matériaux utilisés dans la construction des ouvrages peuvent s'user, entraînant des problèmes tels que des fuites, de la corrosion et une réduction de l'efficacité des équipements. De plus, l'obsolescence technologique est un facteur important, car les procédés de traitement employés dans les anciennes stations peuvent être moins performants et ne pas répondre aux normes environnementales actuelles. Enfin, l'augmentation des coûts de maintenance devient inévitable ; les réparations et le remplacement de pièces se font plus fréquents, ce qui engendre des dépenses d'entretien élevées (**Baumont, H.2015**).

#### **Aléas :**

Plusieurs aléas peuvent impacter le fonctionnement de la station d'épuration (STEP) et on a considéré les facteurs suivants (**Veolia E.2019**):

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

-Etat de neige : L'épisode neigeux entraîne des conditions de circulation très difficiles, ce qui contraint à fermer les routes et à suspendre toutes les activités de l'usine, y compris le traitement des eaux usées.

-Grèves : peuvent entraîner l'arrêt complet de l'usine et de la STEP.

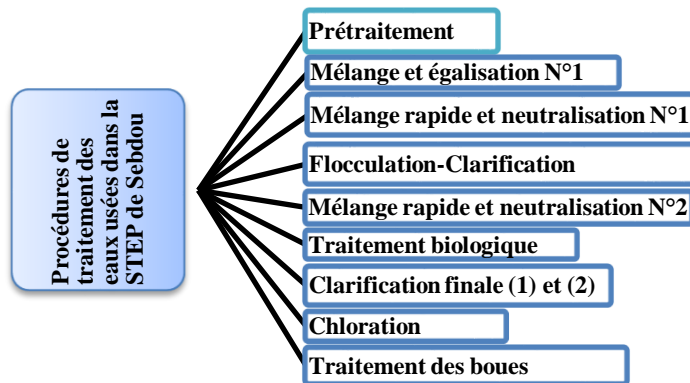
- Fermetures annuelles pour entretien :les fermetures annuelles pour entretien, bien qu'indispensables pour maintenir les équipements en bon état, provoquent également l'interruption du fonctionnement de la station.

-Épidémies : Les épidémies représentent un autre risque, pouvant nécessiter des mesures de fermeture temporaires.

-Degré de qualification du personnel : L'absence de personnel compétent peut compromettre la surveillance des installations ou la réalisation des analyses.

### III.II.3 Développement de la structure hiérarchique :

La station d'épuration des eaux usées de Sebdou suit un processus en neuf étapes (voir Fig. III.4) pour le traitement des eaux industrielles, ce qui nous a permis de créer une hiérarchie pour chacune de ces étapes.



**Figure. III.4** : Les différentes étapes du processus de traitement des eaux usées à la station d'épuration de Sebdou.

La structure hiérarchique de chaque étape de traitement est organisée en trois niveaux (voir figure...) :

**Niveau 0** : L'objectif global de notre étude, à savoir l'évaluation des degrés de dysfonctionnement.

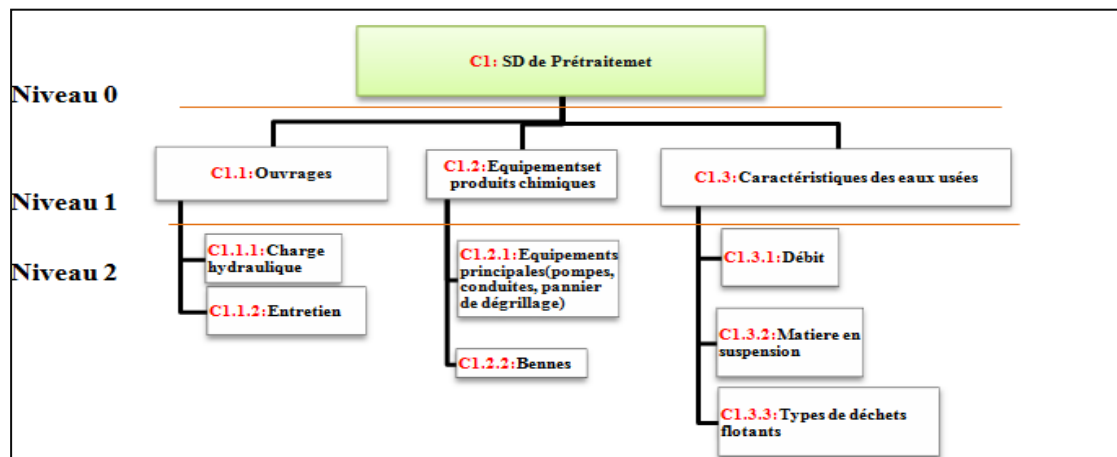
## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdu.

**Niveau 1** :Ce niveau englobe les trois facteurs principaux influençant ces dysfonctionnements :

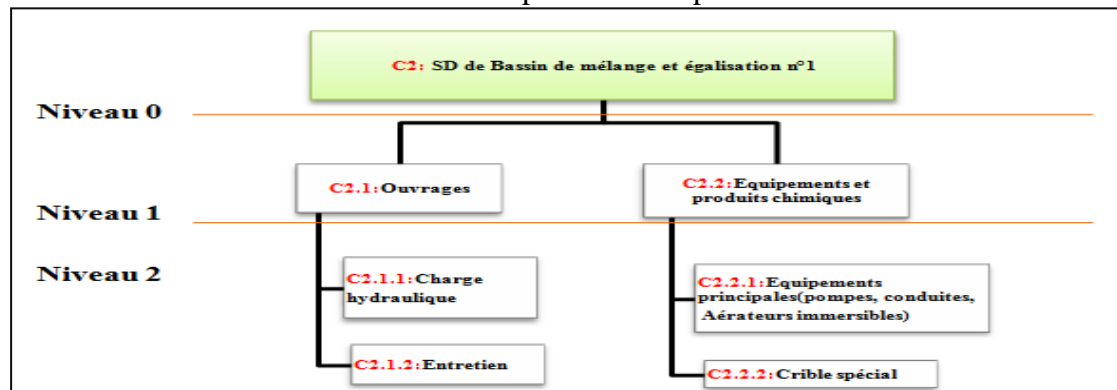
- Ouvrages.
- Équipements et produits chimiques injectés.
- Caractéristiques des eaux usées (ou caractéristiques des boues).

Pour le bassin de mélange et d'égalisation n°1, nous avons pris en compte les deux premiers facteurs (ouvrages, équipements et produits chimiques injectés).

**Niveau 2** : Les sous-critères spécifiques à chaque facteur principal.

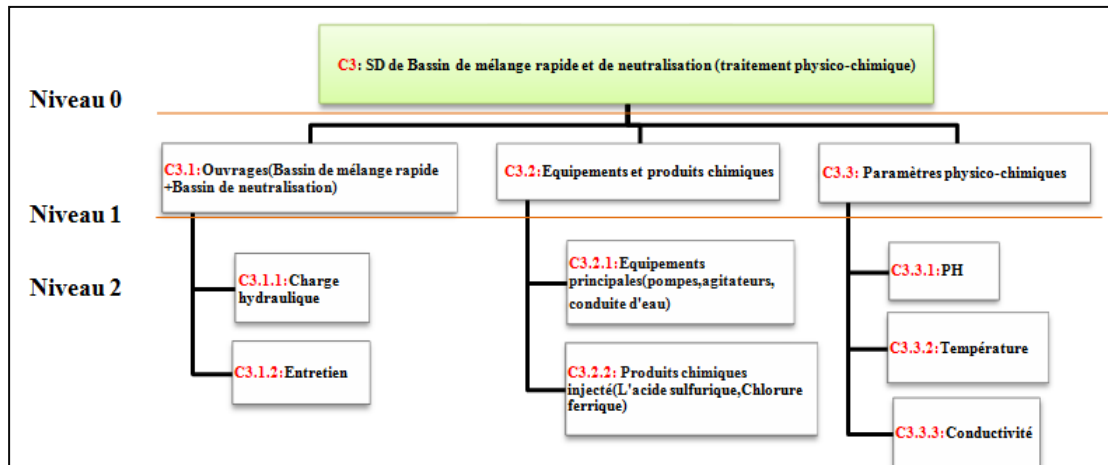


Arborescence lié au processus de prétraitement

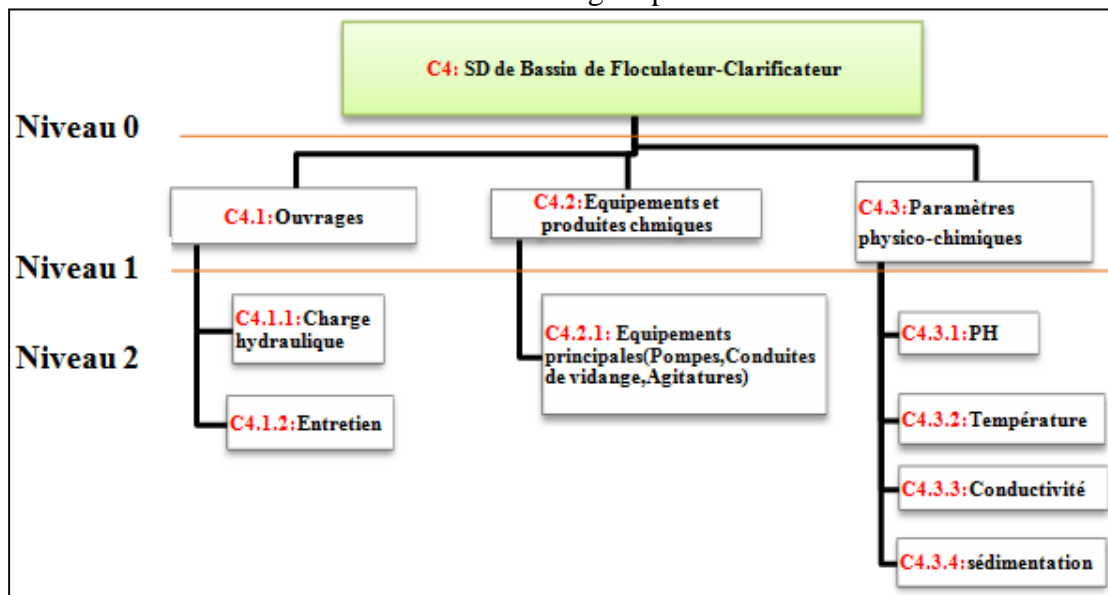


Arborescence du bassin de mélange et d'égalisation n°1

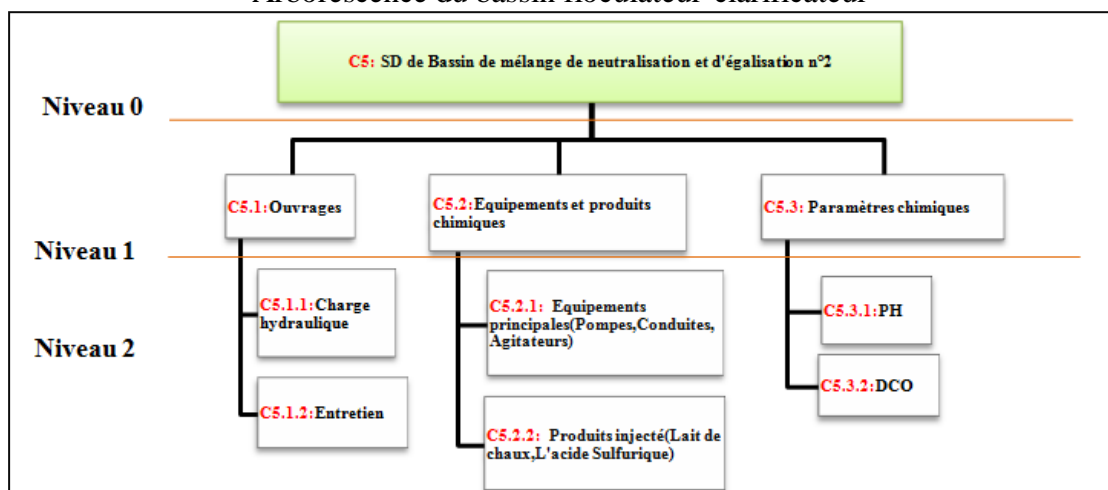
## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdo.



Arborescence du bassin de mélange rapide et de neutralisation

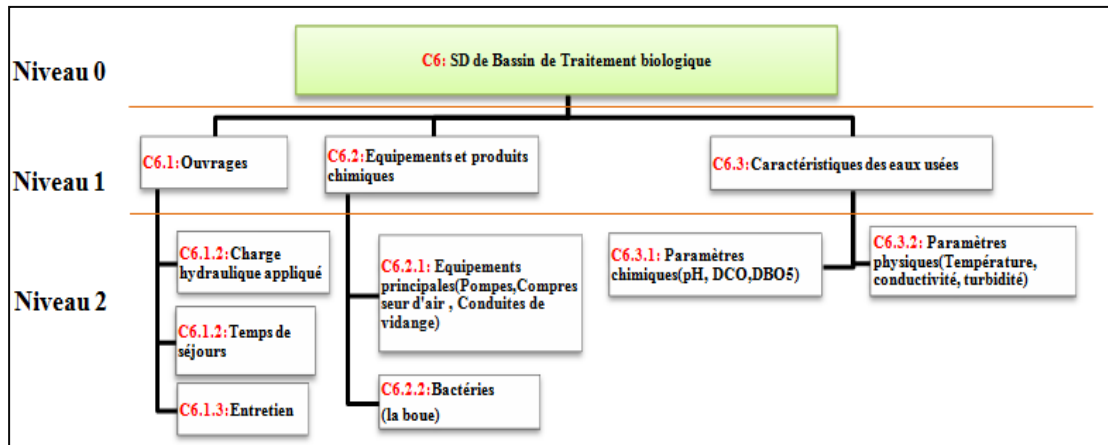


Arborescence du bassin flocculateur-clarificateur

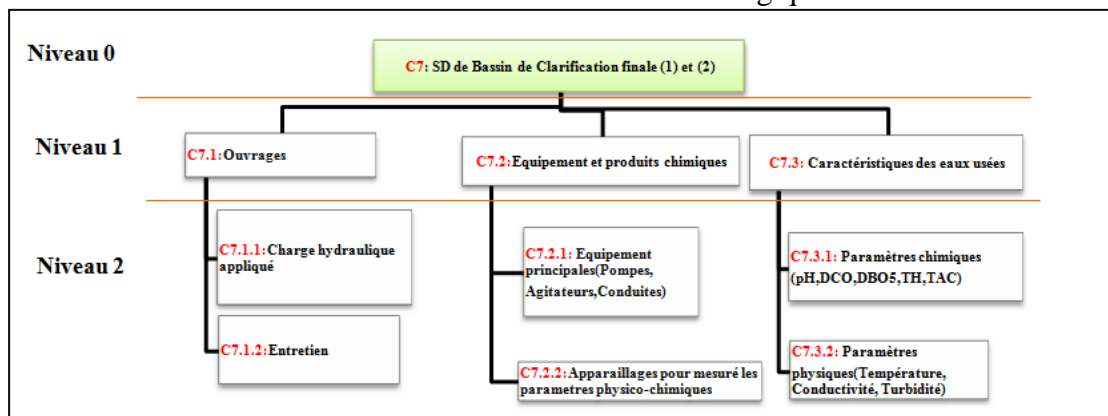


Arborescence du bassin de neutralisation et d'égalisation n°2

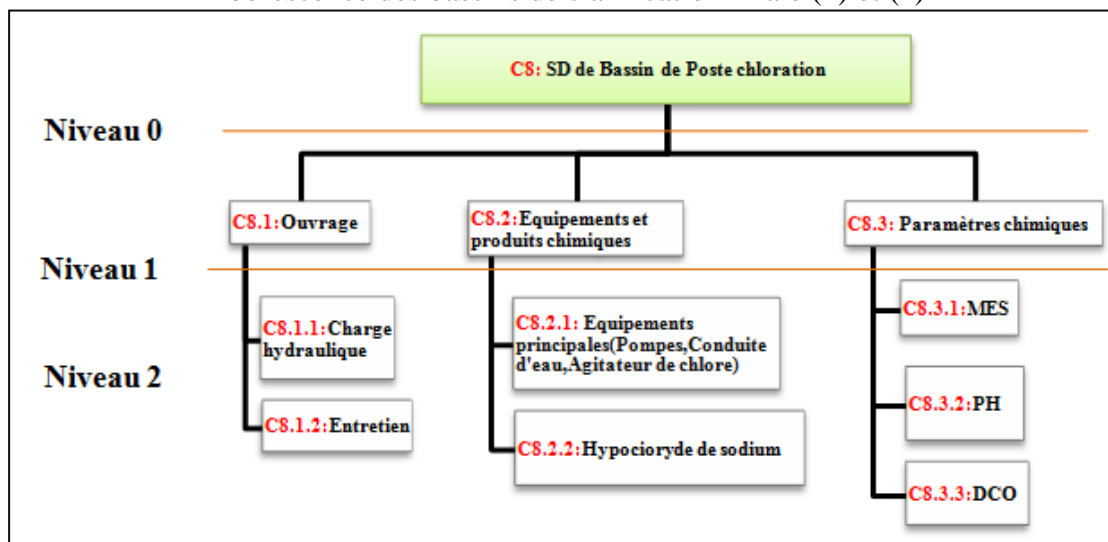
## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.



Arborescence lié au traitement biologique

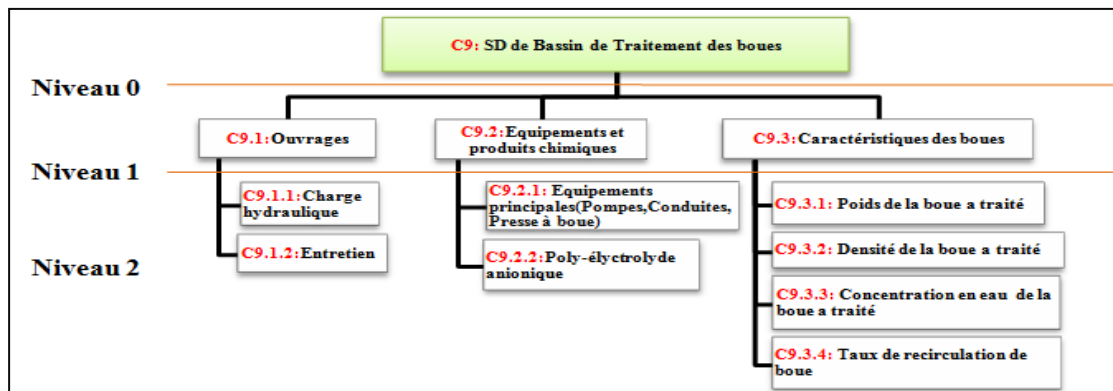


Arborescence des bassins de clarification finale (1) et (2)



Arborescence du processus de post-chloration

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.



Arborescence du bassin de traitement des boues

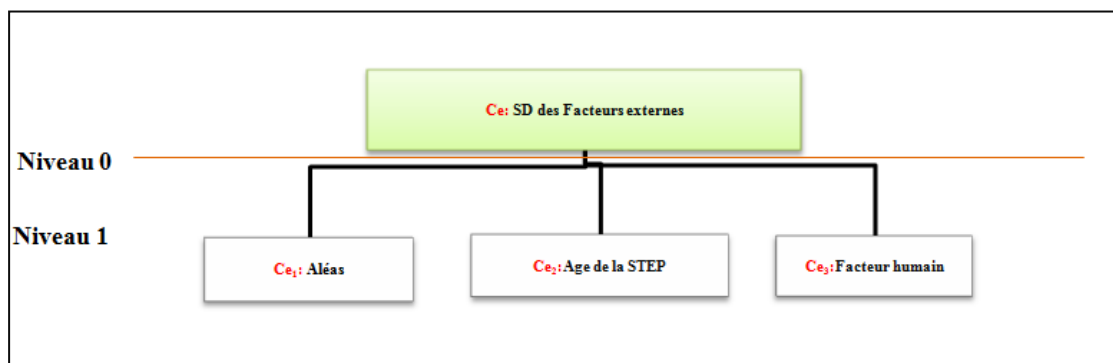
**Figure III.5 :** Arborescences des différents étapes de traitement des eaux usées de la STEP.

Concernant les facteurs externes, nous avons opté pour une structure en deux niveaux :

**Niveau 0 :** L'objectif de l'étude.

**Niveau 1 :** Les principaux facteurs, comprenant :

- Aléas.
- Âge de la station.
- Facteur humain.



**Figure III.6 :** Arborescence des facteurs externes.

### III.II.4 Construction des matrices de comparaison binaire et calcul des pondérations :

La création des matrices de comparaison binaire est une étape essentielle dans l'analyse des dysfonctionnements de la station d'épuration (STEP). Ces matrices facilitent la comparaison de deux critères simultanément, en évaluant leur influence

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

respective sur le dysfonctionnement du critère principal. Les comparaisons ont été effectuées en collaboration avec des experts provenant de divers domaines, tels que l'hydraulique (**Gestionnaire de la STEP de Sebdou, Abdelkader HAMLAT, 2024 et, Tinku Casper D'Silva et al, 2022**) et les mathématiques (**Lallam Mostepha**), afin d'assurer une évaluation précise et fiable. Chaque paire de critères a été examinée en fonction de son impact potentiel sur le fonctionnement global de la STEP. Les matrices de comparaison binaire obtenues, ainsi que le développement d'un logiciel Excel performant appliquant la méthode AHP, ont permis de quantifier les relations entre les différents critères, avec des pondérations finales calculées pour chacun d'eux. Le tableau III.12 présente les résultats de ces comparaisons, incluant les poids calculés et une vérification de la cohérence des jugements.

**Tableau III.1** : Analyse comparative des critères et des pondérations établies.

Critères				$P_{i,j} \%$	CR
I = 1,3,...,9	Ci.2	Ci.3	Ci.1		
Ci.2	1	1	9	0.47	0%
Ci.3	1	1	9	0.47	
Ci.1	0.11	0.11	1	0.05	
	C3.3.1	C3.3.2	C3.3.3		
C3.3.1	1	2	5	0.60	5.2%
C3.3.2	0.5	1	4	0.30	
C3.3.3	0.2	0.25	1	0.10	
	C6.1.1	C6.1.2	C6.1.3		
C6.1.1	1	2	4	0.56	1.58%
C6.1.2	0.5	1	3	0.32	
C6.1.3	0.25	0.33	1	0.12	
	C8.3.1	C8.3.2	C8.3.3		
C8.3.1	1	2	2	0.49	4.6%
C8.3.2	0.5	1	2	0.31	
C8.3.3	0.5	0.5	1	0.20	
	C1.3.1	C1.3.2	C1.3.3		
C1.3.1	1	3	5	0.62	7.47%
C1.3.2	0.33	1	4	0.28	
C1.3.3	0.2	0.25	1	0.10	
	Ce1	Ce2	Ce3		
Ce1	1	3	5	0.61	8.9%
Ce2	1/3	1	5	0.30	
Ce3	1/5	1/5	1	0.09	

Critères			$P_{i,j,k}$	CR
i=1,2,3,4,5,7,8,9	C i.1.1	C i.1.2		
C i.1.1	1	3	0.75	CR non validé pour deux critères
C i.1.2	0.33	1	0.25	
i=1, ..., 9	C i.2.1	C i.2.2		
C i.2.1	1	4	0.80	
C i.2.2	0.25	1	0.20	
	C5.3.1	C5.3.2		
C5.3.1	1	1	0.5	
C5.3.2	1	1	0.5	
	C7.1.1	C7.1.2		
C7.1.1	1	3	0.75	
C7.1.2	0.33	1	0.25	
	C2.3.1	C2.3.2		
C2.3.1	1	1	0.5	
C2.3.2	1	1	0.5	
	C6.3.1	C6.3.2		
C6.3.1	1	1	0.5	
C6.3.2	1	1	0.5	
	C7.3.1	C7.3.2		
C7.3.1	1	1	0.5	
C7.3.2	1	1	0.5	

Critères				$P_i \%$	CR
	Ce1	Ce2	Ce3		
Ce1	1	3	5	0.61	8.9%
Ce2	1/3	1	5	0.30	
Ce3	1/5	1/5	1	0.09	

## **Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.**

---

Le tableau III.1 met en évidence que les paramètres liés aux équipements et aux produits chimiques injectés, ainsi que les caractéristiques des eaux usées (ou des boues), sont les plus influents, atteignant une importance de 47 %. En revanche, le facteur relatif aux caractéristiques de l'ouvrage est jugé comme le moins significatif, avec seulement 5% d'importance dans les processus opérationnels de la station d'épuration des eaux usées.

Concernant les facteurs externes, le tableau III.1 illustre que le paramètre des aléas naturels prédomine avec 61% d'influence, tandis que le facteur humain, avec seulement 9%, apparaît comme le moins déterminant.

### **III.II.5. Attribution des notations :**

Au cours de cette phase, un système de notation a été conçu pour évaluer l'impact des variations des critères, situés à la fin de la structure arborescente, sur les dysfonctionnements de la station d'épuration (STEP). Ces critères représentent des éléments spécifiques qui influencent la performance globale de la station.

Le système de notation attribue à chaque critère un score variant de 0 à 10. Un score de 0 indique un impact négligeable ou inexistant sur les dysfonctionnements, tandis qu'un score de 10 reflète un impact très significatif. Ces scores ont été établis à l'issue de plusieurs consultations avec un groupe d'experts, comprenant des ingénieurs spécialisés dans le traitement des eaux usées ainsi que des professeurs ayant une expertise en ingénierie et en modélisation des systèmes. Ces spécialistes ont minutieusement analysé chaque critère en s'appuyant sur leur connaissance approfondie des processus opérationnels et des conditions spécifiques à la station de Sebdou.

Les résultats finaux sont présentés dans les tableaux III.2 et III.3.

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdu.

**Tableau III.2 :** Notation des facteurs des étapes de traitement.

Critères	Notations
<b>Ci.1.k</b>	Faible charge hydraulique, Ts >1 heure Très faible charge appliquée. Entretien fréquent. 0 Ni.1.k
	charge hydraulique moyenne, 20 < Ts < 30 min, faible charge appliquée. Entretien peu fréquent 6
	charge hydraulique élevée, Ts =0 min Charge appliquée moyenne et élevée. Pas d'entretien nécessaire. 10
<b>Ci.2.k</b>	Si tous les équipements sont en bon état et disponibles au stock. 0 Ni.2.k
	Si l'un des équipements est en mauvais état mais une pièce de rechange est disponible. 2
	Si au moins un équipement est en mauvais état et en rupture de stock. 10
<b>Ci.3.k</b>	Débit moyen, Si tous les paramètres sont conformes aux normes de rejet. 0 Ni.3.k
	Débit maximal Si un paramètre dépasse les normes de rejet. 10

(i=1,...,9)

**Tableau III.3 :** Notation des facteurs externes.

Sous-facteur	Caractéristiques	Notations
<b>C1</b>	Conditions d'enneigement	10
	Grève	10
	Fermeture annuelle pour entretien	10
	Épidémie	8
	Gel	4
	Vent de sable	2
<b>C2</b>	Plus de 100 ans	10
	[80,100[	8
	[40,80[	5
	[10,40[	4
	[0,10[	0
<b>C3</b>	Personnel qualifié	0
	Personnel peu qualifié	4
	Personnel non qualifié	6

### III.II.6.Evaluation de l'état de fonctionnement de la STEP :

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

---

Pour évaluer la performance de STEP, un score de dysfonctionnement global (SDG) est établi. Ce score est calculé à partir de deux paramètres principaux : le score de dysfonctionnement des facteurs externes, noté « SDE », et le score des facteurs internes, désigné par « SDI ». Ces scores sont déterminés selon les formules suivantes :

$$SDE = \sum_{i=1}^3 (p_i * N_i) \quad (1)$$

$$SDI = \max_{1 \leq i \leq 9} SD_i \text{ où } SD_i = \sum_j p_{i,j} [\sum_k p_{i,j,k} (\sum_l p_{i,j,k,l} * N_{i,j,k,l})] \quad (2)$$

$$\text{Et en fin } SDG = \max[SDE; SDI] \quad (3)$$

### III.II.7. Classification de l'état de fonctionnement de la STEP :

A cette étape, un tableau (tableau III.4) a été conçu pour classer la performance de la station selon le score de dysfonctionnement (SDG) obtenu. Selon le score obtenu, la STEP est classée dans l'une des quatre catégories de dysfonctionnement : sans risque, léger, modéré ou sévère. Cette classification permet d'identifier rapidement les problèmes potentiels et d'orienter les actions de maintenance.

**Tableau III.4:** Classification de l'état de dysfonctionnement de la STEP.

Class	Score de dysfonctionnement	État de fonctionnement.
1	0 -1	Fonctionnement optimal, aucun risque identifié.
2	1 -3	Dysfonctionnements légers, situation stable
3	3 -5	Dysfonctionnements modérés, risque d'évolution défavorable.
4	5 -10	État de dysfonctionnement très critique

### III.III Application du modèle à différents scénarios :

Afin d'évaluer la robustesse de notre modèle établi, nous l'avons confronté à une série de scénarios critiques simulés, basés sur des incidents historiques et théoriques. Ces scénarios visaient à reproduire des perturbations majeures susceptibles de perturber significativement le processus de traitement des eaux usées.

**Scénario 1.** Etat actuel de la STEP :

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

Dans le but d'évaluer les performances de la station d'épuration du complexe textile DENITEX dans son contexte opérationnel actuel, nous avons mené enquête sur site. Les résultats de cette étude sont présentés dans le tableau III.5.

**Tableau III.5** :le score de dysfonctionnement de l'état actuel de la STEP.

Facteur	Description	Notations	Score de dysfonctionnement
Risques naturelles	Aucun aléa	0	<b>SDE = 1,5</b>
Âge de la station d'épuration	40 ans d'âge	5	
Facteur humain	qualifié	0	<b>SD<sub>1</sub> = SD<sub>2</sub> = SD<sub>3</sub> = SD<sub>4</sub> = SD<sub>5</sub> = SD<sub>8</sub> = SD<sub>9</sub> = 0</b>
ouvrages	Faible charge hydraulique, Ts > 1 heure Très faible charge appliquée.	0	
Equipments	Tous les équipements sont en bon état et disponibles au stock.	0	
Caractéristiques des eaux usées	Débit moyen, tous les paramètres sont conformes aux normes de rejet	0	
Structure (charge hydraulique appliquée)	Faible charge appliquée	6	
Équipement principal (pompes, compresseur d'air, conduites de refoulement)	Tous les équipements sont en bon état et disponibles au stock.	0	<b>SD<sub>6</sub> = SD<sub>7</sub> = 0.54</b>
Caractéristiques des eaux usées (DCO, DBO5, température)	Tous les paramètres sont conformes aux normes de rejet.	0	
<b><math>SDI = \max_{1 \leq i \leq 9} SD_i = 0,54</math> et <math>SDG = \max[SDE; SDI] = 1,5</math></b>			

Le score de dysfonctionnement (SDG) de 1,5 constitue un indicateur positif, signalant une performance optimale de la station. Cela indique que les opérations de traitement des eaux usées s'effectuent de manière efficace, sans défaillances majeures susceptibles de compromettre la qualité du traitement ou d'entraîner des impacts environnementaux négatifs. En d'autres termes, la station est en mesure de gérer les flux d'eaux usées qu'elle reçoit tout en respectant les normes de rejet en vigueur.

### -Scénario 2.Événement climatique extrême :

La commune de Sebdou est confrontée à un climat hivernal rigoureux, marqué par d'importantes chutes de neige. Ces conditions rendent les déplacements difficiles pour les habitants, entraînant la fermeture des routes et l'arrêt total de l'usine pendant

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

plusieurs jours. Lors de ces épisodes neigeux, nous avons obtenu une valeur de SDG dépassant 6, ce qui indique un état de dysfonctionnement extrêmement critique pour la station d'épuration de Sebdou. L'application de notre modèle à ce cas d'étude est illustrée dans le tableau III.6.

**Tableau III.6 :**Le score de dysfonctionnement de la STEPlors d'un événement climatique extrême

Facteur	Description	Notations	Score de dysfonctionnement
Risques naturelles	Neige	<b>10</b>	<b>SDE = 7.6</b>
Âge de la station d'épuration	40 ans d'âge	<b>5</b>	
Facteur humain	qualifié	<b>0</b>	
<b>SDG = 7.6</b>			

### -scénario 3.Dépassement des normes des effluents.

Dans ce scénario, nous avons simulé une situation où un seul paramètre physico-chimique des effluents dépasse les normes réglementaires, tandis que tous les autres indicateurs du bassin de traitement biologique restent conformes. Cette situation, illustrée dans le tableau III.7, met en évidence une anomalie spécifique qui pourrait, à terme, compromettre le bon fonctionnement de la station d'épuration de Sebdou. La valeur de SDG, comprise entre 3 et 5, confirme la présence de dysfonctionnements et souligne la nécessité d'une intervention rapide.

**Tableau III.7 :**Le score de dysfonctionnement de la STEP en cas de dépassement des normes des effluents.

Facteur	Description	Notations	Score de dysfonctionnement
Charge hydraulique appliquée, temps de séjour, maintenance	Faible charge hydraulique, Ts>1 heure Très faible charge appliquée. Entretien fréquent.	<b>0</b>	<b>SD6 = 4.7</b>
Équipement principal ; boues (bactéries).	Tous les équipements sont en bon état et disponibles au stock.	<b>0</b>	
Caractéristiques des eaux usées (DCO, DBO <sub>5</sub> , Température)	L'un des paramètres dépasse les normes	<b>10</b>	
<b>SDI = <math>\max_{1 \leq i \leq 9} SD_i = 4.7</math> et SDG = 4,7</b>			

### Scénario4:Défaillance d'un équipement essentiel avec rupture de stock.

## Chapitre III : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration Complexe textile de Sebdou.

En cas de défaillance d'un équipement essentiel, tels qu'une pompe ou un compresseur d'air avec rupture de stock, la station d'épuration de Sebdou se retrouve dans une situation de crise. Le tableau III.8 illustre cette situation, avec une valeur SDG de 7,52, indiquant un dysfonctionnement majeur ayant entraîné l'arrêt complet des opérations.

**Tableau III.8:** État de la station d'épuration de Sebdou en cas de défaillance d'un équipement essentiel avec rupture de stock.

Facteur	Description	Notations	Score de dysfonctionnement
Charge hydraulique appliquée, temps de séjour, maintenance	Charge hydraulique élevée, Ts =0 min Charge appliquée moyenne et élevée. Aucune maintenance.	<b>10</b>	<b>SDi = 7.52</b>
Équipement principal ; boues (bactéries).	Pompe ou compresseur d'air hors service.	<b>10</b>	
Caractéristiques des eaux usées	Débit moyen et tous les paramètres sont conformes aux normes de rejet	<b>0</b>	
<b>SDG = 7.52</b>			

### Conclusion :

Cette étude a permis de développer un outil d'évaluation détaillé pour évaluer les performances de la station d'épuration du complexe textile de Sebdou. En utilisant la méthode AHP, nous avons pu identifier et hiérarchiser les facteurs clés qui influencent le fonctionnement de la station. Le modèle élaboré constitue un cadre robuste pour quantifier les performances globales de la station et pour identifier les domaines d'amélioration potentiels.

Les résultats de notre analyse soulignent l'importance de l'état des équipements, les caractéristiques des eaux usées et les facteurs externes sur les performances de la station. De plus, le système de classification proposé permet une évaluation simple et rapide de l'état opérationnel de la station.

***Chapitre IV : L'estimation de  
degré de performance pour  
la station d'épuration d'Ain  
El Houtz.***

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

### Partie I : Présentation et description du la STEP d'Ain El Houtz.

#### IV.I.1. Localisation, Capacités et Gestion :

La station d'épuration d'Ain El Houtz, située à Tlemcen, joue un rôle essentiel dans la gestion des eaux usées pour une population d'environ 150 000 habitants. Inaugurée en 2005, elle est conçue pour traiter jusqu'à 30 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour (ONA, 2006). Ce document présente une évaluation détaillée de son degré de performance, en se concentrant sur les processus de traitement, les spécifications techniques et l'impact des divers facteurs influençant son efficacité opérationnelle. À travers une méthodologie rigoureuse, incluant l'Analyse Hiérarchique Floue (FAHP), l'étude vise à identifier les éléments clés affectant le fonctionnement de la station.

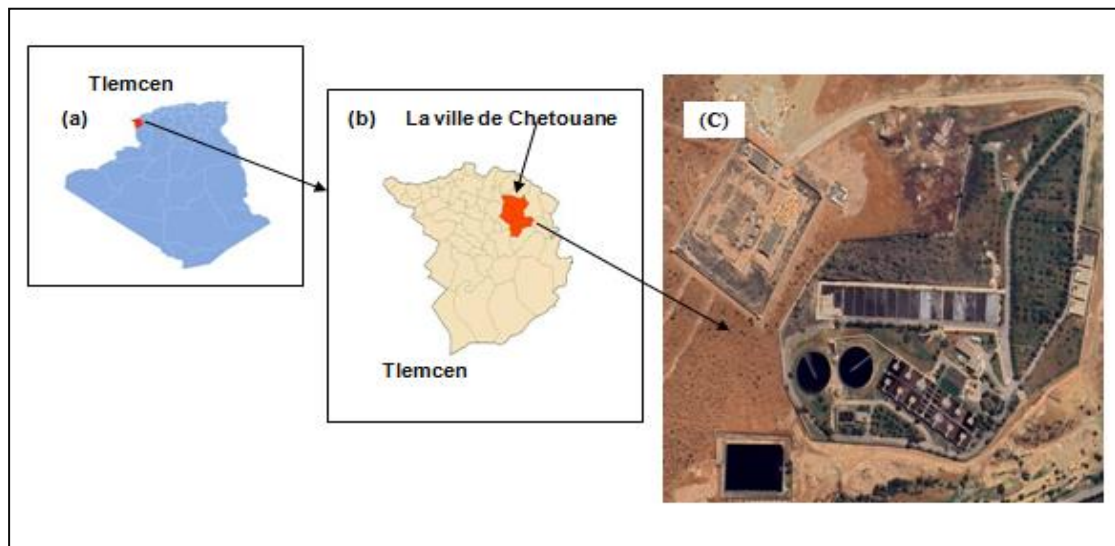


Figure IV.1 : localisation de la station d'Ain El Houtz (Abdelmoumene.H et al, 2024).

#### IV.I.2. Fonctionnement de la station d'épuration (STEP) :

La station d'épuration adopte un procédé de boues activées à faible charge pour le traitement biologique des effluents, en privilégiant des processus aérobies. Ces derniers permettent aux bactéries d'oxyder directement les matières organiques présentes dans les eaux usées, en utilisant l'oxygène dissous (ONA, 2006). Les eaux usées arrivent à la station par gravité à travers un collecteur de 1250 mm de diamètre.

Les spécifications techniques de la station révèlent une capacité nominale de traitement de 30 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour. Cependant, le débit maximal que la

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

station peut traiter efficacement est limité à 3800 m<sup>3</sup>/h. En cas de dépassement de ce seuil, les eaux usées excédentaires sont évacuées par un déversoir d'orage situé en amont, qui dirige l'excès vers l'oued d'Ain El Houtz.

Les eaux usées sont ensuite acheminées par gravité vers la première étape du traitement via une conduite de 800 mm de diamètre, désignée sous le nom de « Liaison entre ouvrage ». La station dispose de deux filières de traitement : l'une dédiée aux eaux usées et l'autre aux boues (ONA, 2006).

La conception de la station d'épuration de Tlemcen repose sur les données présentées dans le tableau IV.1 ci-dessous.

**Tableau IV.1:** Données fondamentaux de la station d'épuration d'Ain El Houtz. (ONA, 2006).

	Données
<b>Débit journalier</b>	30 000 m <sup>3</sup> /j
<b>DBO5 journalière</b>	9 300 kg/j
<b>Azote à nitrifier</b>	1 980 kg
<b>Equivalence calculée sur la DBO</b>	172 000 Eq/Hab
<b>Débit de pointe horaire admis au traitement</b>	3 800 m <sup>3</sup> /h

### IV.I.3 : Description du processus de traitement :

La station d'épuration traite les eaux usées selon un processus divisé en deux filières.

#### **Filière eau :**

La filière eau englobe l'ensemble des étapes de traitement des eaux usées, depuis leur entrée dans la station d'épuration (STEP) jusqu'à leur sortie, et comprend le prétraitement, le traitement biologique et les traitements de finition. À l'entrée de la station, un déversoir d'orage est installé, dimensionné pour gérer un débit maximal de 3300 m<sup>3</sup>/h. Les eaux usées sont acheminées vers la première étape du traitement par gravité, via une conduite de 800 mm de diamètre.

#### Prétraitement des eaux usées

La première étape du prétraitement est assurée par un dégrilleur, qui élimine les plus grosses particules susceptibles de perturber les étapes suivantes du traitement. Après

## **Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz**

---

cette étape, un dessableur-déshuileur prend le relais. Ce dernier est composé de deux unités longitudinales avec des canaux en béton armé de forme trapézoïdale, permettant la séparation du sable et des graisses. Ce processus est optimisé grâce à l'air insufflé par des sur presseurs, et l'ouvrage est équipé d'un pont suceur et écumeur pour garantir une séparation efficace des contaminants.

### **Traitement biologique :**

La station dispose de quatre bassins de traitement biologique rectangulaires, où l'eau subit un processus de dénitrification. L'aération est assurée par trois aérateurs de surface à faible vitesse dans chaque bassin, favorisant ainsi le développement des bactéries responsables de l'élimination de la matière organique. Des sondes mesurent en continu l'oxygène dissous dans les bassins et déclenchent automatiquement les aérateurs pour fournir l'oxygénation nécessaire aux bactéries. Chaque bassin a un volume de 4723 m<sup>3</sup>, avec une longueur de 55,5 m et une largeur de 18,5 m (ONA, 2006).

### **Traitements de finition :**

Le processus de chloration se déroule dans un bassin en béton armé d'une capacité de 700 m<sup>3</sup>, garantissant que l'eau traitée respecte les normes sanitaires avant son rejet.

### **Filière boues**

La filière boues comprend plusieurs équipements essentiels : une vis d'Archimède pour le transport des boues, un épaisseur de boues en béton armé avec un pont tournant et un réacteur d'un diamètre de 14 m et d'une hauteur utile de 4 m. Enfin, la station est équipée de 14 lits de séchage, chacun mesurant 30 m de longueur et 15 m de largeur, permettant le séchage efficace des boues issues du processus de traitement (ONA, 2006).

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

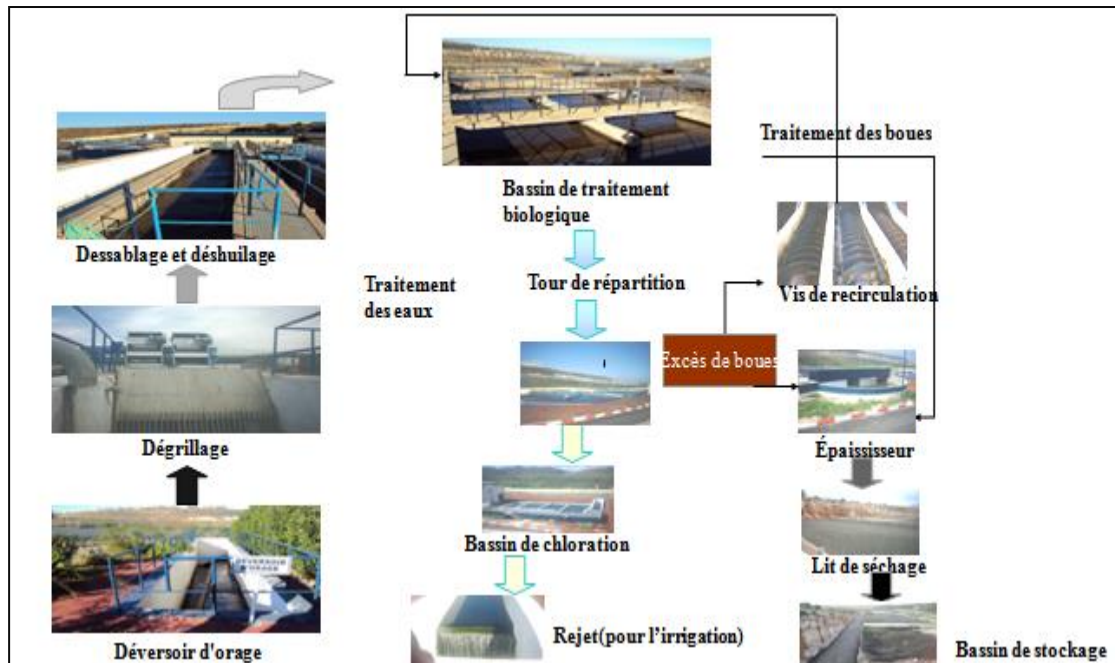


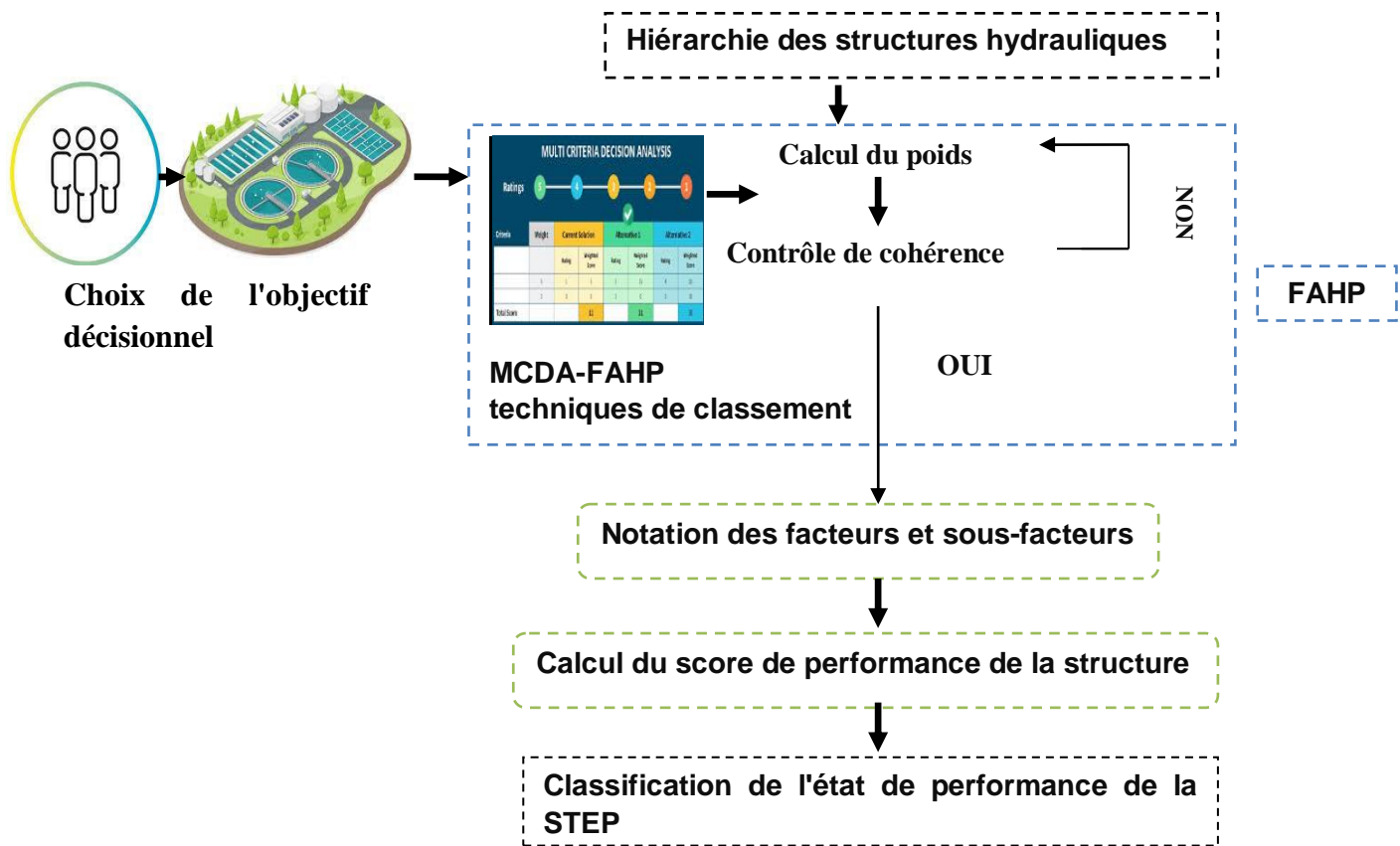
Figure IV.2 : Étapes du traitement à la STEP d'Ain EL Houtz (Abdelmoumene.H et al ,2024)

### Partie II : Application de le Processus d'Analyse Hiérarchique Floue (FAHP) sur la STEP de d'Ain El Houtz.

#### IV.II.1 Méthodologie:

Pour estimer le degré de performance de la station d'épuration d'Ain El Hout, nous avons adopté une méthodologie similaire à celle employée pour la station de Sebdu. Toutefois, pour la comparaison et détermination des pondérations des critères, nous avons opté pour la méthode FHP (Figure IV.3).

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz



**Figure IV.3 :** Organigramme de la procédure d'évaluation de l'état de fonctionnement d'une station d'épuration.

### IV.II.2 Sélection des facteurs de dégradation :

Afin de comprendre les mécanismes à l'œuvre dans le fonctionnement de la station d'épuration, nous avons identifié vingt-six facteurs clés qui influencent significativement sa performance. Cette sélection a été réalisée à partir d'une analyse approfondie de la littérature scientifique et d'expertises de terrain. Les paramètres retenus couvrent un large spectre : caractéristiques hydrauliques (débit, charge hydraulique), paramètres physico-chimiques (DBO5, DCO, MES, pH, conductivité, température, turbidité), ainsi que des facteurs liés à l'exploitation et à la maintenance (fréquence d'entretien) et des paramètres économiques (consommation énergétique).

#### IV.II.2.1 Effet des facteurs sur le fonctionnement de la STEP :

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

**Débit :** Le débit des eaux usées, qui correspond au volume d'eau usée entrant dans la station par unité de temps, a un impact significatif sur le fonctionnement d'une station d'épuration (STEP). Cette influence se manifeste de plusieurs manières :

### 1. Dimensionnement des Équipements (Metcalf & Eddy. 2003):

- Surdimensionnement : Un débit inférieur à celui pour lequel la STEP a été conçue peut entraîner une sous-utilisation des équipements, ce qui risque de provoquer des problèmes de sédimentation ou de boues.

- Sous-dimensionnement : À l'inverse, un débit supérieur au débit nominal peut surcharger les équipements, compromettant ainsi la qualité de l'effluent et entraînant divers dysfonctionnements.

### 2. Efficacité des Traitements (Henze, M. et al.2008):

- Temps de Séjour : Le débit influe directement sur le temps que les eaux usées passent dans les différents bassins de traitement. Un temps de séjour trop court peut nuire à l'efficacité des réactions biologiques et physico-chimiques.

- Charge Organique : Un débit élevé peut accroître la charge organique à traiter, surchargeant ainsi les micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique.

- Sédimentation : Une augmentation du débit peut réduire la vitesse de sédimentation des particules solides, diminuant l'efficacité des bassins de décantation.

### 3. Consommation Énergétique (Spellman, F. R. 2016):

- Pompage : Un débit élevé nécessite une puissance de pompage accrue, ce qui augmente la consommation énergétique de la station.

- Aération : L'aération dans les bassins est également affectée par le débit ; un débit important requiert un apport en oxygène plus conséquent.

### 4. Production de Boues (Tchobanoglous, G., et al.2003):

- Quantité de Boues : Un débit élevé entraîne généralement une production accrue de boues.

## **Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz**

---

- Qualité des Boues : Les variations du débit peuvent également affecter la qualité des boues, notamment en ce qui concerne leur teneur en eau et leur concentration en matières organiques.

### 5. Gestion des Débordements :

- En cas de fortes pluies, le débit des eaux usées peut augmenter considérablement, ce qui entraîne un risque accru de débordements si la station n'est pas dimensionnée pour absorber ces pics.

**Matières en Suspension (MES) :** Les Matières en Suspension (MES) désignent l'ensemble des particules solides présentes dans les eaux usées. Leur concentration et leur présence ont un impact direct et significatif sur le fonctionnement d'une station d'épuration (STEP). Cette influence se présente comme suit :

#### 1. Encombrement des Équipements (Tchobanoglous, G., et al.2003):

- Colmatage des Grilles et Tamis : Les MES de grande taille peuvent obstruer les grilles d'entrée, entraînant une réduction du débit et augmentant les risques de refoulement.

- Sédimentation dans les Bassins : Les MES plus fines se déposent au fond des bassins de décantation, formant des boues qui diminuent leur efficacité et leur volume utile.

- Enfouissement des Aérateurs : Dans les bassins d'aération, les MES peuvent s'accumuler autour des aérateurs, ce qui réduit leur efficacité et augmente les coûts de maintenance.

#### 2. Perturbation des Processus Biologiques (Henze, M. et al.2008):

- Adsorption de Micro-organismes : Les MES peuvent adsorber des micro-organismes sur leur surface, diminuant ainsi leur disponibilité pour les processus biologiques.

- Formation de Boues Denses : Une concentration élevée de MES peut entraîner la formation de boues denses et difficiles à traiter, réduisant l'efficacité de la digestion anaérobie.

#### 3. Augmentation de la Consommation Énergétique (Rosso, D.,et al.2008) :

## **Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz**

---

- Pompage : Un débit élevé de MES peut accroître la charge sur les pompes, entraînant une consommation énergétique plus importante.

- Aération : Les MES peuvent diminuer l'efficacité de l'aération, nécessitant un apport en air plus élevé pour maintenir une bonne oxygénation.

### **4. Dégradation de la Qualité de l'Effluent (Grady, C. P. L. et al.2011):**

- Turbidité : Une concentration élevée de MES dans l'effluent peut augmenter sa turbidité, ce qui est indésirable pour les rejets dans le milieu naturel.

- Présence de Particules Solides : La présence de particules solides dans l'effluent peut obstruer les réseaux d'assainissement ou les ouvrages de rejet.

En résumé, la gestion efficace des Matières en Suspension est cruciale pour maintenir le bon fonctionnement d'une station d'épuration et garantir la qualité de l'effluent traité.

**Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)** : L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), une forme d'azote ammoniacal, est un polluant couramment trouvé dans les eaux usées. Sa présence et sa concentration ont un impact direct et significatif sur le fonctionnement d'une station d'épuration (STEP). Voici les principaux impacts de l'ammonium sur une STEP :

### **1. Processus de Nitrification (Henze, M. et al.2008):**

- Consommation d'Oxygène : La transformation de l'ammonium en nitrate (nitrification) est un processus aérobie qui consomme une quantité importante d'oxygène dissous. Un excès d'ammonium peut donc entraîner une demande biologique en oxygène (DBO) élevée, ce qui peut provoquer un déficit en oxygène dans les bassins d'aération.

- Production d'Acides : La nitrification génère des ions H<sup>+</sup>, ce qui peut acidifier le milieu. Si cette acidification n'est pas maîtrisée, elle peut inhiber l'activité des bactéries nitrifiantes.

### **2. Formation de Boues (Harris, H. H., et al. 2006) :**

- Excès de Boues : Une concentration élevée d'ammonium peut favoriser la croissance bactérienne, entraînant ainsi une production excessive de boues.

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

-Altération de la Qualité des Boues : Les boues riches en azote ammoniacal peuvent être plus difficiles à déshydrater et à stabiliser.

### 3. Impact sur l'Effluent (Grady, C. P. L., et al. 2011):

- Eutrophisation : Un rejet d'effluent riche en ammonium dans le milieu récepteur peut favoriser la prolifération d'algues et de plantes aquatiques, entraînant un phénomène d'eutrophisation.

- Toxicité pour les Organismes Aquatiques : À des concentrations élevées, l'ammonium peut être toxique pour certains organismes aquatiques.

En résumé, la gestion de l'ammonium est cruciale pour maintenir l'efficacité opérationnelle d'une station d'épuration et garantir la qualité de l'effluent traité.

**Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :** Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont des ions inorganiques présents dans les eaux usées, souvent issus de la transformation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) par les bactéries nitrifiantes. Bien qu'ils soient moins toxiques que l'ammonium, les nitrates ont également un impact significatif sur le fonctionnement d'une station d'épuration (STEP) (Henze, M., et al. 2008). Voici les principaux impacts des Nitrates sur une STEP ;

### 1. Eutrophisation (Smith, V. H. 2003):

- Prolifération des Algues : Les nitrates constituent un nutriment essentiel pour la croissance des algues. Un rejet d'effluent riche en nitrates dans le milieu récepteur peut entraîner une prolifération excessive d'algues, provoquant un phénomène d'eutrophisation.

- Dégradation de la Qualité de l'Eau : L'eutrophisation peut engendrer une diminution de la teneur en oxygène dissous, la formation de mauvaises odeurs et la mortalité des organismes aquatiques.

### 2. Formation de Composés Indésirables (Jetten, M. S. M., et al. 2005):

- Méthane : Dans certaines conditions, les nitrates peuvent être réduits en nitrites puis en azote gazeux ou en oxyde d'azote. Ces processus peuvent aboutir à la production de méthane, un gaz à effet de serre.

### 3. Impact sur les Processus Biologiques (Ahn, K.-H., et al. 2004) :

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

- Inhibition de la Dénitrification : Des concentrations élevées de nitrates peuvent inhiber la dénitrification, un processus biologique essentiel qui transforme les nitrates en azote gazeux.

En résumé, bien que les nitrates soient moins nocifs que l'ammonium, leur gestion est cruciale pour maintenir l'efficacité opérationnelle d'une station d'épuration et préserver la qualité des milieux aquatiques.

**Turbidité** : La turbidité d'une eau, qui se réfère à sa transparence ou plutôt à son opacité due à la présence de particules en suspension, a un impact direct et significatif sur le fonctionnement d'une station d'épuration (STEP). Ces particules, souvent désignées sous le terme de matières en suspension (MES), peuvent provenir de sources minérales (comme l'argile ou le sable) ou organiques (telles que les matières végétales et les micro-organismes) (Tchobanoglous, et al.2003). Voici les principaux impacts de la turbidité sur une STEP :

### 1- Encombrement des Équipements (Metcalf & Eddy.2003):

- Colmatage des Grilles et Tamis : Les particules plus grosses peuvent bloquer les premières étapes de traitement, entraînant une réduction du débit et augmentant les risques de refoulement.

- Sédimentation dans les Bassins : Les particules plus fines se déposent au fond des bassins de décantation, formant des boues qui diminuent leur efficacité et leur volume utile.

- Accumulation autour des Aérateurs : Dans les bassins d'aération, les particules peuvent s'accumuler autour des aérateurs, ce qui réduit leur efficacité et augmente les coûts de maintenance.

### 2- Perturbation des Processus Biologiques (Gerardi, M. H.2002):

- Adsorption de Micro-organismes : Les particules peuvent adsorber des micro-organismes sur leur surface, réduisant ainsi leur disponibilité pour les processus biologiques.

- Formation de Boues Denses : Une turbidité élevée peut entraîner la formation de boues denses et difficiles à traiter, réduisant ainsi l'efficacité de la digestion anaérobie.

## **Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz**

---

### 3- Augmentation de la Consommation Énergétique (WEF, 2017):

- Pompage : Un débit élevé de particules peut accroître la charge sur les pompes, entraînant une consommation énergétique plus importante.
- Aération : La turbidité peut diminuer l'efficacité de l'aération, nécessitant un apport en air plus important pour maintenir une bonne oxygénation.

### 4- Dégradation de la Qualité de l'Effluent :

- Turbidité de l'Effluent : Une turbidité élevée dans l'effluent peut rendre l'eau trouble et empêcher le passage de la lumière, ce qui peut nuire aux organismes aquatiques (Davies-Colley et al.2001).
- Présence de Particules Solides : La présence de particules solides dans l'effluent peut obstruer les réseaux d'assainissement ou les ouvrages de rejet (Spellman, F. R. 2016).

En résumé, la gestion adéquate de la turbidité est essentielle pour assurer le bon fonctionnement d'une station d'épuration et garantir la qualité de l'effluent traité.

**Conductivité Électrique (CE) :** La conductivité électrique (CE) d'une eau mesure sa capacité à conduire un courant électrique. Elle est principalement influencée par la présence de sels minéraux dissous, tels que les ions sodium, chlorure et sulfate (Chen, G.2004).

Importance de la CE dans une STEP se présente comme suit :

#### 1- Haute Conductivité (Madigan, et al., 2014):

- Favorise l'Électrocoagulation : Une CE élevée facilite les processus d'électrocoagulation.
- Peut Inhiber la Nitrification : Une très haute CE peut inhiber l'activité des bactéries nitrifiantes.
- Augmente la Corrosion : Une CE élevée accélère la corrosion des équipements en contact avec l'eau.

#### 2-Basse Conductivité (Shreir, L. L.et al. 1994) :

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

- Réduit l'Efficacité de l'Électrocoagulation : Une faible CE rend l'électrocoagulation moins efficace.

- Peut limiter la Croissance Bactérienne : Une très basse CE peut restreindre la croissance de certaines bactéries.

En conclusion, la conductivité électrique est un paramètre essentiel à considérer dans le fonctionnement d'une STEP. Elle influence non seulement l'efficacité des traitements et la composition des communautés microbiennes, mais également la durabilité des équipements. Une bonne compréhension de la CE permet d'optimiser le fonctionnement de la station et d'assurer une meilleure qualité de l'effluent.

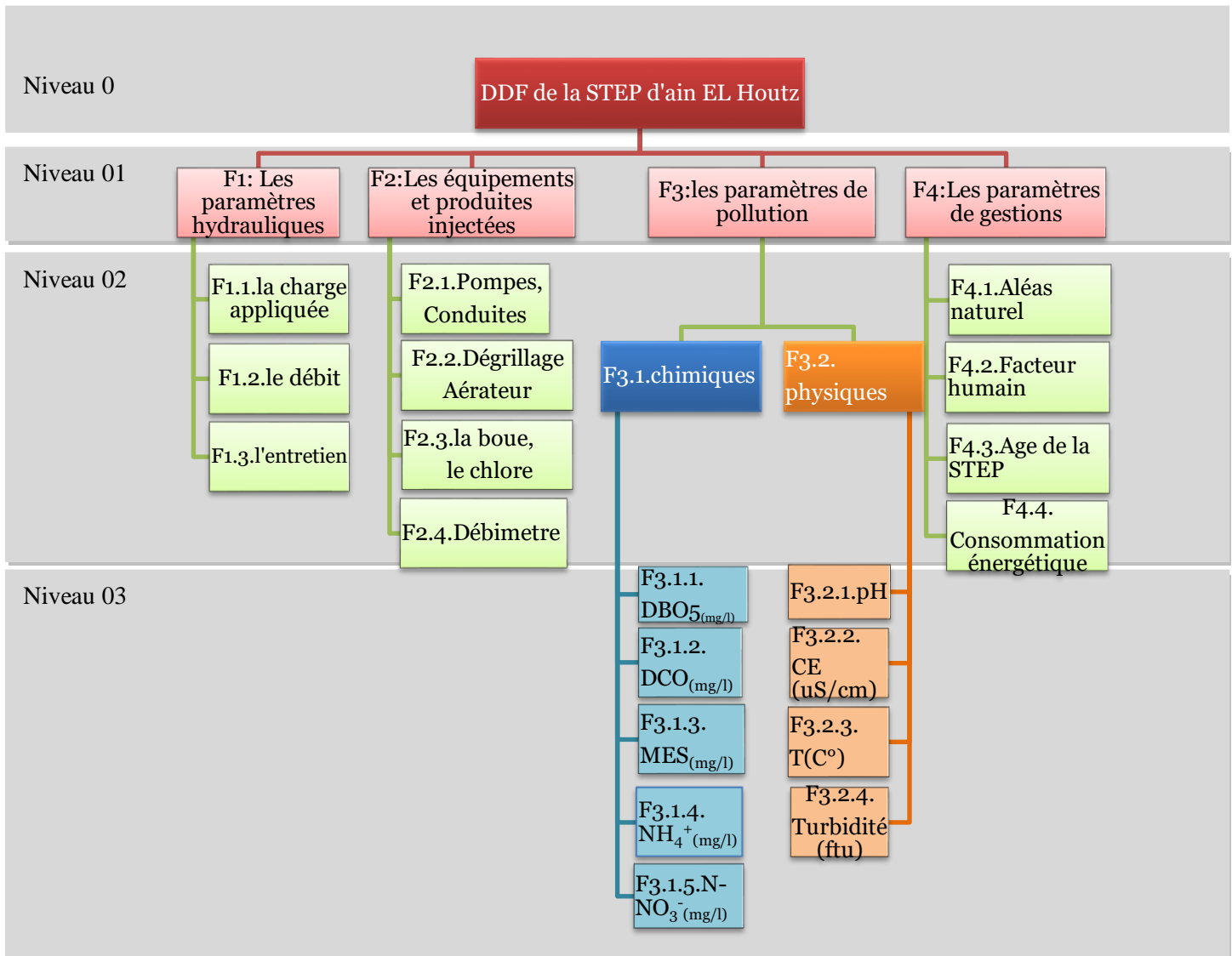
**Remarque :** L'impact des autres facteurs sur la performance de la station d'épuration (STEP) est détaillé dans le chapitre précédent.

### IV.II. 3 Développement de la structure hiérarchique :

Les facteurs identifiés ont été réorganisés selon une structure hiérarchique à trois niveaux (voir Figure IV.4) :

- Niveau 0 : Objectif global ; évaluer la performance de la station d'épuration.
- Niveau 1: Ce niveau comprend les trois facteurs principaux influençant le fonctionnement de la STEP :
  - Les paramètres hydrauliques
  - Les équipements et produits injectés
  - Les paramètres de pollution
  - Les paramètres de gestion
- Niveau 2 : Sous-critères spécifiques à chaque facteur principal.

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz



**Figure IV.4:** La structure hiérarchique de la STEP (Abdelmoumene H et al, 2024).

### IV.II.4 Comparaisons binaires des critères et sous-critères et calcul de leurs pondérations :

Pour élaborer les matrices de comparaisons en utilisant la méthode des nombres flous triangulaires, nous avons sollicité l'avis d'experts en hydraulique (Sasikumar G., et al., 2022 and Luis et al., 2022) sur l'importance relative des différents critères.

Les résultats de toutes les comparaisons entre les critères et les sous-critères, organisés sur trois niveaux hiérarchiques, sont présentés dans le tableau IV.2. Les

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

calculs associés, y compris ceux les indices de cohérence et les pondérations locales et globales, ont été déterminés à l'aide du logiciel Excel.

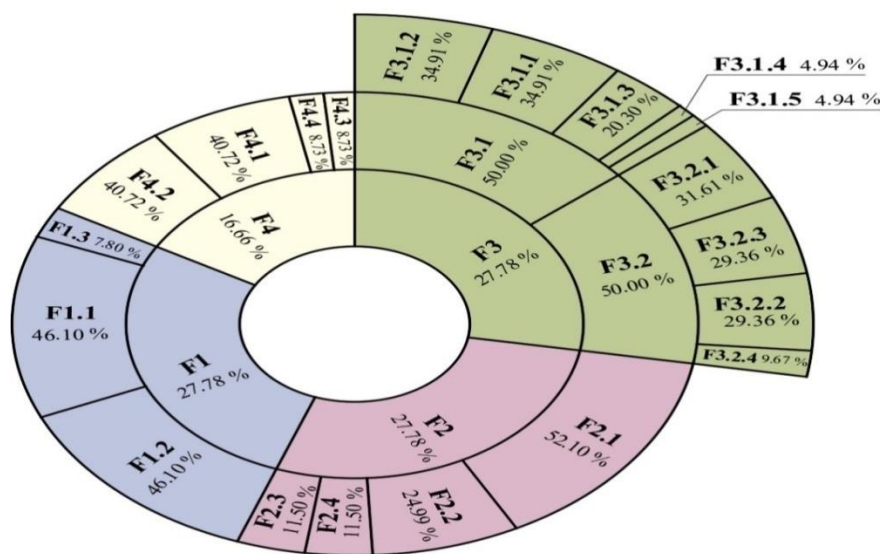
**Tableau IV.2 :** Matrices de comparaison par paires en fonction de la structure hiérarchique supposée.

Factors	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	Consistency tests	
F <sub>1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	PEV (λ)=4; CI=0; RCI=0.90; CR=0%<10%	
F <sub>2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)		
F <sub>3</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)		
F <sub>4</sub>	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)		
	<b>F<sub>1.1</sub></b>	<b>F<sub>1.2</sub></b>	<b>F<sub>1.3</sub></b>		<b>Consistency tests</b>	
F <sub>1.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,6,7)		PEV (λ)=3; CI=0; RCI=0.58; CR=0%<10%	
F <sub>1.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,6,7)			
F <sub>1.3</sub>	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)			
	<b>F<sub>2.1</sub></b>	<b>F<sub>2.2</sub></b>	<b>F<sub>2.3</sub></b>	<b>F<sub>2.4</sub></b>	<b>Consistency tests</b>	
F <sub>2.1</sub>	(1,1,1)	(1,2,3)	(4,5,6)	(4,5,6)	PEV (λ)=4.0091; CI=0.0030; RCI=0.90; CR=0.34%<10%	
F <sub>2.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)		
F <sub>2.3</sub>	(1/6,1/5,1/4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)		
F <sub>2.4</sub>	(1/6,1/5,1/4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)		
	<b>F<sub>3.1</sub></b>	<b>F<sub>3.2</sub></b>			<b>Consistency tests</b>	
F <sub>3.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)			CR not verified for comparison between two criteria	
F <sub>3.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)				
	<b>F<sub>3.1.1</sub></b>	<b>F<sub>3.1.2</sub></b>	<b>F<sub>3.1.3</sub></b>	<b>F<sub>3.1.4</sub></b>	<b>F<sub>3.1.5</sub></b>	<b>Consistency tests</b>
F <sub>3.1.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(6,7,8)	(6,7,8)	PEV (λ)=5.004; CI=0.0011; RCI=1.12 CR=0.09%<10%
F <sub>3.1.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(6,7,8)	(6,7,8)	
F <sub>3.1.3</sub>	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	
F <sub>3.1.4</sub>	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	
F <sub>3.1.5</sub>	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	
	<b>F<sub>3.2.1</sub></b>	<b>F<sub>3.2.2</sub></b>	<b>F<sub>3.2.3</sub></b>	<b>F<sub>3.2.4</sub></b>	<b>Consistency tests</b>	
F <sub>3.2.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	PEV (λ)=4.0119; CI=0.0040; RCI=0.90; CR=0.44%<10%	
F <sub>3.2.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)		
F <sub>3.2.3</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)		
F <sub>3.2.4</sub>	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)		
	<b>F<sub>4.1</sub></b>	<b>F<sub>4.2</sub></b>	<b>F<sub>4.3</sub></b>	<b>F<sub>4.4</sub></b>	<b>Consistency tests</b>	
F <sub>4.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)	PEV (λ)=4.0088; CI=0.0029; RCI=0.90; CR=0.32%<10%	
F <sub>4.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)		
F <sub>4.3</sub>	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)		
F <sub>4.4</sub>	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)		
<b>Factors</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>Consistency tests</b>	
F <sub>1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	PEV (λ)=4; CI=0; RCI=0.90; CR=0%<10%	
F <sub>2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)		
F <sub>3</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)		
F <sub>4</sub>	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)		
	<b>F<sub>1.1</sub></b>	<b>F<sub>1.2</sub></b>	<b>F<sub>1.3</sub></b>		<b>Consistency tests</b>	
F <sub>1.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,6,7)		PEV (λ)=3; CI=0; RCI=0.58; CR=0%<10%	
F <sub>1.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,6,7)			
F <sub>1.3</sub>	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)			
	<b>F<sub>2.1</sub></b>	<b>F<sub>2.2</sub></b>	<b>F<sub>2.3</sub></b>	<b>F<sub>2.4</sub></b>	<b>Consistency tests</b>	
F <sub>2.1</sub>	(1,1,1)	(1,2,3)	(4,5,6)	(4,5,6)	PEV (λ)=4.0091; CI=0.0030; RCI=0.90; CR=0.34%<10%	
F <sub>2.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)		
F <sub>2.3</sub>	(1/6,1/5,1/4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)		
F <sub>2.4</sub>	(1/6,1/5,1/4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)		

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

	F <sub>3.1</sub>	F <sub>3.2</sub>				Consistency tests
F <sub>3.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)				CR not verified for comparison between two criteria
F <sub>3.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)				
	F <sub>3.1.1</sub>	F <sub>3.1.2</sub>	F <sub>3.1.3</sub>	F <sub>3.1.4</sub>	F <sub>3.1.5</sub>	Consistency tests
F <sub>3.1.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(6,7,8)	(6,7,8)	PEV (λ)=5.004; CI=0.0011; RCI=1.12 CR=0.09%<10%
F <sub>3.1.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(6,7,8)	(6,7,8)	
F <sub>3.1.3</sub>	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	
F <sub>3.1.4</sub>	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	
F <sub>3.1.5</sub>	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	
	F <sub>3.2.1</sub>	F <sub>3.2.2</sub>	F <sub>3.2.3</sub>	F <sub>3.2.4</sub>	Consistency tests	
F <sub>3.2.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	PEV (λ)=4.0119; CI=0.0040; RCI=0.90; CR=0.44%<10%	
F <sub>3.2.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)		
F <sub>3.2.3</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)		
F <sub>3.2.4</sub>	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)		
	F <sub>4.1</sub>	F <sub>4.2</sub>	F <sub>4.3</sub>	F <sub>4.4</sub>	Consistency tests	
F <sub>4.1</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)	PEV (λ)=4.0088; CI=0.0029; RCI=0.90; CR=0.32%<10%	
F <sub>4.2</sub>	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)		
F <sub>4.3</sub>	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)		
F <sub>4.4</sub>	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)		

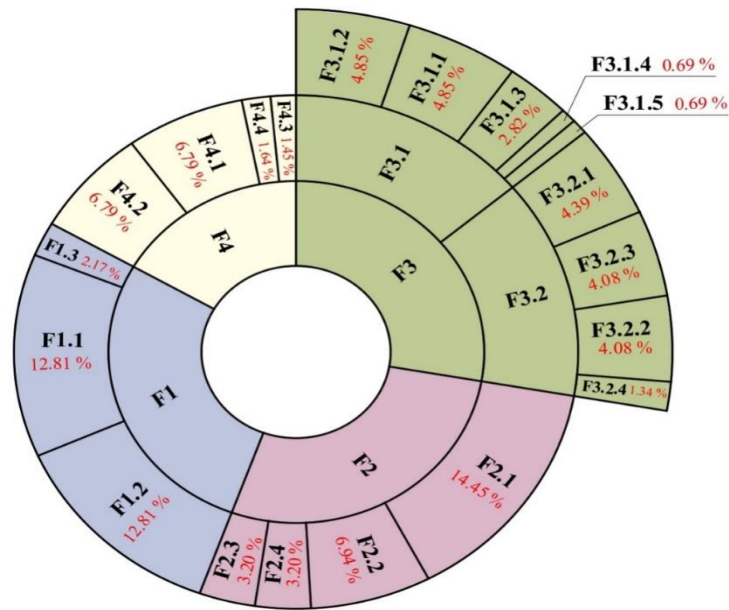
-La figure IV.5 montre un diagramme en soleil représentant les poids locaux obtenus après les tests de cohérence. Ce diagramme souligne que les paramètres hydrauliques, les équipements, les produits chimiques et les paramètres de pollution sont les plus déterminants, atteignant 27,78 %. En revanche, le paramètre de gestion est considéré comme le moins significatif, avec une importance de 16,66 % dans les processus opérationnels de la station d'épuration des eaux usées.



**Figure IV.5 :** Graphique solaire de la pondération locale (Abdelmoumene H et al, 2024).

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

La structure hiérarchique permet de calculer les poids globaux W des sous-critères en multipliant les poids locaux de leurs critères parents. La figure IV.6 résume ces poids et met en évidence des écarts significatifs entre les sous-facteurs, soulignant ainsi leur importance variable dans le fonctionnement de la station.



**Figure IV.6 :** Graphique solaire de la pondération globale (Abdelmoumene H et al, 2024).

### IV.II.1.5 Notations (N) :

Une fois l'arborescence de la station d'Ain el Houtz achevée, nous avons travaillé en collaboration avec des experts pour établir un système d'évaluation pour chaque facteur situé à la base de la structure hiérarchique développée. Ce système a pour objectif de calculer le niveau de performance de la station d'épuration des eaux usées. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau IV.3.

**Tableau IV.3.** Système d'évaluation des facteurs de performance des STEP.

Facteurs F	caractéristiques	Notations N	Facteurs F	caractéristiques	Notations N
Charge appliquée, débit, entretien	Très faible charge appliquée, 3600 < débit < 3800 m <sup>3</sup> /d, Entretien fréquent.	10	DBO5, DCO, MES, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , N-NO <sub>3</sub> , pH, CE, T, Turbidité.	Si le rendement de purification de l'un des paramètres chimiques et physiques est supérieur à 85 %,	10
	charge moyenne appliquée	2		Si le rendement épuratoire entre 60% et 85%	4
	3800 < débit < 30000			Si le rendement de purification de l'un quelconque des	-40

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

	m <sup>3</sup> /d, Faible entretien				
	charge appliquée élevée, Débit > 30000 m <sup>3</sup> /d	-30		paramètres chimiques et physiques est inférieur à 60 %, Pas de crues orageuses, Personnel qualifié, Si l'âge de la STEP est inférieur à 100 ans, Coûts énergétiques moyens.	
<b>Pompes, canalisations, tamisage, aérateur, Boues, chlore, débitmètre.</b>	Si tous les équipements fonctionnent et que les produits sont disponibles	10	<b>Risques naturels, facteur humain, âge, consommation d'électricité</b>		
	En cas de défaillance d'un des équipements et d'une pièce de rechange	4		Inondations dues aux pluies fréquentes,	-50
	Si l'un des équipements est en panne avec manque de produits injectés.	-10		Personnel non qualifié, grève, Âge de la station d'épuration, plus de 100 ans Coûts énergétiques élevés.	

**Remarque :** Le rendement épuratoire est généralement exprimé en pourcentage et calculé en comparant la concentration d'un paramètre donné (par exemple, matières organiques, azote, phosphore, matières en suspension) dans l'eau brute (eau non traitée) et dans l'eau traitée (effluent final). La formule de base est :

$$\text{Rendement épuratoire}(\%) = \frac{\text{Concentration initiale} - \text{Concentration finale}}{\text{Concentration initiale}} * 100\%$$

Le rendement épuratoire est un outil essentiel pour évaluer et optimiser les performances des systèmes de traitement des eaux usées, tout en minimisant leur impact environnemental.

### IV.II.6 le Calcul du score de fonctionnement (R) :

Pour évaluer de manière précise la performance globale d'une (STEP), un indicateur appelé score R est calculé en utilisant une formule spécifique. Ce score R permet de quantifier l'efficacité opérationnelle de la station en intégrant plusieurs facteurs qui influencent son fonctionnement.

Le score R représente une valeur numérique qui traduit l'état de fonctionnement d'une STEP. Il est conçu pour fournir une mesure objective de la performance

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

opérationnelle, en tenant compte de divers aspects, tels que l'efficacité du traitement des eaux, l'état des équipements, et les niveaux de conformité avec les normes environnementales.

Le score R est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$R = \sum W * N \quad (5.1)$$

Où N et W représentent respectivement la notation (tableau IV.3) et la pondération globale (figure IV.14) des facteurs F illustrés dans le tableau IV.4.

### IV.II.7 Classification de l'état de fonctionnement des STEP :

Après avoir calculé le score R, qui reflète la performance de la STEP, nous avons établi une classification de l'état de cette infrastructure en fonction des différentes valeurs de cet indicateur (voir tableau IV.4).

**Tableau IV.4:** Classification de l'état de fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées.

Classe	R	Etat de fonctionnement de la station d'épuration
1	Plus de 5	Fonctionnement parfait (bon état général)
2	[3, 5[	Fonctionnement normal (défaillances mineures)
3	[1, 3[	Fonctionnement modéré (nécessite une intervention urgente)
4	Moins de 1	Pas de fonctionnement (arrêt de la STEP)

### IV.II.8 Application du Modèle à Divers Scénarios :

Nous avons appliqué notre modèle à plusieurs scénarios, en nous concentrant particulièrement sur des situations critiques qui pourraient avoir un impact significatif sur le fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées (STEP) :

#### 1. Évaluation des Conditions Actuelles des STEP :

Dans un premier temps, nous avons validé le modèle en tenant compte des conditions actuelles de la STEP. Cela a été réalisé après une étude approfondie de son fonctionnement. La STEP, qui a maintenant 19 ans et opère à faible charge, a enregistré des rendements de traitement variant entre 88 % pour les paramètres physiques et 95 % pour les paramètres chimiques durant le premier semestre de 2024 (voir annexe 01). Dans l'état actuel de la STEP, malgré il y a un dégrilleur automatique, la station rencontre toujours des problèmes dans la section de dégrillage, ce qui peut entraver son efficacité globale. Les résultats, présentés dans le tableau IV.5, montrent un score R de 8,94, ce qui indique un état de fonctionnement

## **Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz**

---

généralement favorable pour la station, conforme aux critères établis dans le tableau IV.3.

### **2. Scénario de Crise : Inondation**

Dans un scénario simulé, nous avons examiné les conséquences d'une inondation causée par des pluies intenses, qui ont généré un débit d'eau exceptionnellement élevé, dépassant les 30 000 m<sup>3</sup> par jour. Ce volume d'eau, bien supérieur à la capacité de traitement de la station d'épuration des eaux usées (STEP), a provoqué une surcharge hydraulique significative. Cela signifie que le système a été submergé par un excès d'eau, compromettant gravement son fonctionnement. En raison de cette surcharge, la STEP n'a pas été en mesure de maintenir ses opérations habituelles de traitement. L'indicateur de performance global, appelé score R, a été évalué à 0,81, ce qui reflète un échec total du système et une incapacité à traiter efficacement les eaux usées dans ces conditions. Les résultats, consignés dans les tableaux 4 et 6, confirment que la STEP a été mise hors service, probablement en raison d'une combinaison de phénomènes, notamment la dilution excessive des polluants, la perturbation des processus biologiques, et l'incapacité des infrastructures à gérer un tel volume. Ce scénario met en lumière l'importance cruciale de la gestion des crises et de la préparation aux risques associés aux conditions climatiques extrêmes. Les pluies intenses et les inondations sont des phénomènes de plus en plus fréquents dans le contexte du changement climatique, et ils représentent une menace majeure pour les infrastructures critiques comme les STEP. Pour garantir la continuité des opérations, il est essentiel de mettre en place des plans de gestion des risques robustes, d'investir dans des infrastructures capables de résister à des charges hydrauliques élevées, et de prévoir des mesures d'urgence, telles que des systèmes de déviation ou des réservoirs tampons. Une telle préparation permettrait de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et de garantir la sécurité des populations en aval.

### **3. Scénario de qualité de rejet : Analyse de l'efficacité réduite du processus de purification.**

Lors de la troisième simulation, nous avons étudié les performances de la station d'épuration des eaux usées (STEP) dans un contexte où son efficacité de purification était considérablement réduite. Ce scénario reflétait une situation critique dans laquelle les ressources nécessaires à son bon fonctionnement étaient insuffisantes. En particulier, le déficit de boues activées, indispensables pour les processus biologiques, ainsi que le manque de produits chimiques essentiels tels que le chlore (utilisé pour la désinfection) et un autre produit mentionné de manière incorrecte comme le "chou" (probablement une erreur ou une substitution accidentelle dans le texte), ont entraîné une dégradation significative des résultats de traitement. Dans ces conditions, les rendements de purification ont chuté à des niveaux inférieurs à 65 % pour les paramètres chimiques mesurés, ce qui traduit une performance bien en deçà des

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

standards acceptables. Le calcul du score R, qui est un indicateur de performance global, a donné une valeur de 2,42 (tableau IV.5). Ce score indique que, bien que le fonctionnement de la STEP soit encore opérationnel, il reste à un niveau modéré, nécessitant des interventions immédiates. Ces résultats soulignent l'urgence d'un entretien rigoureux et d'un approvisionnement adéquat en ressources, en particulier pour les bassins biologiques. Ces derniers jouent un rôle crucial dans le traitement des eaux usées, notamment en éliminant les matières organiques et en réduisant la charge chimique. Sans un rétablissement rapide des conditions optimales, l'efficacité globale de purification continuera de décliner, augmentant le risque de rejet d'eaux insuffisamment traitées dans l'environnement.

### 4. Scénario d'Équipement :

Lors de la quatrième simulation, nous avons analysé les conséquences d'une défaillance des équipements critiques de la station d'épuration des eaux usées (STEP). Ce scénario simulait une situation dans laquelle plusieurs problèmes techniques compromettaient le fonctionnement optimal de la station. Parmi les problèmes identifiés :

1. **Manque de pièces de rechange** : L'absence d'un stock suffisant de pièces essentielles rendait les réparations difficiles et augmentait les délais d'intervention.
2. **Colmatage des tuyaux** : L'accumulation de déchets ou de dépôts dans les conduites entravait le flux des eaux usées, réduisant l'efficacité globale du traitement.
3. **Détérioration des pompes** : Les pompes, élément clé du système, étaient défaillantes, limitant leur capacité à acheminer les eaux usées dans les différentes étapes de traitement.
4. **Absence de débitmètre** : Sans cet outil crucial, il devenait impossible de surveiller avec précision le volume d'eau traité, ce qui compliquait le contrôle des performances et la détection rapide des anomalies.

Ces défaillances combinées ont abouti à un score R de 5,08, indiquant que la STEP pourrait continuer à fonctionner, mais avec des pannes mineures récurrentes qui affectent son efficacité. Ce résultat met en évidence l'importance d'un programme de **maintenance préventive**. Une telle approche, incluant l'inspection régulière des équipements, le remplacement des pièces usées, et la planification des stocks de rechange, est essentielle pour garantir la fiabilité et la durabilité des opérations.

### 5. Scénario de Forte Charge Urbaine :

Dans le cinquième scénario, la STEP a été soumise à une forte charge hydraulique et organique en raison d'un afflux massif d'effluents urbains. Ce contexte représentait une situation où l'augmentation soudaine des débits urbains était aggravée par des pratiques d'entretien irrégulières. De plus, la consommation énergétique a atteint des niveaux élevés, dépassant les 12 000 kW, ce qui reflète une sollicitation importante

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

des équipements pour traiter ces volumes supplémentaires. La simulation a produit un score R de 3,027 (voir tableau IV.5), indiquant que la STEP pouvait encore fonctionner normalement, mais qu'elle nécessitait une attention constante et un entretien fréquent pour éviter des pannes à long terme. Les facteurs suivants ont été identifiés comme critiques dans ce scénario :

1. **Effluents urbains sous forte charge** : La STEP doit traiter des volumes d'eau plus importants, souvent associés à une charge organique et chimique élevée.
2. **Entretien irrégulier** : Des opérations de maintenance irrégulières augmentent le risque d'usure accélérée et de défaillance des équipements.
3. **Consommation énergétique élevée** : Ce facteur souligne la nécessité de solutions plus efficaces sur le plan énergétique pour éviter des coûts et une pression supplémentaire sur les équipements.

Ce scénario met en lumière la nécessité d'une **gestion proactive des opérations** pour faire face aux variations soudaines des charges urbaines. Les mesures recommandées incluent l'optimisation de la maintenance, la mise en œuvre de systèmes de gestion des pics de charge, et l'investissement dans des technologies plus économes en énergie.

**Tableau IV.5** : Résultats de la simulation du modèle dans différents scénarios.

N°	Facteurs Fi	W	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3		Scénario 4		Scénario 5	
			N	N*W	N	N*W	N	N*W	N	N*W	N	N*W
1	F1.1	0,128	10	1,281	10	1,281	10	1,281	10	1,281	-30	-3,842
2	F1.2	0,128	10	1,281	-30	-3,842	10	1,281	10	1,281	10	1,281
3	F1.3	0,022	10	0,217	10	0,217	10	0,217	10	0,217	-30	-0,650
4	F2.1	0,144	10	1,445	10	1,445	10	1,445	-10	-1,445	10	1,445
5	F2.2	0,069	4	0,278	10	0,694	10	0,694	-10	-0,694	10	0,694
6	F2.3	0,032	10	0,320	10	0,320	-10	-0,320	10	0,320	10	0,320
7	F2.4	0,032	-10	-0,320	10	0,320	10	0,320	-10	-0,320	10	0,320
8	F3.1.1	0,048	10	0,485	10	0,485	-40	-1,940	10	0,485	10	0,485
9	F3.1.2	0,048	10	0,485	10	0,485	-40	-1,940	10	0,485	10	0,485
10	F3.1.3	0,028	10	0,282	10	0,282	-40	-1,128	10	0,282	10	0,282
11	F3.1.4	0,007	10	0,069	10	0,069	-40	-0,274	10	0,069	10	0,069
12	F3.1.5	0,007	10	0,069	10	0,069	-40	-0,274	10	0,069	10	0,069
13	F3.2.1	0,044	10	0,439	10	0,439	10	0,439	10	0,439	10	0,439
14	F3.2.2	0,041	10	0,408	10	0,408	10	0,408	10	0,408	10	0,408
15	F3.2.3	0,041	10	0,408	10	0,408	10	0,408	10	0,408	10	0,408
16	F3.2.4	0,013	10	0,134	10	0,134	10	0,134	10	0,134	10	0,134
17	F4.1	0,068	10	0,679	-50	-3,393	10	0,679	10	0,679	10	0,679
18	F4.2	0,068	10	0,679	10	0,679	10	0,679	10	0,679	10	0,679
19	F4.3	0,015	10	0,145	10	0,145	10	0,145	10	0,145	10	0,145
20	F4.4	0,016	10	0,164	10	0,164	10	0,164	10	0,164	-50	-0,820
			R= 8,94		R=0,81		R=2,42		R=5,08		R=3.027	

## Chapitre IV : L'estimation du degré de performance pour la station d'épuration d'Ain El Houtz

---

Où N représente l'évaluation du facteur F (voir tableau IV.4) et W son poids global correspondant (voir figure IV.15).

### IV.III. Conclusion :

- La STEP est décrite comme ayant une conception efficace, ce qui signifie qu'elle a été conçue pour fonctionner de manière optimale dans le traitement des eaux usées. Cependant, des pannes ont été identifiées, notamment sur les dégrilleurs (qui éliminent les déchets solides) et les pompes (qui transportent l'eau), ce qui pourrait affecter son efficacité globale.

- Le score de 8,33 est un indicateur de la performance de la station. Ce chiffre suggère que, malgré les problèmes techniques, la STEP fonctionne de manière acceptable. L'absence de "défaillance majeure" signifie que la station est capable de traiter les eaux usées sans entraîner de risque immédiat de fermeture, ce qui est un point positif par rapport à d'autres installations similaires.

- L'étude souligne que, contrairement à des recherches précédentes qui se concentraient uniquement sur les analyses physico-chimiques des rejets (c'est-à-dire sur les substances chimiques et physiques présentes dans les eaux usées après traitement), elle a adopté une approche plus globale. Cela signifie qu'elle a pris en compte d'autres critères qui pourraient affecter le fonctionnement de la station, offrant ainsi une vision plus complète de son état.

- En intégrant un plus grand nombre de critères, l'étude présente un modèle plus holistique pour évaluer les performances de la STEP. Cela va au-delà des simples mesures de rejets et inclut d'autres aspects du fonctionnement de la station, ce qui est essentiel pour une gestion efficace.

- Le modèle élaboré et les résultats de l'étude sont présentés comme des outils importants pour la gestion des eaux usées. Ils visent à soutenir les gestionnaires et décideurs dans la prise de décisions éclairées concernant l'exploitation et la maintenance des stations d'épuration. À terme, ces outils pourraient améliorer l'efficacité de la gestion des ressources en eau, un aspect essentiel face aux défis environnementaux de plus en plus pressants.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

Les stations d'épuration sont des piliers de la protection de l'environnement et de la santé publique. En traitant les eaux usées avant leur rejet, elles contribuent à préserver les écosystèmes. Évaluer leur performance est crucial pour optimiser leur fonctionnement, assurer la conformité réglementaire, réduire l'impact environnemental et Améliorer la gestion des coûts.

Toutefois, cette évaluation présente plusieurs défis significatifs :

- **La diversité des polluants** à traiter et des nombreux paramètres influant sur le processus de traitement (charge hydraulique, température, etc.).
- **La variabilité des conditions opérationnelles** qui impactent les performances de la station (saisonnalité, composition des eaux usées et d'autres facteurs externes).
- **La multiplicité des objectifs** à considérer : qualité de l'eau, aspects économiques, environnementaux et énergétiques.

Ces défis nécessitent une approche intégrée qui prend en compte non seulement les aspects techniques mais aussi les considérations économiques et environnementales pour garantir un traitement efficace et durable des eaux usées. L'analyse multicritère, notamment l'AHP et le FAHP, offre un cadre méthodologique solide pour évaluer la performance des stations d'épuration en permettant de hiérarchiser les différents critères et de prendre en compte les interactions entre eux

Dans cette étude, deux modèles ont été définis. Le premier modèle utilise la méthode AHP (Analyse Hiérarchique des Processus) pour estimer le degré de dysfonctionnement de la station d'épuration de Sebdou. En tenant compte d'une multitude de facteurs internes et externes, ce modèle offre une vision globale et détaillée de l'état de fonctionnement de la station.

Les résultats principaux peuvent être résumés comme suit :

- **Identification des facteurs clés:** L'étude a permis d'identifier les principaux facteurs susceptibles d'affecter le fonctionnement de la station, tels que l'âge des équipements, les conditions climatiques et les erreurs humaines.

## Conclusion Générale

---

- **Hiérarchisation des critères** : Grâce à la méthode AHP, les différents facteurs ont été hiérarchisés avec des poids établis en fonction de leur impact sur le processus de traitement des eaux usées.
- **Évaluation quantitative** : Un score de dysfonctionnement (SGD) a été calculé pour chaque étape de traitement, permettant d'évaluer de manière précise l'état de la STEP.
- **Simulation de scénarios** : La simulation de différents scénarios a permis de valider la robustesse du modèle et de mettre en évidence les vulnérabilités de la station face à des événements inattendus.

Dans le deuxième modèle, la recherche met en avant le potentiel de la méthode FAHP (FuzzyAnalyticHierarchyProcess) pour évaluer efficacement l'état opérationnel des stations d'épuration urbaines. Ce modèle intègre divers facteurs au-delà de la simple qualité des effluents, L'étude montre que l'application de la FHP permet de prendre en compte l'incertitude et l'imprécision dans les jugements humains lors de l'évaluation des performances des installations. Elle a permis d'identifier et de classer les facteurs influençant l'efficacité opérationnelle, aboutissant à un score global (R) qui reflète l'état de l'installation.

Une structure hiérarchique à quatre niveaux, comprenant 26 facteurs, a été mise en place. Les résultats montrent que les paramètres hydrauliques, les équipements, et l'efficacité de purification ont le plus d'impact sur la détérioration des stations, avec un poids de 27 %. Les conditions de gestion viennent ensuite, avec une pondération de 15 %. En revanche, les facteurs humains et ceux liés à la consommation d'énergie ont eu un impact moindre, avec des poids de 8 % et 9 %, respectivement.

Validé par une étude de cas sur la station d'épuration d'Ain el Houtz en Algérie, le modèle a démontré sa capacité à évaluer la performance de la station dans divers scénarios, tels que les inondations, les faibles performances de purification, les pannes d'équipements et les charges urbaines élevées. En somme, cette recherche montre que le modèle est capable de fournir une évaluation complète et fondée sur des données

## Conclusion Générale

---

des performances des stations d'épuration, offrant ainsi une base solide pour optimiser les processus de traitement des eaux usées et garantir la durabilité environnementale.

Les résultats obtenus dans cette étude sont prometteurs et ouvrent des perspectives intéressantes pour l'amélioration des systèmes de traitement des eaux usées. En élargissant l'application des modèles développés à d'autres stations d'épuration présentant des configurations et des contraintes variées, il serait possible de valider leur robustesse et d'optimiser leur efficacité.

L'intégration de données en temps réel représenterait une avancée majeure en permettant la mise en place de systèmes d'alerte précoce capables d'identifier les premiers signes de dysfonctionnement et d'anticiper d'éventuelles pannes. Cette approche proactive réduirait ainsi les coûts d'entretien et les risques environnementaux liés aux rejets insuffisamment traités.

Par ailleurs, un affinement des facteurs influençant la dégradation des équipements et des performances du traitement, couplé à l'intégration de nouvelles variables telles que les conditions météorologiques, les variations de charge polluante ou encore la nature des effluents traités, permettrait d'améliorer considérablement la précision des diagnostics.

Enfin, le développement de logiciels dédiés faciliterait l'implémentation de ces méthodologies au sein des stations d'épuration, en automatisant l'analyse des données et en offrant aux opérateurs des outils d'aide à la décision plus performants. Une telle innovation garantirait une gestion plus réactive et mieux adaptée aux spécificités de chaque installation, renforçant ainsi la fiabilité, l'efficacité et la durabilité des infrastructures de traitement des eaux usées.

**Références  
bibliographiques.**

## Références Bibliographiques

---

- Abbas .H.B, Routray .J. K, 2014**, Assessing factors affecting flood-induced public health risks in Kassala State of Sudan. *Operations Research for Health Care*3(4):215-225. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2014.09.001>
- Abdelmoumene. H, Lallam. F, Lallam. M, & Boumediene. M, 2024**, Assessment of the operational status of a wastewater treatment plant using the FAHP Process: case study of the Ain El Houtz WWTP in Algeria. *Studies In Engineering And Exact Sciences*, 5(2), e7688. <https://doi.org/10.54021/seesv5n2-177>
- Aboussaoud. M.W, 2014**, Etude du rôle d'adsorbants alumino-silicates dans un procédé d'ozonation d'eaux usées pétrochimiques. Thèse de doctorat. Mécanique, Energétique, Génie Civil, Procédés, Toulouse.
- Ahn, K.-H., et al. (2004)**. Nitrogen removal using membrane bioreactor (MBR) and upflow biofilter (UBF) system. *Water Science and Technology*, 49(5-6), 183-191.
- Ali .Y, Pervez. H, Khan. J,2020**, Selection of the most feasible wastewater treatment technology in Pakistan using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM). *Water conservation science and Engineering* 5(3-4):199–213. <https://doi.org/10.1007/s41101-020-000946>
- Alighardashi Abolghasem , 2007**, Composés pharmaceutiques et eaux usées urbaines. I, Analyse bibliographique. II, Effet de deux antibiotiques de type macrolide sur les boues activées. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Aloo. B.N, Mulei. J, et Mwamburi. A.L, 2014**, Slow Sand Filtration of Secondary Sewage Effluent: Effect of Sand Bed Depth on Filter Performance. *IJRSET*, 3 (8)
- Anandalingam. G et Olsson, 1989**, « A multi-stage multi-attribute decision model for projects delection. » *European journal of Operation Research*, 43(3), 271–283
- Anaokar .G.S, Khambete. A.K, Christian. R.A,2018**, Evaluation of a Performance Index for Municipal Wastewater Treatment Plants using MCDM – TOPSIS. *International Journal of Technology* 9(4): 715-726. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i4.102>
- Aragones-beltrán. P, Pastor-ferrando. J, Garcíagarcía. F, Pascual-agullo .A, 2010**, An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management* 91(5): 1071–1086. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.007>

## Références Bibliographiques

---

**Aziz. N.F, Sorooshian.S, Mahmud.F, 2016**, MCDM-AHP method in decision makings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(11): 7217–7220.

**Barda. O.H, Dupuis. J, Lencioni. P, 1990**, « Multicriteria location of thermal power plants. » *European Journal Of Operational Research*, 45(2-3), 332-346.

**Belaid.N, 2010**, Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du perimeter irrigué d'El Hajeb –Sfax: Salinisation, accumulation et phytoabsorption des elements métalliques, these de doctorat en cotutelle de l'université de sfax et de Limoges.

**Belhadji Hicham et Moumeni Ouassini, 2016**, Etude des performances épuratoires d'une station d'épuration des eaux usées de l'industrie textile : cas de la STEP de Sebdou, mémoire de master 02, département d'hydraulique, filière de Technologies de Traitement Des Eaux, université de Tlemcen, 84 page.

**Ben Hassan Ines, 2014**, Analyse multi-échelle de la filtration sur microsieve de particules modèles inertes et biologiques : Caractérisation in situ du dépôt par microscopie confocale. Thèse de doctorat. Sciences Biologiques. Université de Toulouse.

**Bonin bernard ,1986**, Ring Complex Granites and Anorogenic Magmatism. Originally published in French in 1982; translated by J. Renouf; revised and updated, xii + 188 pp. London: North Oxford Academic in association with BRGM. (hardback). ISBN 0 94653650 3

**Borzooei. S, Campo. G, Cerutti. A, Meucci .L, Panepinto. D, Ravina. M, Riggio. V, Ruffino .B, Scibilia. G, Zanetti. M, 2019**, Optimization of the wastewater treatment plant: from energy saving to environmental impact mitigation. *Sci Total Environ* 691:1182–1189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.241>

**Bouaziz. K. I , 2014**, Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique. Génie des procédés et en l'environnement. Université de Toulouse.

**Brunelli.M, 2014**, Priority Vector and Consistency. *Springer Briefs in Operations Research* ,p.17–31,2014. doi:10.1007/978-3-319-12502-2\_2

**Buckley.J.J, 1985**, Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*,v. 17,n. 3 ,p.233–247,1985. doi:10.1016/0165-0114(85)90090-9.

**Canler .J.P, 2004**, Report on Biological malfunctions in wastewater treatment plants: causes and solutions. Document technique FNDAE n° 33, Cemagref Éditions,124 p.

**Carre Erwan, 2017**, Qualité biologique des eaux usées traitées en vue de laréutilisation. Thèse de doctorat. Université de Lyon.

## Références Bibliographiques

---

**Ćetkovic.J, Knezevic.M, Vujadinovic. R, Tombarevic. E, M. Grujic ,2023,** Selection of Wastewater Treatment Technology: AHP Method in Multi-Criteria Decision Making, *Water* 15(9):1645. <https://doi.org/10.3390/w15091645>

**Chang . D. Y, 1996,** Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.

**Chen, G. (2004).** Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41.

**David. P. L, 2013,** Traitement des eaux grises par réacteur à lit fluidisé et dangers liés à leur utilisation pour l'irrigation d'espaces verts urbains. *Génie des procédés. Ecole des Mines de Nantes.*

**Davies-Colley, R. J., & Smith, D. G. (2001).** Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1085-1101.

**Desjardins. R, 1997,** Le traitement des eaux, 2ème Edition. Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal.

**Do carmo lourenço da silva maria , 2008,** Effet de la variabilité du fractionnement de la pollution carbonée sur le comportement des systèmes de traitement des eaux usées par boues activées. Institut National Polytechnique de Lorraine.

**Dortaj. A, Maghsoudy .S, Doulati Ardejani .F, Eskandari .Z, 2020,** A hybrid multi-criteria decision making method for site selection of subsurface dams in semi-arid region of Iran. *Groundw. Sustain. Dev.* 10(8):100284.<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100284>

**Dursun. M,2016,** A fuzzy approach for the assessment of wastewater treatment alternatives. *Engineering Letters* 24(2): 231–236.

**Eltarabishi .F, Hassan Omar .O, Alsyouf .I, Bettayeb. M, 2020,** Multi-Criteria Decision Making Methods And Their Applications– A Literature Review. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai UAE, IEOM Society International: 2654- 2663.*

**Ennaouri .I, 2010,** « Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux. » Memory presented for obtaining the master's degree in applied science. Civil engineering. Polytechnic school of Montreal., p.50-63.

**Eseoglu.G, Yapsakli.K, Tozan.H, Vayvay.O, 2022,** A novel fuzzy framework for technology selection of sustainable wastewater treatment plants based on

## Références Bibliographiques

---

TODIM methodology in developing urban areas. Scientific reports 12 (1): 8800. DOI:10.1038/s41598-022-12643-1

**Gaid .A, 1984**, Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I, édition OPU,Alger.

**Gaid .K et Treal .Y, 2007**, Le désalement des eaux par osmose inverse: l'expérience de Véolia Water. Desalination 203, 1-14.

**Gerardi, M. H. (2002)**. Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process. Wiley.

**Grady, C. P. L., Daigger, G. T., Love, N. G., & Filipe, C. D. M. (2011)**. Biological Wastewater Treatment (3rd Edition).

**Guilloteau. J.A , 1992**, Traitement des eaux résiduaires par infiltration percolation. Thèse de Sciences et Techniques de l'eau. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 145 p+ annexes.

**Guitouni .A, Martel .J .M, Vincke. Ph, 1999**, « Un Cadre de Référence pour le Choix d'une Procédure d'Agrégation Multicritère. » Document de travail, FSA-1999-013, Université Laval, Québec, Canada.

**Hachol .J, Hämmerling. M, Bondar-nowakowska. E, 2017**, Applying the analytical hierarchy process (AHP) into the effects assessment of river training works. Journal of Water and Land Development 1.35:63–72. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0069>

**Hamlat. A, Kadri .C.B,Sekkoum. M, Guidoum. A, Remada. A,2022**, Multi-criteria decision-making approach for selecting an alternative wastewater treatment plant site in urban areas of Laghouat (North-Central Algeria). Euro- Mediterranean Journal for Environmental Integration 7 :511–530. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00333-3>

**Harris, H. H., et al. (2006)**. Ammonium: sources, chemistry, and treatment. In: Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water (6th Edition).

**Herteman Mélanie, 2010**, Evaluation des capacités bioremédiatrices d'une mangrove impactée par des eaux usées domestiques. Application au site pilote de Malamani, Mayotte. Ecologie. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.

**Henze, M., et al. (2008)**. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design. IWA Publishing

**Hu .W, Liu. G, Tu .Y,2016**, Wastewater treatment evaluation for enterprises based on fuzzy-AHP comprehensive evaluation: a case study in industrial park in Taihu Basin, China. Springer Plus. 5(1): 907. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2523-8>

## Références Bibliographiques

---

**Jantaporn Waritha, 2016**, Technologies membranaires innovantes pour la réutilisation des eaux. Thèse de doctorat. Génie des procédés. Université Paul Sabatier-Toulouse III.

**Jetten, M. S. M., et al. (2005)**. Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox') process. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(3), 283-288.

**Juzni C-zonta. Z, Guisasola .A, Baeza. J.A, 2022**, Smart-plant decision support system (SP-DSS): defining a multi-criteria decision-making framework for the selection of WWTP configurations with resource recovery. *Journal of Cleaner Production* 367:132873. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132873>

**Kahraman. C, Cebeci. U, et Ruan. D ,2004**, Multi-criteria decision making using fuzzy AHP: A comparison of the use of fuzzy and crisp AHP. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(4), 467-483.

**Kahraman. C, Ruan. D, et Doğan .İ, 2003**, Fuzzy group decision-making for facility location selection. *Information Sciences*, 157(1-4), 135-153.

**Kamble. S.J, Singh. A, Kharat. M.G,2017**, A hybrid life cycle assessment based fuzzy multi-criteria decision making approach for evaluation and selection of an appropriate municipal wastewater treatment technology. *Euro-Mediterranean Journal Environmental Integration* 2(1):1–17. <https://doi.org/10.1007/s41207-017-0019-8>

**Karimi. A, Mehrdadi. N, Hashemian. S, Nabi-bidhendi. G, TavakkolimoghaddamR, 2011**, Using of the fuzzy TOPSIS and fuzzy AHP methods for wastewater treatment process selection. *International Journal of Academic Research* 3(1):737–745.

**Kehrein .P, Van Loosdrecht. M, Osseweijer .P, Garfí .M, Dewulf. J,Posada. J, 2020**,A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants – market supply potentials technologies and bottlenecks.*Environmental Science Water Research and Technology* 6 (4): 877–910.<https://doi.org/10.1039/C9EW00905A>

**Khodadadi. M.R, Zolfani .S.H, Yazdani. M, Zavadskas. E.K, 2017**, A Hybrid MADM Analysis in Evaluating Process of Chemical Wastewater Purification Regarding to Advance Oxidation Processes. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 25(3): 277–288. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1281140>

**Kulakowski . K, 2020**, Understanding the Analytic Hierarchy Process, *Underst. Anal. Hierarchy Process*, no. 2012, doi: 10.1201/b21817.

**Kwong. C.K, 2003**, and Bai,H. Determining the Importance Weights for the Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis

## Références Bibliographiques

---

Approach. IIE Transactions ,v.35,n.7,p.619–626,2003.  
doi:10.1080/07408170304355.

**Lallam .F, Megnounif.A, Ghenim. A.N, 2018**, Estimating the runoff coefficient using the analytic hierarchy process, Journal of Water and Land Development 38 (VII–IX): 67–74. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0043>

**Lallam.M, Djebli.A, Mammeri . A, 2023**, Fuzzy Analytical Hierarchy Process for Assessing Damage in Old Masonry Buildings: A Case Study, International Journal of Architectural Heritage,p.21,2023. doi:10.1080/15583058.2023.2295885

**Lallam.M, Mammeri. A, Djebli. A, 2021**,Fuzzy analytical hierarchy processes for damage state assessment of arch masonry bridge. Civil Engineering Journal,v.7,n.11,p.1933-1946.

**Linard. C, Tatem. A. J, and Gilbert. M,2013**, Modelling spatial patterns of urban growth in Africa, Appl. Geogr., vol. 44, pp. 23–32, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.07.009>.

**Luis Carlos Soares da Silva Junior, André Luis de Sá Salomão, Ana Silvia Pereira Santos ,2022**, MATTI – a multi-criteria decision analysis framework for assessing wastewater treatment technologies. Water Sci Technol 15 November 2022; 86 (10): 2764–2776. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.374>

**Mailler. R, 2015**, Devenir des micropolluants prioritaires et émergents dans les filières conventionnelles de traitement des eaux résiduaires urbaines des grosses collectivités (files eau et boues), et au cours du traitement tertiaire au charbon actif.Ingénierie de l’environnement. Université Paris-Est.

**Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2014)**. Brock Biology of Microorganisms (14th Edition).

**Marzouk . C, Tarik . Z , Bernard. C, 2011**,Application de la méthode AHP pour l’évaluation de la performance des systèmes d’assainissement urbains. Journal of Decision Systems 20(1): 103-127. <https://doi.org/10.3166/jds.20.103-127>

**Metahri.M.S,2012**, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédées mixtes. Cas de la STEP Est de la ville TIZI OUZOU, Thèse de doctorat en agronomie, université de TIZI OUZOU.

**Metcalf & Eddy. (2003)**. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th Edition).

**Mikhailov. L., et Singh. M. G, 2003**, Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 33(1), 33-41.

## Références Bibliographiques

---

**Mu.E Pereyra-rojas,M ,2017**, “An Introduction to the analytic hierarchy process using super decision,” Practical decision making.

**Obeid Layaly , 2014**, Synthèse et caractérisation de matériaux magnétiques pour l'adsorption de polluants présents dans les eaux. Thèse de doctorat. Chimie organique.Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

**Oberschmidt. M. J, Geldermann. P. J, Ludwig .M. J, Schmehl .M. M,2010**, Modified PROMETHEE Approach to Assessing Energy Technologies. Int. J. Energy Sect. Manag. 4(2): 183-212.<https://doi.org/10.1108/17506221080000394>

**ONA, 2006**, Office nationale de l'assainissement de Tlemcen.

**Orencio.PM, Fujii. M, 2013**, A localized disasterresilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (AHP). International Journal of Disaster Risk Reduction.3: 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.11.006>

**Ouyang .X, Guo. F, Shand. D, Yu .H, Wang .J, 2015**, Development of the integrated fuzzy analytical hierarchy process with multidimensional scaling in selection of natural wastewater treatment alternatives. Ecological Engineering 75:438–447. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.006>

**Pasquini Laure , 2013**, Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration. Thèse de doctorat. Université de Lorraine.

**Philippe. F, Piton. G, Tacnet.J, et Gourhand. A, 2018**, Focus - Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) à l'analyse multicritère des stratégies d'aménagement du Grand Bûech à la Faurie. Sciences Eaux & Territoires, (26), 54–57. <https://doi.org/10.14758/SETREVUE.2018.26.10>

**Preisner .M, Smol .M, Horttanainen. M, Deviatkin. I, Havukainen. J, Klavins. M., Ozola-davidane .R, Kruopien. J, Szatkowska. B, Appels. L, Houtmeyers. S, Roosalu. K, 2022**, Indicators for resource recovery monitoring within the circular economy model implementation in the wastewater sector. Journal of Environmental Management 304:114261. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114261>

**Radwan. F, Alazba. A.A, Mossad .A, 2018**, Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semi arid regions. Acta Geophysica 67(1):215–229. <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0233-z>

**Rediske . G, Siluk. J. C. M, Michels. L, Rigo. , P. D, Rosa. C. B., and Cugler. G,2020**, Multicriteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil, Energy, vol. 197, pp. 1–16, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117167.

## Références Bibliographiques

---

**Renfrew .D,Vasilaki.V, Katsou.E ,2024**, Indicator based multi-criteria decision support systems for wastewater treatment plants. *Sci Total Environ* 915:169903. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169903>

**Rogulj. K;Kilić Pamuković. J; Jajac.N, 2021**, Knowledge-Based Fuzzy Expert System to the Condition Assessment of Historic Road Bridges, *Applied Sciences*, v.11,n.3,p.1021,2021. doi:10.3390/app11031021.

**Rosso, D., Stenstrom, M. K., & Larson, L. E. (2008)**. Aeration of large-scale municipal wastewater treatment plants: state of the art. *Water Science and Technology*, 57(7), 973–978.

**Saaty .T.L, 1988**, What is the Analytic Hierarchy Process?. In: Mitra, G., Greenberg HJ, Lootsma FA, Rijkaert MJ, Zimmermann HJ (eds) *Mathematical Models for Decision Support*. NATO ASI Series 48, Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1_5)

**Saaty T.L, 2003**, « Decision-making with the AHP: Why is the principal Eigenvector necessary», *European Journal of Operational Research* 145 -85–91.

**Saaty. T.L et W.R ,1987**, The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Journal of Mathematical Modelling*.v.9,n.3-5,p.161–176.doi:10.1016/0270-0255(87)90473-8

**Sabiri Nour-Eddine, Monnier Elodie, Raimbault Virginie, Massé Anthony, Séchet Véronique et Jaouen Pascal, 2016**, Effect of filtration rate on coal-sand dual-media filter performances for microalgae removal. *Environmental Technology*, DOI:10.1080/09593330.2016.1193224

**Sasikumar G., Sudhakar U., Jodhi C., and Sivasangari A. (2022)**, Evaluation of wastewater treatment technologies by combined analytical hierarchy process and grey relational analysis, *Global NEST Journal*, 24(4), 607-612.

**Senturk. S, Binici. Y, and Erginel .N, 2016**, “The theoretical structure of Fuzzy Analytic Network Process (FANP) with Interval Type-2 Fuzzy Sets,” *IFACPapers OnLine*, vol. 49, no. 12, pp. 1318–1322, doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.706.

**Sharma.T, Kumar .A, Pant.S, Kotecha.K, 2023**, Wastewater Treatment and Multi-Criteria Decision-Making Methods: A Review. *IEEE Access*, v.11, p. 143704- 143720,2023.doi:10.1109/ACCESS.2023.3343150

**Shreir, L. L., Jarman, R. A., & Burstein, G. T. (1994)**. *Corrosion* (Vol. 1).

**Sid Salima, 2017**, Intensive biological processes are increasingly used in wastewater field due to their principles to operate on a reduced surface and

## Références Bibliographiques

---

produce good quality waters. Chimie. Thèse de doctorat. Université de Montpellier.

**Stirbanovic. Z, Stanujkic .D, Miljanovic. I, Milanovic. D, 2019**, Application of MCDM methods for flotation machine selection. *Miner. Eng.*, 137: 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.04.014>

**Smith, V. H. (2003)**. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: A global problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126-139.

**Spellman, F. R. (2016)**. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations.

**Sucu. S, Van schaik .M.O, Esmeli .R, Ouelhadj. D, Holloway. T, Williams. J.B, Cruddas .P, Martinson. D.B, Chen. W.S, Cappon. H.J, 2021**, A conceptual framework for a multi-criteria decision support tool to select technologies for resource recovery from urban wastewater. *Journal of Environmental Management* 300(113608)

**Sun. L-M, Meunier. F, Brodu. N, et Manero. M-H, 2003**, Adsorption: Aspects Théoriques, Techniques de l'ingénieur, France.

**Tina .S, Anuj. K, Sangeeta.P, Ketan.K,2023**, Wastewater Treatment and Multi-Criteria Decision-Making Methods: A Review. *IEEE Access* 1(1):1- 99.

**Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Metcalf & Eddy. (2003)**. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th Edition).

**Upadhyay .K, 2017**, Application of Analytical Hierarchy Process in Evaluation of Best Sewage Treatment Plant. *International Journal of Science and Research* 6(6):259-264.

**Van Laarhoven. P. J. M, et Pedrycz. W, 1983**, A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.

**Wang Chen, 2015**, Etude comparative des matériaux de garnissage dans les réacteurs de filtration pour l'assainissement non collectif. Thèse de doctorat. Sciences for Environnement. Université de Limoges.

**Wang. Y.M; and Chin. K.S, 2011**, Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Logarithmic Fuzzy Preference Programming Methodology. *International Journal of Approximate Reasoning*, v.52,n.4,p.541,553,2011.doi:10.1016/j.ijar.2010.12.004.

## Références Bibliographiques

---

**WEF (Water Environment Federation 2017).** Energy Conservation in Water and Wastewater Facilities: MOP 32 (2nd Edition).

**Willett. K., Sharda. R, 1991,** Using the analytic hierarchy process in water resources planning: Selection of flood control projects. *Socio-Economic Planning Sciences* 25(2):103–112. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(91\)90008-F](https://doi.org/10.1016/0038-0121(91)90008-F)

**Xavier. F.A. Ignasi. R.R. Gürkan .S. Krist .V.G,2008,** Multi-criteria evaluation of wastewater treatment plant control strategies under uncertainty. *Water Research* 42(17): 4485- 4497. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.05.029>

**Yaman. C, Martin. J.P et Korkut. E, 2006,** Effects of wastewater filtration on geotextile permeability. *Geosynthetics International*, 2006, 13, No. 3.

**Yang. J, 2018,** Study on Bridge Aging Based on Analytic Hierarchy Process. *Science Discovery* ,v.6, n.3,p.184. doi:10.11648/j.sd.20180603.17

### Sites web:

[1] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Boue\\_activ%C3%A9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Boue_activ%C3%A9) consulté le 08/09/2024 à 11 :55

[2] <https://fr.mongabay.com/2019/04/les-couts-caches-de-lhydroelectricite-il-fautreconsiderer-les-projets-de-barrages-dans-le-monde/>: consulté le 19/10/2024 à 8:52

## Annexe 1

### Résultats des analyses effectuées durant la période du 01/01/2024 au 27/02/2024

Date	Rendements épuratoires %							
	DCO	DBO <sub>5</sub>	MES	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CE	pH	T
02/01/2024	80	/	90	87,48	/	/	/	/
10/01/2024	89,10	92	90,16		89,86	/	30	/
22/01/2024	85,18	/	94,48	89	89,35	/	/	/
29/01/2024	86,45	/	89,46	87,84	/	92	/	/
14/02/2024	79,03	/	89,66	86,30	/	/	/	/
17/02/2024	83,01	/	91,67	95,33	/	/	/	/
18/02/2024	78,98	90	88,20	94,30	93	/	/	/
19/02/2024	87,20	/	88,32	91,11	/	/	/	/
20/02/2024	79,54	/	91,25	89,53	90,15	/	/	25
21/02/2024	85,64	/	92,80	92,64	/	/	/	/
22/02/2024	89,13	/	91,07	91,63	/	88	/	/
25/02/2024	87,09	/	94,48	93,27	/	/	/	/
26/02/2024	87,99	87	90,04	95,09	93,23	/	/	/
27/02/2024	Crue pluviale							



Vice Doyenné de la Post-Graduation,  
de la Recherche Scientifique et des Relations Extérieures

## PROCES VERBAL DE SOUTENANCE DE DOCTORAT (LMD)

Candidat(e)

Nom & Prénoms : ABDELMOUMENE Hanane. Date de naissance : 31-08-1996

Département: Hydraulique Filière : Hydraulique

Spécialité :Hydraulique Urbaine

Intitulé de la thèse : Estimation du degré de performance d'une station d'épuration par le processus d'analyse hiérarchique (AHP) : étude de cas.

Soutenance autorisée par la décision rectorale N°210 du 23 -01-2025

Date de Soutenance : 13-02-2025 à 09h00 Salle : Salle des soutenances

Jury de soutenance

(Nom & Prénoms, Grade, Etablissement de rattachement, Qualité, Emargement)

Pr. MEGNOUNIF Abdesselam	Prof	Université de Tlemcen	Président	
Dr. BOUMEDIENE Maamar	MCA	Université de Tlemcen	Directeur	
Dr. LALLAM Faiza	MCB	Université de Tlemcen	Co-directeur	
Pr. MAMMERRI Abdelhamid	Prof	Université de Béchar	Examineur	
Dr. BESSEDIK Madani	MCA	Université de Tlemcen	Examineur	

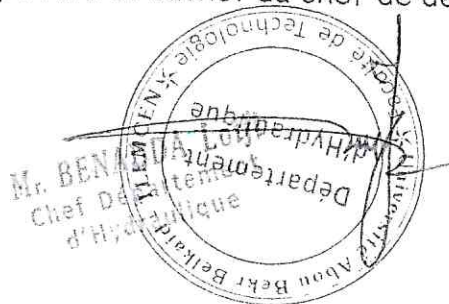
**NB** : le Pr. MAMMERRI Abdelhamid a assisté avec nous à distance.

Après délibération, le jury a déclaré le (la) candidat (e) admis au diplôme de DOCTORAT

Avec la mention : *Tres Honorable*

Tlemcen, le 13/02/2025

Signature et cachet du chef de département





## Annexe 6

### Formulaire de levée de réserves après soutenance

Année universitaire : .....2024\_2025.....

Etablissement universitaire : UNIVERSITE DE TLEMCCEN

Faculté : FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département : .....Hydraulique.....

#### Données d'identification du doctorant :

Nom et prénom du candidat : .....Abdelmoumene Hanane.....

Intitulé de la Thèse **Estimation du degré de performance d'une station d'épuration par le processus d'analyse hiérarchique (AHP): étude de cas**.....

#### DONNEES D'IDENTIFICATION DU PRESIDENT DE JURY :

Nom et prénom : .....MEGNOUNIF Abdesselam.....

Grade : .....Professeur.....

Lieu d'exercice : UNIVERSITE DE TLEMCCEN

**Vu le procès-verbal de soutenance de la thèse sus citée comportant les réserves suivantes :**

.....Aucune réserve n'a été demandée à la doctorante

.....

.....

.....

**Et après constatation des modifications et corrections suivantes :**

.....Aucune réserve n'a été demandée à la doctorante.....

.....

.....

.....

**Je déclare en ma qualité de président de jury de soutenance que la thèse citée remplit toutes les conditions exigées et permet au doctorant de déposer son dossier en vue de l'obtention de l'attestation de succès.**

Le 16 février 2025....

Président de jury de soutenance : (Nom/Prénom et signature)

MEGNOUNIF Abdesselam

*A Megnounif*