

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



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Par : RAHMANI Mohammed Réda

Sujet

**Application de l'analyse multicritères pour le calcul de degré de
dysfonctionnement d'une station d'épuration, cas de la STEP d'Ain El
Houtz-Tlemcen**

Soutenu publiquement, le 12/06/2024, devant le jury composé de :

Mme LALLAM Faiza	MCB	Université de Tlemcen	Présidente
Mme CHERRAF Amina	MAA	Université de Tlemcen	Examinatrice
M BOUMEDIENE Maamar	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme ABDELMOUMENE Hanane	Doctorante	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : **2023 /2024**



Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH tout puissant, de m'avoir accordé la force, la patience, le courage et la volonté pour la réalisation de ce travail

J'adresse mon plus grand respect et mes sincères remerciements à mes encadrateurs, Mr. Boumediene Maamar et Dr. Abdelmoumene Hanane, pour avoir encadré et dirigé ce travail. Un grand merci pour votre soutien, vos conseils, votre amabilité, vos orientations efficaces, votre disponibilité, votre implication, votre écoute attentive et vos encouragements tout au long de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude envers les membres du jury, Madame LALLAM Faiza et Madame CHERRAF Amina, pour leur disponibilité, leur écoute, leurs conseils et pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je remercie la direction de l'ONA et le personnel de la station d'épuration d'Ain Al-Houtz pour leur accueil, leur disponibilité et leur contribution par les données et les documents nécessaires, et de m'avoir offert une opportunité exceptionnelle d'exercer mon travail sur le terrain.

Un grand merci à toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents que Dieu les garde.

Je vous remercie pour votre aide, votre soutien moral, vos sacrifices, vos conseils, et vos encouragements tout au long de ma vie.

A mes adorables ma sœur et mon frère.

A tous les membres de ma famille.

A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur.

Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin,

Résumé

Les dysfonctionnements biologiques sont très répandus et complexes, ce qui restreint la fiabilité et les performances des stations d'épuration, ce qui rend difficile de garantir leur bon fonctionnement.

Dans notre mémoire, nous abordons la mise en place de la méthode d'analyse hiérarchique des processus, AHP de l'analyse multicritère appliquée à la station d'épuration des eaux usées d'Ain El Houtz.

Dans un premier temps, nous avons exploité une série d'analyses physicochimiques (effectuées du 14 au 27 février 2024) des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Par la suite, nous avons présenté la technique d'analyse hiérarchique du processus. Grâce à cette méthode, nous avons pu repérer un niveau de problèmes dans le traitement des eaux usées de la STEP et évaluer l'impact de chaque critère sur l'efficacité ou non de la station d'épuration.

Dans notre étude, il est démontré que la STEP d'Ain el Houtz fonctionne correctement, mais elle fait face à certains problèmes liés à l'absence d'un équipement pour le débitmètre avec une charge faible, ainsi qu'à un entretien peu fréquent.

Mots clés : Eaux usées, Le processus d'analyse hiérarchique AHP, STEP d'Ain El Houtz, degré de dysfonctionnement, analyse physico-chimique.

Abstract

The reliability and performance of wastewater treatment plants are limited by the widespread and complex nature of biological malfunctions, making it difficult to ensure their proper operation.

The focus of our brief is on implementing the hierarchical process analysis method, a multi-criteria analysis AHP, for the wastewater treatment plant in Ain El Houtz.

First, we exploited a series of physicochemical analyses (carried out from 14 to 27 February 2024) of wastewater at the entrance and exit of the Station.

Afterwards, we presented the hierarchical analysis technique for the process. We were able to identify problems in the wastewater treatment of the Plant by using this method and assess the impact of each criterion on the efficiency or not of the treatment plant.

In our study, it was shown that the Ain El Houtz Wastewater Treatment Plant is functioning properly, but it is facing some problems related to the lack of equipment for the flow meter with a low load as well as infrequent maintenance.

Keywords: Wastewater, The hierarchical analysis process AHP, STEP of Ain El Houtz, degree of malfunction, physic-chemical analysis.

ملخص

إن موثوقية وأداء محطات معالجة مياه الصرف الصحي محدودة بسبب الطبيعة الواسعة والمعقدة للأعطال البيولوجية، مما يجعل من الصعب ضمان تشغيلها بشكل صحيح. يركز موجدنا على تنفيذ طريقة تحليل العملية الهرمية على محطة معالجة مياه الصرف الصحي في عين الحوت. أولاً، استغلنا سلسلة من التحليلات الفيزيائية الكيميائية (التي أجريت من الفترة من 14 إلى 27 فبراير 2024) لمياه الصرف الصحي عند مدخل و مخرج المحطة. بعد ذلك، قدمنا تقنية التحليل الهرمي للعملية. تمكنا من تحديد المشكلات في معالجة مياه الصرف الصحي للمحطة باستخدام هذه الطريقة وتقييم تأثير كل معيار على كفاءة أو عدم كفاءة محطة المعالجة. في دراستنا، تبين أن محطة معالجة مياه الصرف الصحي في عين الحوت تعمل بشكل صحيح، لكنها تواجه بعض المشاكل المتعلقة بنقص معدات عداد التدفق بحمل منخفض بالإضافة إلى الصيانة غير المتكررة.

الكلمات الرئيسية: مياه الصرف الصحي، عملية التحليل الهرمي، محطة معالجة مياه الصرف الصحي في عين الحوت، درجة العطل، التحليل الفيزيائي الكيميائي.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1. Introduction 3

I.2. Différents types des eaux usées 3

 I.2.1. Origine pluviale..... 3

 I.2.2. Origine industrielle..... 3

 I.2.3. Origine domestique 3

 I.2.4. Origine agricole..... 4

I.3. La pollution des eaux usées 4

 I.3.1. La pollution microbiologique 4

 I.3.2. Pollution chimique 4

 I.3.3. La pollution physique 4

I.4. Les paramètres de pollution 5

 I.4.1. Paramètres organoleptiques 5

 I.4.2. Paramètres chimiques 5

 I.4.3. Paramètres physiques 6

I.5. Norme de rejet 7

 I.5.1. Normes internationales 7

 I.5.2. Normes Algériennes 7

I.6. Impact des eaux usées 8

I.7. Conclusion..... 9

Chapitre II: Procédés d'épuration des eaux usées

II.1. Introduction 10

II.2. Définition de l'épuration 10

II.3. Objectifs des stations d'épurations	10
II.4. Les étapes de l'épuration	10
II.4.1. Prétraitement.....	10
II.4.2. Le traitement primaire (décantation primaire).....	12
II.4.3. Le traitement biologique	12
II.4.4. Décantation secondaire	17
II.4.5. Traitement tertiaire.....	18
II.4.6. Le traitement des boues.....	18
II.5. Conclusion	19

Chapitre III: Méthodes d'analyses Multicritères

III.1. Introduction.....	20
III.2. Définition	20
III.3. Classification des méthodes	20
III.3.1. Méthodes d'agrégation.....	20
III.3.2. Méthodes interactive.....	20
III.3.3. Méthodes de sur-classement.....	21
III.4. Les méthodes d'aide à la décision multicritères MCDM.....	21
III.4.1. Méthode AHP.....	21
III.4.2. La méthode ELECTRE I (Roy B. 1968).....	24
III.4.3. Best and Worst Méthode (BWM) (méthode de meilleure et pire)	26
III.4.4. Méthode DEMATAL.....	27
III.4.5. Méthode TOPSIS.....	28
III.4.6. SAW: Simple Additive Weighting Méthode	29
III.5. Conclusion	30

Chapitre IV: Présentation de la STEP d'Ain El Houtz et performances de traitement

IV.1. Introduction.....	31
IV.2. Situation géographique	31
IV.3. Principe de fonctionnement de la STEP.....	31
IV.3.1. Données de base	32
IV.4. Description des installations	32
IV.4.1. Filières eaux usées	32
IV.4.2. Filières traitement des boues.....	38
IV.5. Etudes des performances de la station.....	39

IV.5.1. Le potentiel hydrique (pH).....	39
IV.5.2. Demande chimique en oxygène (DCO).....	40
IV.5.3. Demande biologique en oxygène (DBO5).....	41
IV.5.4. Matières en suspension (MES).....	41
IV.5.5. La Température	42
IV.5.6. La Conductivité	43
IV.5.7. La Turbidité.....	43
IV.5.8. O2 dissous	44
IV.5.9. Azote ammoniacal NH_4^+	45
IV.5.10. Nitrate	45
IV.5.11. Nitrite	46
IV.5.12. Ortho phosphates ($PO_4 - 3$).....	47
IV.6. Conclusion	47

Chapitre V: Application de l'analyse Multicritère

V.1. Introduction.....	48
V.2. Méthodologie	48
V.3. La structure hiérarchique	49
V.3.1. Les indications des critères	50
V.4. Les résultats des comparaisons binaires	50
V.5. Système de notation des facteurs de la STEP	51
V.6. Classification du degré de dysfonctionnement	53
V.7. Le calcul du degré du dysfonctionnement	53
V.7.1. La simulation du modèle.....	53
V.8. Conclusion	55
Conclusion générale.....	56

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure II. 1: Schéma d'un dégrilleur.....	11
Figure II. 2: Schéma d'un dessableur.....	11
Figure II. 3: Déshuileur-dégraisseur.....	12
Figure II. 4: Lagunage aéré.....	13
Figure II. 5: Lagunage naturel.....	13
Figure II. 6: Disques biologiques.....	14
Figure II. 7: Lit bactérien.....	14
Figure II. 8: Schéma général d'une station d'épuration par boues activées.....	15
Figure II. 9: Aération de surface par turbine.....	17
Figure II. 10: Décantation secondaire.....	17
Figure II. 11: Schéma d'un épaisseur.....	18
Figure III. 1: La structure hiérarchique.....	22
Figure IV. 1: Vue de la Station d'épuration d'Ain El Houtz (Tlemcen).....	31
Figure IV. 2: Déversoir d'orage.....	32
Figure IV. 3: Grille grossière manuelle.....	33
Figure IV.4 : Grille mécanisée.....	33
Figure IV. 5: Grille manuelle.....	33
Figure IV. 6: Dessableur-déshuileur.....	34
Figure IV. 7: Bacs à sable.....	34
Figure IV. 8: Bassin d'aération.....	35
Figure IV. 9: Bassin de nitrification dénitrification.....	36
Figure IV. 10: Tour de répartition.....	36
Figure IV. 11: Décanteur secondaire.....	37
Figure IV. 12: Bassin de chloration.....	37
Figure IV. 13: Vis d'Archimède.....	38
Figure IV. 14: épaisseur.....	38
Figure IV. 15: Lit de séchage.....	39
Figure IV. 16: Variation journalière du pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).....	40
Figure IV. 17: Variation journalière du DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).....	40
Figure IV. 18: Variation journalière du DBO5 à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).....	41
Figure IV. 19: Variation journalière du MES à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).....	42
Figure IV. 20: Variation journalière de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).....	42
Figure IV. 21: Variation journalière de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).....	43
Figure IV. 22: Variation journalière de la turbidité à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).....	44

Figure IV. 23: Variation journalière de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).	44
Figure IV. 24: Variation journalière de l'azote ammoniacal à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période du 14 au 27 février 2024).	45
Figure IV. 25: Variation journalière de nitrate à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période du 14 au 27 février 2024).	46
Figure IV. 26: Variation journalière de nitrite à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période du 14 au 27 février 2024).	46
Figure IV. 27: Variation journalière de l'ortho phosphates (PO ₄ -3) à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).	47
Figure V. 1: L'algorithme de modèle numérique	48
Figure V. 2: La structure hiérarchique de la STEP.....	49

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Les normes de rejet des eaux usées internationales	7
Tableau I. 2: Les normes de rejet des eaux usées.....	8
Tableau III. 1: Echelle de comparaison binaire de Saaty.....	22
Tableau III. 2: Matrice des comparaisons binaires	22
Tableau III. 3: La somme des colonnes de la matrice de jugement.....	23
Tableau III. 4: La matrice normée	23
Tableau III. 5: La détermination du DJ.....	24
Tableau III. 6: L'indice de cohérence aléatoire RI	24
Tableau III. 7: Tableau de performance	25
Tableau III. 8: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans BWM.....	26
Tableau III. 9: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paire dans DEMATAL	27
Tableau IV. 1 : Donnée de base de la STEP d'Ain El Houtz.	32
Tableau V. 1: Les indications des critères et sous critères	50
Tableau V. 2: Comparaison binaire des critères, poids et indice de cohérence CR.....	50
Tableau V. 3: Système de notation des facteurs de la STEP	52
Tableau V. 4: Classification de l'état fonctionnel de la STEP	53
Tableau V. 5: Résultats de simulation du modèle élaborée pour la STEP	54
Tableau V. 6: Résultats de la simulation du 1 ^{er} cas.....	54
Tableau V. 7: Résultats de simulation du deuxième cas.....	55

Liste des Abréviations

AMC : Analyse Multicritère

CE : Conductivité électrique

Cm: La charge massique

COT : Carbone organique total

Cv : La charge volumique

DBO5 : Demande biologique en oxygène durant 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

GDF : Gestion Des Fonctions

MCDM : Multiple-Criteria Décision-Making

MES : Matière en suspension

MMS : matière minérales sèche

MO : Matière organique

MVS : Matières volatiles en suspension

NH₄⁺ : L'azote ammoniacal

NO₃⁻: Nitrates

NO₂⁻: Nitrites

PH : Potentiel d'hydrogène

PO₄³⁻ : Ortho phosphates

STEM : Stratification Et Maximisation

STEP : Station d'épuration

T : Température

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONA : Office National de l'Assainissement

Introduction

générale

Introduction générale

La vie est étroitement liée à l'eau, sans laquelle nous ne pourrions pas survivre. C'est pourtant le lot de nombreuses personnes dans le monde. Il est urgent et difficile pour de nombreux pays en développement de bénéficier de l'eau potable et des infrastructures d'assainissement.

Selon un rapport publié en mars 2010 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), environ 39 % de la population mondiale, soit plus de 2,6 milliards de personnes, n'ont pas accès à des infrastructures d'assainissement améliorées [1].

Dans de nombreuses régions rurales, la pénurie d'eau potable et le manque d'infrastructures d'assainissement ont entraîné des problèmes de santé pouvant causer la mort, tout comme la dysenterie, le choléra et d'autres maladies diarrhéiques, qui causent en moyenne 1,6 million de décès par an. Près de 90 % de ces décès sont attribuables aux enfants de moins de cinq ans.

En ce moment, notre pays fait partie des pays les plus en déficit en eau. Cela revient d'une part à son appartenance à la quasi-totalité de son territoire à la zone géographiquement désertique. D'un autre côté, la rareté de l'eau est principalement causée par la diminution régulière du volume des précipitations au cours des dernières décennies [2].

Dans le but de favoriser le développement économique, social et culturel de notre pays, et pour mieux appréhender les divers aspects du manque d'eau, et surtout dans le domaine de l'agriculture, qui absorbe environ 70 % des eaux utilisées chaque année, l'Algérie a adopté un programme riche dans le cadre du traitement des eaux usées.

Le ministre a affirmé que l'Algérie disposait de 200 stations d'épuration d'une capacité de production de 500 millions m³/an. Les capacités de production de ces stations devraient atteindre 1 milliard m³/an à l'horizon 2032, ajoute le ministre qui précise que son secteur s'emploie à réutiliser les eaux épurées pour l'irrigation de 24.000 hectares de terres agricoles d'ici à 2024 et atteindre, à l'horizon 2030, quelque 400.000 hectares [3].

Ce travail a pour but d'utiliser l'analyse multicritère (AMC) pour évaluer le degré de dysfonctionnement de la station d'épuration d'Ain El Houtz, de la ville de Tlemcen, à l'ouest de l'Algérie.

Pour réaliser ce travail, nous avons organisé notre mémoire en cinq chapitres :

- ✓ Le premier chapitre examine les généralités sur les eaux usées. Il vise à fournir une compréhension des origines et de la pollution des eaux usées, ainsi que de leurs caractéristiques.
- ✓ Au cours du deuxième chapitre, nous exposons tous les processus utilisés pour le traitement des eaux usées.
- ✓ Dans le troisième chapitre, nous discutons de certaines méthodes d'analyse multicritère.

Introduction générale

- ✓ Au quatrième chapitre, l'accent est mis sur la description et le fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées d'Ain El Houtz.
- ✓ Dans le cinquième chapitre, nous exposons comment utiliser les méthodes d'analyse multicritère pour évaluer le degré de dysfonctionnement de cette station.

En fin de compte, nous finirons ce travail en résumant les principaux résultats obtenus dans une conclusion générale.

Chapitre I :
Généralité sur
les eaux usées

I.1. Introduction :

La qualité des eaux usées est influencée par de nombreux facteurs, tels que le mode de vie écologique, la situation géographique, la disponibilité de l'eau, et [4].

Le milieu naturel est perturbé par l'évacuation directe des eaux usées, ce qui transforme le milieu accepteur en réseau d'égouts. Toute vie peut être menacée par cette pollution, jusqu'à son extinction.

Afin d'atteindre cet objectif, il est primordial d'éliminer autant que possible les déchets des eaux usées avant de les rejeter dans l'environnement, dans le but de limiter au maximum l'impact de ces éléments sur la qualité de l'eau en tant que milieu naturel aquatique [5].

I.2. Différents types des eaux usées :

On distingue quatre catégories d'eaux usées en fonction de l'origine des polluants :

I.2.1. Origine pluviale :

Les eaux de ruissellement, appelées eaux pluviales, sont formées par la pluie. Elles peuvent être particulièrement touchées par la pollution, surtout en début de pluie, en raison de deux processus : le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées.

Les précipitations sont à l'origine du transport des déchets solides ou liquides vers le réseau d'assainissement.

L'écoulement lent des eaux usées dans les collecteurs des réseaux en temps sec favorise le dépôt de matières décan tables. Le flux d'eau plus important lors des précipitations permet la remise en suspension de ces dépôts [6].

I.2.2. Origine industrielle :

Les eaux usées sont générées par les activités industrielles, commerciales et artisanales. Pour assurer la protection du milieu récepteur, il est essentiel de procéder à un traitement adapté des eaux usées industrielles avant de les rejeter dans les réseaux publics [7].

La composition des eaux résiduelles d'origine industrielle est habituellement plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Qu'elles soient polluées par des substances organiques ou minérales, qu'elles soient putrescibles ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques toxiques propres en raison des produits chimiques transportés [8].

I.2.3. Origine domestique :

Les eaux utilisées pour les usages domestiques, comme les eaux de bain et de lessive, et les eaux-vannes, sont appelées eaux usées ménagères.

On retrouve des déchets dans ces eaux qui ont été polluées par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont présentes soit sous forme dissoute, soit sous forme de suspension [9].

I.2.4. Origine agricole :

L'agriculture est l'une des principales sources de pollution des eaux, notamment en raison de l'utilisation d'engrais et de pesticides.

Les eaux agricoles, qui sont obtenues à partir de terres cultivées et qui sont chargées d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique ou en grande quantité. Il se peut qu'ils ne soient pas réellement retenus par le sol et absorbés par les plantes, la migration des nutriments azotés ou phosphatés vers les nappes les plus superficielles et les cours d'eau est à l'origine de leur enrichissement [10].

I.3. La pollution des eaux usées :

On peut définir la pollution de l'eau comme la modification de ses propriétés chimiques et biologiques et physiques, par des fuites, des évacuations, des dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières non désirées, que ce soient les micro-organismes, les produits toxiques, les déchets industriels [11].

I.3.1. La pollution microbiologique :

La présence de microorganismes pathogènes, tels que des virus, des bactéries, des parasites et des champignons, dans l'eau peuvent représenter un risque pour la santé humaine.

De ce fait, on limite les usages que l'on peut faire de l'eau dans l'industrie et à des fins domestiques [12].

I.3.2. Pollution chimique :

Elle se rapporte aux nitrates et aux phosphates qui se trouvent dans les pesticides, les médicaments vétérinaires et humains, les articles ménagers tels que les produits ménagers, les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb, arsenic...), la peinture et les acides sont des substances nocives [13].

I.3.3. La pollution physique :

Ce phénomène de pollution est principalement causé par la présence d'éléments physique (c'est-à-dire tous les solides qui sont transportés par l'eau) Son origine est principalement domestique, mais elle est également essentiellement industrielle, on peut la diviser en deux catégories radioactivité et thermique [14].

I. 3. 3. 1. Pollution radioactive :

Cette forme de pollution reste limitée. Lors des manipulations de produits radioactifs, il est impératif de prendre des mesures de précaution rigoureuses, notamment en ce qui concerne l'extraction et le traitement du minerai, le fonctionnement des réacteurs et leur maintenance, la gestion du transport et du traitement des combustibles usés, ainsi que du conditionnement et du traitement des déchets [15].

I. 3. 3. 2. Pollution thermique :

L'accroissement excessif de la température de l'eau est particulièrement dommageable aux centrales énergétiques, en raison des rejets des eaux des circuits de refroidissement [16].

I.4. Les paramètres de pollution :

En règle générale, la pollution est un résultat de l'activité humaine qui peut affecter l'atmosphère, le sol ou les eaux, elle peut avoir un impact sur la santé humaine, l'eau destinée à la baignade, la qualité de l'eau utilisée, la production agricole, les espèces animales ou végétales, la beauté des paysages, etc.... [17].

I.4.1. Paramètres organoleptiques :**I. 4. 1. 1. La couleur :**

La plupart du temps, les eaux résiduaires industrielles sont de couleur grise, si des matières organiques dissoutes, des MES, du fer ferrique précipité en forme d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et des colloïdes sont présentes, cela signifie qu'il y a une pollution par des substances organiques [18].

I. 4. 1. 2. L'odeur :

L'odeur caractéristique des eaux usées est un signe distinctif, la présence des matières organiques en décomposition est à l'origine de toute odeur, ce qui en fait une pollution.

I.4.2. Paramètres chimiques :**I. 4. 2. 1. Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours (DBO5) :**

Représenter la quantité d'oxygène consommée par les bactéries contenues dans l'eau usées pendant une durée pour faire l'oxydation des matières organiques.

I. 4. 2. 2. La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène permet de mesurer la quantité d' O_2 requise pour oxyder chimiquement les matières présentes dans l'effluent.

I. 4. 2. 3. Oxygène dissous :

Il est rare que la teneur en oxygène dans l'eau dépasse 10 mg/l, la quantité de métaux lourds dans l'eau usée domestique peut varier de 2 à 8 mg/l [19].

I. 4. 2. 4. Le carbone organique total (COT) :

On utilise le carbone organique total pour mesurer la quantité de composés organiques présents dans un échantillon d'eau, dans l'eau, les composés organiques contenant du carbone peuvent être dissous, ou bien ils peuvent être présents sous forme non dissoute, en suspension ou liquide.

On peut trouver cette matière organique dans l'eau de manière naturelle ou par des moyens artificiels, parmi les possibilités, on peut citer les résidus de plantes ou d'animaux, les substances synthétiques qui contiennent du carbone et d'autres éléments formant des composés organiques [20].

I. 4. 2. 5. L'azote:

On retrouve dans ces matières des composants organiques et minéraux qui renferment des atomes d'azote, sous forme réduite, l'azote se présente sous deux formes : sous forme organique (N org) et sous forme d'ions ammonium (N NH_4).

Au cours du traitement biologique, il est possible de voir des formes oxydées de l'azote (NO_3^- et NO_2^-) [6].

I. 4. 2. 6. Le phosphore total :

Les eaux résiduaires contiennent du phosphore sous forme de:

- ✓ Phosphate d'ortho, soluble en PO_4H_2 .
- ✓ Polyphosphate a la capacité de s'hydrolyser en orthophosphate.
- ✓ phosphore non dissous [19].

I. 4. 2. 7. Le potentiel d'Hydrogène (PH) :

Le ph est un facteur clé dans le processus d'épuration d'un effluent et le développement des bactéries, en règle générale, l'activité biologique se trouve entre 6.5 et 8 unités de ph [21].

I. 4. 2. 8. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité de l'eau permet d'évaluer avec précision sa concentration en sels dissous (salinité de l'eau), elle est mesurée en $\mu Sm/cm$, l'évaluation de la minéralisation globale de l'eau peut être réalisée en utilisant la mesure de la conductivité [22].

I.4.3. Paramètres physiques :**I. 4. 3. 1. La turbidité :**

On parle de turbidité lorsque la transparence d'un liquide est réduite en raison de la présence de matières non dissoutes, telles que des particules colloïdales ou en suspension, la concentration en MES de l'échantillon et les caractéristiques optiques et géométriques des particules influencent cette variable [23].

I. 4. 3. 2. Les matières en suspension (MES) :

Les particules en suspension dans l'eau, connues sous le nom de matières en suspension (MES), comprennent des particules minérales et organiques de petite taille et de faible densité qui se déplacent avec la vitesse de l'écoulement de l'eau sans aucune interaction avec le fonds.

En raison de leur présence en grande quantité, ils contribuent à la dégradation du milieu aquatique en augmentant la turbidité de l'eau en dérangeant la vie aquatique et en propageant de multiples substances nocives dans le système hydrographique [24].

I. 4. 3. 3. Les matières volatiles en suspension (MVS) :

Les MVS, qui représentent la fraction organique des MES, sont mesurées par calcination à une température de $650^\circ C$ d'un échantillon dont la teneur en MES est déjà connue, ils représentent 70% des MES.

I. 4. 3. 4. Les matières minérales sèches (MMS) :

Elles expriment la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et sont liées à la concentration de sel et de silice.

I. 4. 3. 5. La température

Son rôle est crucial dans la nitrification et la dénitrification biologique, lorsque les températures se situent entre 28 et 32°C, la nitrification est optimale, elle est considérablement diminuée pour des températures comprises entre 12 et 15°C et elle cesse de fonctionner pour des températures inférieures à 5°C [25].

I.5. Norme de rejet :

Les eaux usées présentent des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques, grâce à ces méthodes, il est possible de déterminer leur éventuelle origine et de mesurer l'importance de leur charge polluante.

Avant d'être rejetées dans le milieu naturel, il est essentiel qu'elles suivent rigoureusement les normes établies afin de préserver les milieux récepteurs de la pollution.

I.5.1. Normes internationales :

Les normes internationales établies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour les eaux usées.

Tableau I. 1: Les normes de rejet des eaux usées internationales [2].

PARAMETRE	UNITE	NORMES
PH	-	6,5 - 8,5
Température	°C	<30
DBO5	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH_4^+	mg/l	<0,5
NO_2^-	mg/l	1
NO_3^-	mg/l	<1
P_2O_5	mg/l	<2
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Indolore

I.5.2. Normes Algériennes :

Le tableau regroupe les valeurs-limites maximales de rejet d'effluents en conformité avec les normes Algériennes :

Tableau I. 2: Les normes de rejet des eaux usées [2].

PARAMETRE	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
MES	mg/l	35	40
DCO	mg/l	120	130
DBO5	mg/l	35	40
Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
Phosphore total	mg/l	10	15
Aluminium	mg/l	3	5
Substances toxiques bio cumulables	mg/l	0,005	0,01
Cyanures	mg/l	0,1	0,15
Fluor et composés	mg/l	15	20
Indice de phénols	mg/l	0,3	0,5
Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
Huiles et graisses	mg/l	20	30
Cadmium	mg/l	0,2	0,25
Cuivre total	mg/l	0,5	1
Mercure total	mg/l	0,01	0,05
Plomb total	mg/l	0,5	0,75
Chrome total	mg/l	0,5	0,75
Etain total	mg/l	2	2,5
Manganèse	mg/l	1	1,5
Nickel total	mg/l	0,5	0,75
Zinc total	mg/l	3	5
Fer	mg/l	3	5
Composés organiques chlorés	mg/l	5	7

I.6. Impact des eaux usées :

Les eaux usées peuvent causer des dommages considérables à l'environnement les eaux usées renferment des polluants tels que des bactéries, des métaux lourds, des nutriments et d'autres toxines pouvant perturber les cours d'eau, provoquer des contaminations dans le sol et les eaux souterraines et porter préjudice à la faune.

En cas de déversement sans traitement dans un plan d'eau de surface, cela peut entraîner une diminution des niveaux d'oxygène dans l'eau, ce qui peut causer la mort de poissons ou la multiplication des algues.

La présence des eaux usées peut favoriser la prolifération de vecteurs de maladies telle que les moustiques, les mouches et les rats, ces vecteurs peuvent ensuite transmettre des maladies telles que le paludisme, le chikungunya, la dengue et la leptospirose.

I.7. Conclusion :

Les eaux usées représentent un défi majeur pour la santé publique et l'environnement. Il est possible que ces éléments renferment une multitude de contaminants, tels que des virus, des bactéries, des produits chimiques et des métaux lourds. Si elles ne sont pas prises en charge de manière appropriée, ces substances polluantes peuvent affecter les cours d'eau, les lacs et les océans, en causant des dommages à la vie aquatique et en altérant la qualité de l'eau pour la consommation humaine.

Il est primordial de traiter les eaux usées pour préserver la santé publique et l'environnement, les stations d'épuration mettent en œuvre une variété de procédés pour éliminer les contaminants présents dans les eaux usées, assurant ainsi leur innocuité vis-à-vis de l'environnement et leur réutilisation.

Chapitre II :
Procédés d'épuration
des eaux usées

II.1. Introduction:

Il est essentiel de ne pas laisser les eaux usées, qu'elles soient industrielles ou ménagères, s'écouler directement dans la nature, car elles peuvent causer d'importants problèmes environnementaux et de santé publique. Afin de remédier à cette pollution, il est essentiel que l'eau usée subisse une purification avant d'être rejetée ou réutilisée.

Dans ce chapitre, on aborde les différents procédés d'épuration des eaux usées, du prétraitement à la désinfection. Il décrit aussi les technologies les plus récentes et les plus performantes pour l'épuration.

II.2. Définition de l'épuration :

Cette installation vise à purifier les eaux usées domestiques ou industrielles, ainsi que les eaux pluviales, avant de les rejeter dans l'environnement naturel. L'objectif du traitement est de séparer l'eau des substances nocives pour le milieu récepteur [26].

II.3. Objectifs des stations d'épurations :

- ✓ Préservation de l'environnement contre toute forme de pollution causée par l'eau.
- ✓ Assurer la préservation des plages et des nappes phréatiques contre la pollution.
- ✓ Création de nouvelles sources d'eau non conventionnelles pour une réutilisation dans l'agriculture.
- ✓ Évitez aux agriculteurs d'utiliser les eaux usées pour arroser les terres agricoles.
- ✓ Économie significative de l'eau.
- ✓ Préserver la santé publique en réduisant le risque des maladies transmissibles par l'eau [27].

II.4. Les étapes de l'épuration :

Il est possible de traiter les eaux usées polluées en utilisant différents procédés, en fonction du niveau de qualité requis par les milieux récepteurs et les utilisateurs de l'eau, les degrés d'épuration et les coûts peuvent varier.

Il existe plusieurs étapes dans le processus d'épuration :

II.4.1. Prétraitement :

L'objectif principal de cette étape consiste à éliminer les éléments solides ou les particules les plus fines, il est constitué de 3 parties principales :

II. 4. 1. 1. Dégrillage :

Le dégrillage implique la séparation des matières les plus volumineuses transportées par l'eau brute, cette étape est cruciale car elle permet de soumettre les eaux usées à d'autres traitements sans aucun problème. Il est important de prendre en compte l'écartement entre les barreaux de la grille pour évaluer l'efficacité du dégrillage ; on distingue :

- ✓ pré dégrillage pour écartement 30 à 100mm.
- ✓ Dégrillage moyen pour écartement 10 à 25 mm.
- ✓ Dégrillage fin pour écartement 3 à 10 mm [28].

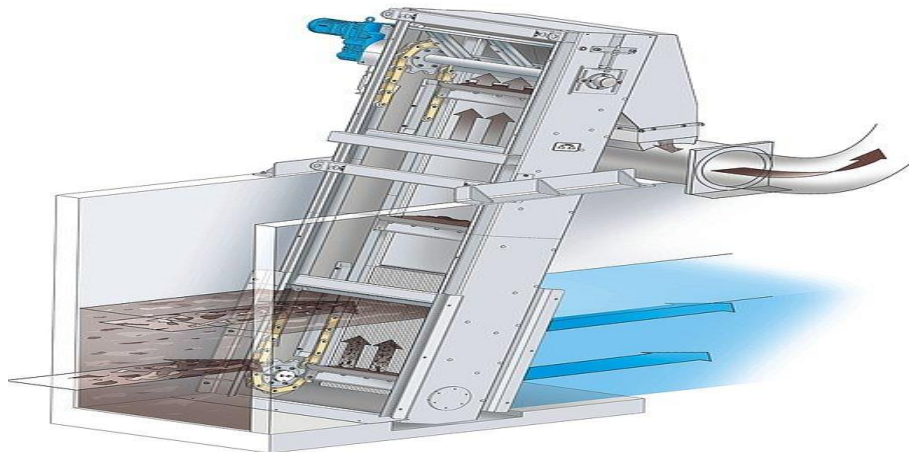


Figure II. 1: Schéma d'un dégrilleur [29].

II. 4. 1. 2. Dessablage :

Cette méthode permet d'éliminer les sables présents dans l'effluent brut, ce qui est crucial pour protéger les conduits et les pompes, pour combattre l'érosion et le colmatage, d'un côté.

En raison de la vitesse réduite de l'eau dans le dessableur, les sables se déposent au fond du bassin. Ils sont ensuite essorés, puis nettoyés avant d'être envoyés en décharge ou réutilisés [30].

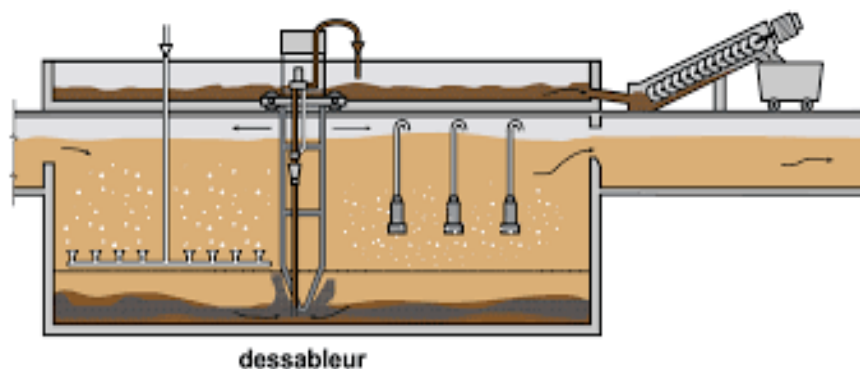


Figure II. 2: Schéma d'un dessableur [29].

II. 4. 1. 3. Déshuilage et dégraissage :

L'objectif de cette opération est de diminuer les graisses et les huiles non émulsionnées en les faisant sédimenter physiquement en surface.

On procède à la flottation en introduisant de l'air comprimé, ce qui fait remonter en surface de l'eau les particules huilées émulsionnées et favorise leur agglomération, les graisses flottent sont rassemblées dans une zone de tropicalisation pour être raclées [31].



Figure II. 3: Déshuileur-dégraisseur [32].

II.4.2. Le traitement primaire (décantation primaire) :

Le but de la décantation primaire est d'améliorer la qualité des prétraitements en capturant des MES naturellement décantables et en éliminant rapidement les particules flottantes, y compris les huiles et les graisses. Pendant cette étape, les particules ayant une densité plus élevée que celle de l'eau auront tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur, les particules seront éliminées de manière régulière du fond du bassin [2].

II.4.3. Le traitement biologique :

Le traitement biologique des eaux usées consiste à dégrader les polluants en utilisant des micro-organismes.

Ce traitement biologique vise à éliminer la pollution carbonée, azotée et phosphorée, en plaçant les microorganismes dans des conditions optimales, la voie biologique améliore leur efficacité en les rendant oxydeurs et auto-épurgateurs, pour détruire tout polluant organique [33]. Il existe deux principales techniques d'épuration biologique qui sont appliquées :

II. 4. 3. 1. Procédés biologiques extensifs :

Les procédés biologiques extensifs consistent en l'utilisation de micro-organismes pour éliminer les polluants des eaux usées, ils sont connus sous le nom d'« extensifs » car ils ont besoin de grandes surfaces et de longues périodes de séjour pour être opérationnels.

Les procédés biologiques extensifs sont habituellement moins onéreux pour la construction et l'exploitation que les procédés intensifs. Ils sont aussi plus durables et nécessitent moins d'ingrédients chimiques.

II. 4. 3. 1. 1. Le lagunage (culture libre) :

La technique du lagunage consiste à déverser les eaux usées dans plusieurs bassins successifs de faible profondeur pour une épuration extensive, et cela dépend de l'équilibre entre les bactéries aérobies présentes dans les cultures libres et les algues. L'oxygène nécessaire à la respiration des bactéries est produit uniquement par les processus photosynthétiques des végétaux lorsqu'ils sont exposés à des rayonnements lumineux [34]. Il y a deux types de lagunage différents:

✓ **Lagunage aéré :**

Il s'agit d'un ou plusieurs bassins qui ont une profondeur comprise entre 2 et 4 mètres, dans lesquels on reçoit de l'oxygène d'un système artificiel, d'un aérateur de surface ou d'un diffuseur d'air. Cette méthode de purification permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote, et contribue à une réduction considérable des germes. Néanmoins, il présente l'inconvénient d'utiliser des superficies importantes et de ne pas générer de rendements constants tout au long de l'année [34].



Figure II. 4: Lagunage aéré [17].

✓ **Lagunage naturel :**

Dans cette situation, l'oxygène provient de l'atmosphère. Plusieurs bassins disposés en série assurent l'épuration à long terme. C'est grâce à cela que les algues produisent l'oxygène indispensable au développement et au maintien des bactéries aérobies, elles sont responsables de la dégradation des M.O.

Les algues peuvent se multiplier en raison du gaz carbonique formé par la bactérie et des sels minéraux présents dans les eaux usées [11].

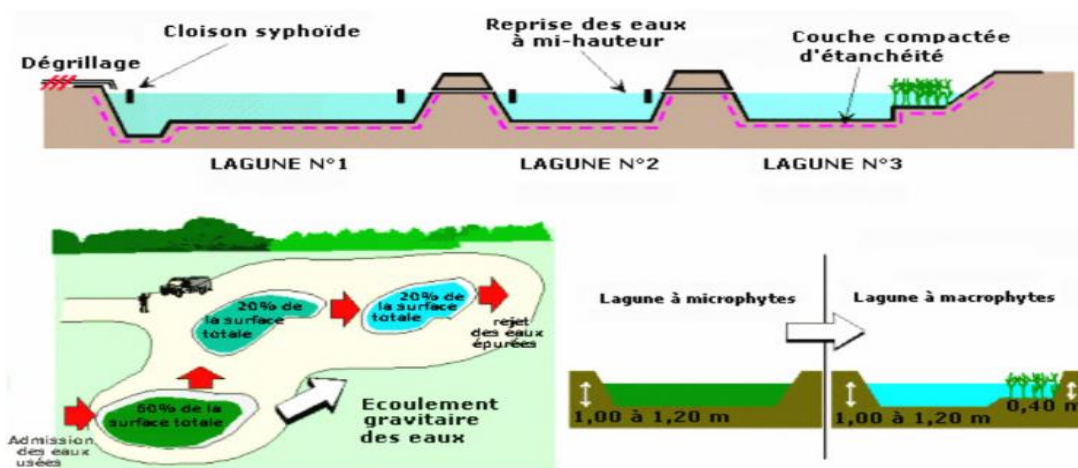


Figure II. 5: Lagunage naturel [18].

II. 4. 3. 2. Procédés biologiques intensifs :

II. 4. 3. 2. 1. Disques biologiques (cultures fixées) :

Les disques biologiques sont des disques enfilés parallèlement, avec des espaces réguliers, sur un axe horizontal, et qui tournent à faible vitesse, les microorganismes se multiplient et forment un film biologique purificateur à la surface des disques. La rotation des disques semi-immergés favorise la libération d'oxygène de la biomasse fixée. Ce procédé est plus adapté à un système de séparation qu'à un système unitaire [36].

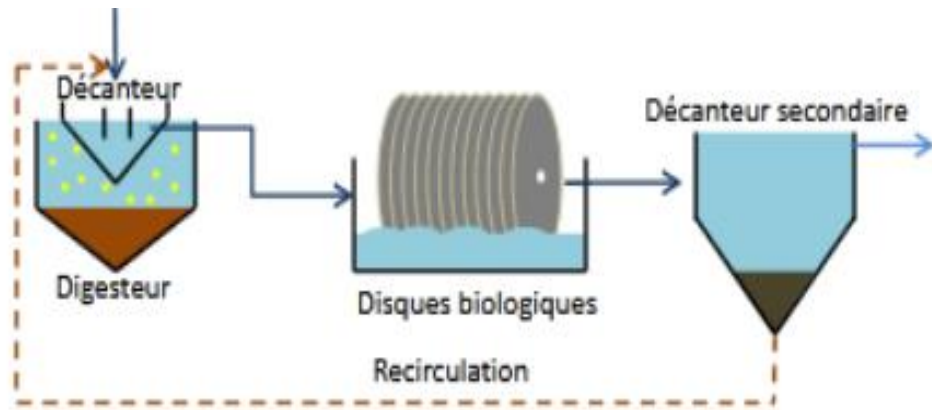


Figure II. 6: Disques biologiques [34].

II. 4. 3. 2. 2. Lits bactériens (cultures fixées) :

Ce procédé repose sur la circulation des eaux usées, avant de les décarter sur une masse de matériaux poreux ou caverneux, qui est utilisé comme support par les microorganismes (bactéries) épurateurs.

On peut effectuer l'aération soit par tirage naturel, soit par ventilation forcée. L'objectif est de fournir l'oxygène requis pour maintenir les bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les polluants présents dans l'eau et l'oxygène de l'air se répandent à travers le film biologique jusqu'au micro-organisme assimilateur [37].

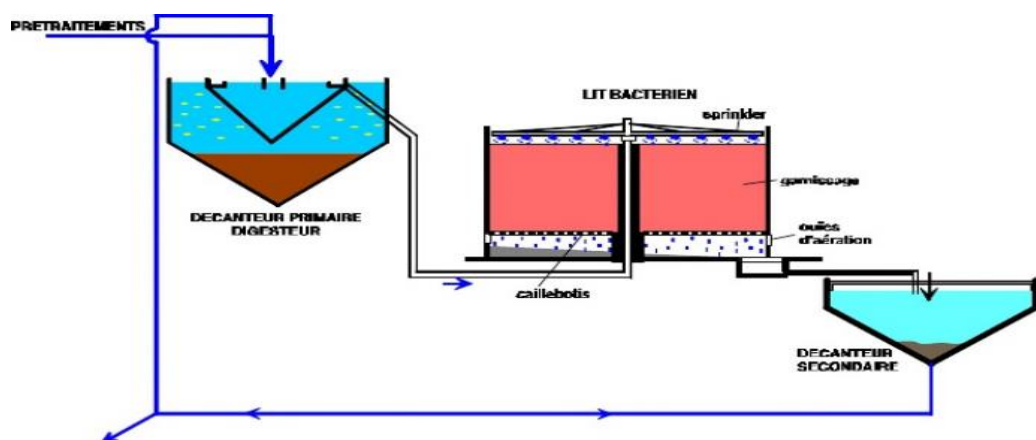


Figure II. 7: Lit bactérien [18].

II. 4. 3. 2. 3. Les boues activées :

Les boues activées sont un procédé de traitement biologique. Un mélange d'eaux à épurer et de micro-organismes en suspension est appelé liqueur mixte. Les systèmes de boues activées sont généralement conçus pour être utilisés en continu avec un réacteur biologique, un décanteur secondaire et des dispositifs pour acheminer les boues du décanteur secondaire vers le réacteur. Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floccs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation.

Le procédé, mis au point à Manchester en 1914, est maintenant le principal moyen d'évacuer les eaux usées [38].

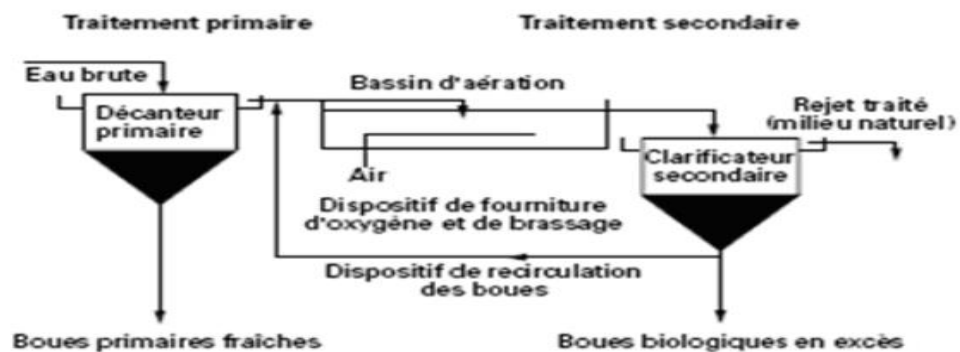


Figure II. 8: Schéma général d'une station d'épuration par boues activées [39].

II. 4. 3. 2. 3. 1. Paramètres de fonctionnement des stations à boues activées :

Différents paramètres sont utilisés pour définir le fonctionnement d'une boue activée :

✓ **La charge volumique (Cv) :**

La charge volumique représente la quantité de DBO_5 (kg/j) à traiter par unité de volume de bassin d'aération.

$$Cv \text{ (kg/j} \cdot \text{m}^3\text{)} = \frac{l_0 \cdot Q}{V}$$

✓ **La Charge massique (Cm) :**

La charge massique d'une station d'épuration à boues activées, représente la quantité de DBO_5 (kg/j) à traiter par masse de boue (MVS) total présent dans le bassin d'aération.

$$Cm \text{ (kg } DBO_5\text{/kg MVS)} = \frac{l_0 \cdot Q}{X_a \cdot V}$$

l_0 : Concentration de la DBO_5 exprime (kg/m³).

Q : débit journalier d'eaux résiduaires à épurer (m³/j).

X_a : Concentration des boues exprimée en MVS contenues dans le bassin d'aération (kg/m^3).

V : Volume de bain d'aération (m^3).

La classification des différents procédés par boues activées se fait en fonction de la valeur de la charge massique ou volumique à laquelle ils sont actifs. Les valeurs sont affichées sur le tableau II.1 :

Tableau II. 1: Classement des procédés par boues activées [39].

Paramètre	C_m ($kg\ DBO_5/kg\ MVS$)	C_v ($kg/j.m^3$)	Concentration des boues en MVS (g/l)
Aération prolongée	$C_m < 0,1$	$C_v < 0,35$	$4 < MVS < 6$
Faible charge	$0,1 < C_m < 0,2$	$0,35 < C_v < 0,5$	$3 < MVS < 5$
Moyenne charge	$0,2 < C_m < 0,5$	$0,5 < C_v < 1$	$3 < MVS < 4$
Forte charge	$0,5 < C_m < 1$	$1 < C_v < 1,5$	$2 < MVS < 3$

✓ **L'âge des boues :**

L'âge des boues totales est généralement compris entre 10 et 30 jours. Un âge des boues trop élevé peut entraîner une dégradation de l'efficacité du traitement, tandis qu'un âge des boues trop faible peut indiquer une surcharge du système.

C'est le rapport entre la masse de boue présente dans le réacteur et la production journalière de boues [40].

✓ **Indice des boues :**

Le calcul de l'indice de Mohlman est la méthode la plus utilisée pour vérifier la décantabilité des boues, qu'elles soient bonnes ou mauvaises.

L'indice de Mohlman est égal au rapport entre le volume de boues décantées en 1/2 h et la masse de M.E.S (résidu sec) qui se trouve dans ce volume.

$$I_M = \frac{\text{Volume (ml)}}{m \text{ résidu sec (g)}}$$

La décantabilité des boues est très bonne avec un IM compris entre 50 et 150. Au-delà de 200, des difficultés commencent à apparaître [39].

II. 4. 3. 2. 3. 2 . L'aération dans les bassins à boues activées :

L'aération est nécessaire pour la dégradation des matières organiques et pour maintenir les bactéries en vie, au moyen d'appareils appelés aérateurs. Elle est réalisée par divers dispositifs :

✓ **Aération de surface :**

L'aération de la surface est vitale pour le traitement biologique des eaux usées. Elle favorise la production d'oxygène par les boues activées, qui sont des micro-organismes responsables de la dégradation des déchets organiques polluants.



Figure II. 9: Aération de surface par turbine [39].

✓ **Diffuseurs d'air:**

Les dispositifs utilisés pour injecter de l'air pressé à fines bulles en utilisant des filtres poreux qui ont un rendement d'oxygénation élevé 12 %, à bulles moyennes (diffuseurs à clapets) ou à bulles plus grosses (diffuseurs à larges orifices) avec un rendement d'oxygénation inférieure à 5 % [38].

II.4.4. Décantation secondaire :

Sa fonction principale consiste à séparer l'eau traitée de la biomasse active qui résulte du traitement biologique. La décantation se fait dans des bassins spécifiques, appelés clarificateurs. L'eau épurée peut ensuite être rejetée dans l'environnement naturel. La partie des boues récupérée en fond d'ouvrage est dirigée vers le bassin d'aération afin de maintenir la concentration voulue en micro-organismes épuratoires, récupérées et expédiées vers la ligne de traitement des boues [11].



Figure II. 10: Décantation secondaire [17].

II.4.5. Traitement tertiaire :

Il existe des réglementations spécifiques sur l'élimination d'azote, de phosphore ou de germes pathogènes des eaux traitées, qui requièrent la mise en œuvre de traitements tertiaires, Il rassemble toutes les opérations physiques et chimiques qui améliorent les traitements primaire et secondaire.

Les eaux épurées sont couramment rejetées dans l'environnement naturel à la fin du traitement secondaire. Cependant, elles peuvent parfois être traitées supplémentaires ou affiner dans le but, soit d'une réutilisation à des fins industrielles ou agricoles, soit de la préservation du milieu récepteur pour des usages spécifiques. Dans le cas d'un milieu récepteur sensible, on applique la désinfection car une épuration classique ne suffit pas à éliminer la pollution bactériologique.

Il est courant d'ajouter du chlore à partir d'une station d'épuration dans un bassin de contact, ou de le traiter aux ultraviolets [28].

II.4.6. Le traitement des boues :

L'extraction régulière des boues est essentielle pour assurer le bon fonctionnement de la STEP, la boue peut être liquide, solide ou pâte, les boues provenant du décanteur primaire et du décanteur secondaire est traitée en utilisant des méthodes telles que l'épaississement et la déshydratation.

II. 4. 6. 1. Épaississement des boues:

C'est une étape pour diminuer le volume des boues. On peut le faire soit par décantation, où les boues sont introduites dans un épaississeur pendant un temps de séjour prolongé, soit On procède à la flottation pour que les microbulles d'air injecté se fixent aux particules de boues, remonte en surface, puis elles sont raclées [7].

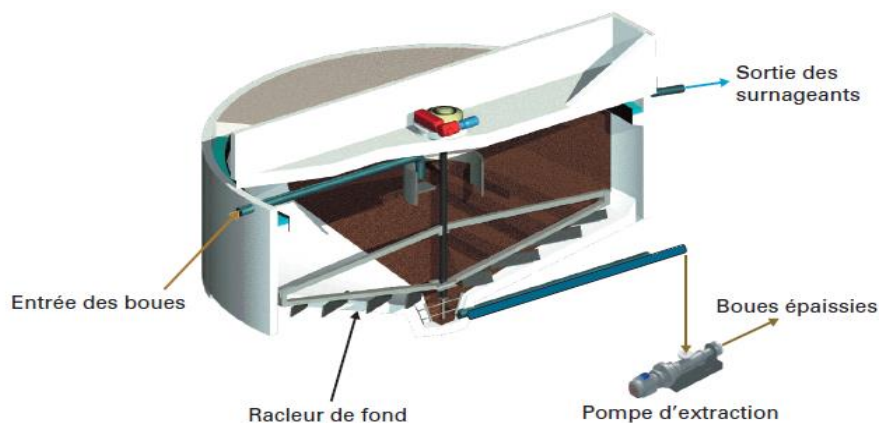


Figure II. 11: Schéma d'un épaississeur [41].

II. 4. 6. 2. Déshydratation :

La déshydratation a pour effet de réduire la teneur en eau des boues, et d'obtenir une siccité de 15 à 40% en sortie, qui peut varier en fonction de la filière de traitement des eaux, de la nature des boues et de la technique de déshydratation utilisée [7].

II. 4. 6. 3. Séchage :

Le traitement des boues implique l'évaporation de l'eau dans les boues traitées. Il est impératif de procéder au séchage thermique après avoir terminé la déshydratation. Le lit de séchage ne requiert pas de déshydratation préalable [7].

II.5. Conclusion :

Le traitement des eaux usées est crucial pour la préservation de l'eau et de l'environnement, il existe une large gamme de procédés d'épuration des eaux usées :

La première étape consiste à éliminer les matières en suspension telles que les déchets grossiers, les sables et les huiles.

L'étape secondaire implique un traitement biologique par les bactéries et des micro-organismes pour dégrader. De plus, il existe certains types de traitement des eaux, tels que : boues activées, lit bactérien, disque biologique et lagunage. Enfin, lorsqu'il y a une nécessité, un étage tertiaire est ajouté.

Chapitre III :
Méthodes d'analyses
Multicritères

III.1. Introduction:

L'analyse multicritère (AMC) a été mise au point dans la deuxième moitié du XXe siècle dans le but de fournir des éléments rationnels pour des problèmes de prise de décision.

L'analyse multicritère permet de faire un choix parmi plusieurs solutions en divisant une grille d'analyse en plusieurs critères, chacun pondéré par un coefficient (poids relatif). Il s'agit donc d'un outil qui aide à prendre des décisions. Tout d'abord, les critères sont identifiés pour fonder l'analyse. Ensuite, un coefficient est attribué à chaque critère en fonction de son importance relative.

On utilise ensuite cette grille d'analyse multicritère pour comparer chaque solution envisagée, à chaque critère retenu, on attribue une note aux différentes solutions, ensuite, la note est pondérée en fonction du coefficient attribué au critère. À la fin des évaluations, une simple combinaison de tous les critères permet de déterminer la meilleure solution [42].

III.2. Définition:

La prise de décision multicritère (MCDM) est un outil utilisé pour prendre des décisions qui soutiennent les décideurs dans le choix de la meilleure solution parmi plusieurs options et alternatives, et dans le développement de différentes méthodes pour résoudre le processus de prise de décision complexe [43].

III.3. Classification des méthodes:

Les chercheurs ont proposé plusieurs modèles et algorithmes d'AMCD, la littérature en aide multicritère à la décision contient de nombreuses méthodes. Ces dernières ont été classées dans trois catégories principales, chacune représentant des approches distinctes [44], Ces catégories se présentent comme suit :

III.3.1. Méthodes d'agrégation :

D'après Roy, cette méthode est la plus traditionnelle. En général, les méthodes qui font partie de cette catégorie sont désignées sous le nom de méthodes d'agrégation complète. Leur objectif est d'agréger tous les critères afin d'obtenir une fonction critère unique qui synthétise cet ensemble.

Ainsi, cette fonction optimisée, par exemple une fonction d'utilité ou de valeur, intègre les préférences locales pour chaque critère ou attribut [45].

III.3.2. Méthodes interactive :

Les méthodes interactives sont aussi connues sous le nom de méthodes d'agrégation locale et itérative, cette appellation fait référence au fait que ces dernières commencent par trouver une solution de départ. Elles effectuent ensuite une recherche dans l'environnement de cette solution pour essayer d'obtenir un résultat amélioré, c'est la raison pour laquelle on utilise le terme progressif. Le terme itératif a aussi été utilisé pour décrire les méthodes interactives, de cette manière, ces dernières permettent de représenter les préférences du décideur de manière séquentielle et itérative.

Depuis leur apparition dans les années 70, plusieurs méthodes interactives ont été mises au point, il est possible d'en mentionner quelques-unes : la méthode STEM (Stratification Et Maximisation), la méthode GDF (Gestion Des Fonctions) et la méthode du point de référence [44].

III.3.3. Méthodes de sur-classement :

D'après Roy (1985), ces méthodes reposent sur la comparaison des actions deux à deux en utilisant une relation de sur-classement S . Ensuite, utilisez cette relation pour obtenir un résultat qui répond à l'un des problèmes suivants : choisir, trier ou organiser.

L'objectif de ces méthodes n'est pas de présenter une solution au décideur, mais de clarifier son choix. En d'autres termes, éliminer les mauvaises solutions, définir les bonnes actions et repérer celles qui rendent la comparaison avec les autres difficiles, il y a deux étapes dans l'utilisation de ces méthodes : la construction d'une relation de classement S et l'exploitation de celle-ci. Les diverses approches pour aborder ces deux phases ont conduit à l'émergence de diverses méthodes de sur-classement, il existe deux grandes familles : ELECTRE et PROMETHEE [44].

III.4. Les méthodes d'aide à la décision multicritères MCDM :

III.4.1. Méthode AHP :

Cette méthode a été mise au point en 1980 par Thomas L. Saaty et contribue à comprendre le problème et à prendre une décision qui correspond à l'objectif des spécialistes. La méthode AHP décompose en premier lieu le problème de décision d'origine dans une structure hiérarchique, et inclut l'objectif de décision, les alternatives, les critères et la comparaison pour déterminer les priorités de tous les éléments [43].

La méthode AHP est organisée en quatre étapes :

Étape 01 : Structurer le problème dans une hiérarchie :

C'est la première étape avec laquelle on commence la méthode d'AHP. Elle consiste à décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique.

Cette structure prend la forme d'une pyramide. Elle commence toujours par un niveau 0 au sommet, qui est l'objectif de la décision.

Ensuite, il évolue vers d'autres critères du niveau 1, puis ces derniers évoluent également en dessous des critères du niveau 2 [54].

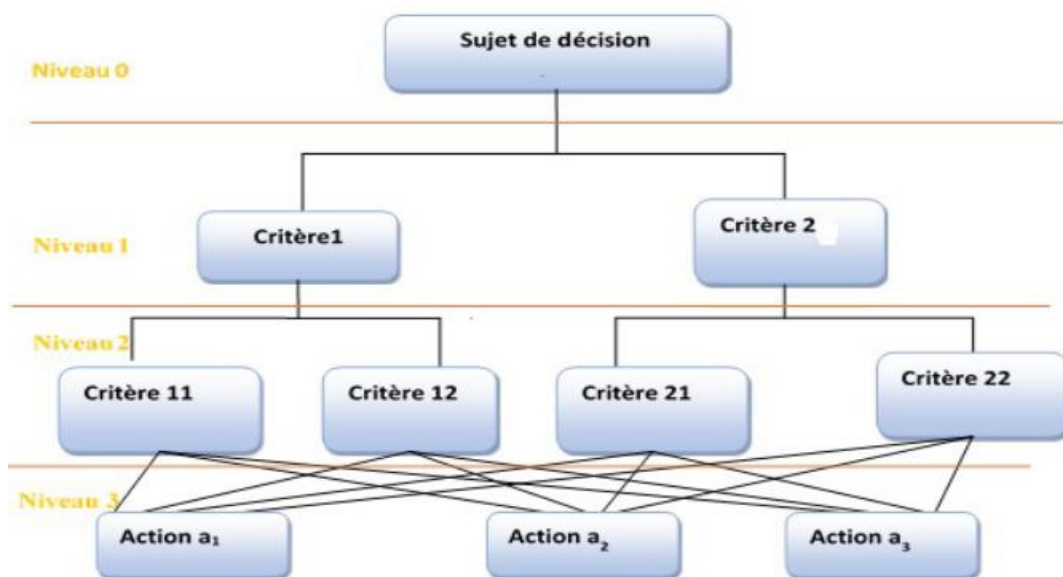


Figure III. 1: La structure hiérarchique [47].

Étape 02 : Etablissement de la matrice de jugement :

À chaque niveau de la base hiérarchique, il est nécessaire de faire une comparaison binaire des critères deux à deux par rapport aux critères supérieurs, en attribuant une note chiffrée sur une échelle prédéfinie [48].

Tableau III. 1: Echelle de comparaison binaire de Saaty [48].

Appréciation	Degré d'importance
Importance égale de deux critères	1
Faible importance d'un critère par rapport à un autre	3
Importance moyenne d'un critère par rapport à un autre	4
Importance forte d'un critère par rapport à un autre	5
Importance attestée d'un critère par rapport à un autre	7
Importance absolue d'un critère par rapport à un autre	9

Les degrés 2,6 et 8 peuvent être utilisés pour exprimer des valeurs intermédiaires.

Tableau III. 2: Matrice des comparaisons binaires [47].

	Critère 1.1	Critère 1.2	....	Critère 1.n
Critère 1.1	1	α_{21}	....	α_{n1}
Critère 1.2	α_{21}	1	....	α_{n2}
....
Critère 1.n	α_{n1}	α_{n2}	....	1

Avec $\alpha_{ji} = \frac{1}{\alpha_{ij}}$

D'habitude, la comparaison se fait entre les éléments de gauche (lignes) et les éléments supérieurs (colonnes). Pour comparer les éléments, il est important de se poser la question suivante : Quel est le degré d'avantage, de domination, de satisfaction, de profit et de contribution de l'un à la prise de décision par rapport à l'autre?

Étape 03: On calcule le poids de chaque critère en suivant cette méthode :

- ✓ La première étape consiste à calculer la somme de chaque colonne de la matrice de jugement.

Tableau III. 3: La somme des colonnes de la matrice de jugement [54].

	Critère 1.1	Critère 1.2	....	Critère 1.n
Critère 1.1	1	α_{12}	....	α_{1n}
Critère 1.2	α_{21}	1	....	α_{2n}
....
Critère 1.n	α_{n1}	α_{n2}	....	1
	$\sum \alpha_{i1}$	$\sum \alpha_{i2}$	....	$\sum \alpha_{in}$

- ✓ On divise chaque élément par la somme de sa colonne dans la matrice :

Tableau III. 4: La matrice normée [54].

	Critère 1.1	Critère 1.2	....	Critère 1.n
Critère 1.1	α'_{11}	α'_{12}	....	α'_{1n}
Critère 1.2	α'_{21}	α'_{22}	....	α'_{2n}
....
Critère 1.n	α'_{n1}	α'_{n2}	....	α'_{nn}

$$\alpha'_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum \alpha_{ij}}$$

- ✓ On calcule ensuite la moyenne arithmétique des nombres sur chaque ligne.

Chaque ligne correspond à un critère, la moyenne associée au critère définit son poids (pi) par rapport au critère père (supérieur).

$$p_i = \frac{1}{n} \sum \alpha'_{ij}$$

n est le nombre des critères à comparer.

Étape 04: Cohérence des jugements :

Un des avantages majeurs de l'AHP est de pouvoir calculer Le ratio de cohérence RC, dont la valeur doit être inférieure ou égale à 10% pour déduire que les jugements sont cohérents, Pour obtenir cet indice, Saaty propose de calculer l'indice de cohérence.

$$RC = \frac{IC}{RI}$$

✓ Calcul IC :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Tableau III. 5: La détermination du dj [54].

	Critère 1.1	Critère 1.2	....	Critère 1.n
Critère 1.1	$p_1 \times \alpha_{11}$	$p_2 \times \alpha_{12}$	....	$p_n \times \alpha_{1n}$
Critère 1.2	$p_1 \times \alpha_{21}$	$p_2 \times \alpha_{22}$	....	$p_n \times \alpha_{2n}$
....
Critère 1.n	$p_1 \times \alpha_{n1}$	$p_2 \times \alpha_{n2}$	....	$p_n \times \alpha_{nn}$
	$d_1 = \sum p_1 \times \alpha_{i1}$	$d_2 = \sum p_2 \times \alpha_{i2}$	....	$d_n = \sum p_n \times \alpha_{in}$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum \frac{d_j}{p_j}$$

✓ Calcul de RI :

RI est l'indice de cohérence aléatoire issu par simulation, il est déterminé à l'aide du tableau suivant :

Tableau III. 6: L'indice de cohérence aléatoire RI [54].

Nombre de critères : n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

III.4.2. La méthode ELECTRE I (Roy B. 1968) :

Roy B a créé la méthode ELECTRE I (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité) en 1968. Dans cette dernière, le sûr classement d'une action (a) par une action (b) (aSb) est influencé par deux principes :

- ✓ La concordance : Il faut qu'une majorité des critères soient en faveur de a.
- ✓ La non-discordance : il ne faut pas qu'il y ait un critère qui s'oppose fortement au sur-classement de (a) sur (b).

La construction des indices de concordance et de discordance permet de formaliser les principes de concordance et de non-discordance de la manière suivante :

L'objet de la décision est représenté par un ensemble A d'actions, le décideur doit établir un ensemble de critères $f = \{1,2,\dots, n\}$ pour représenter ses préférences. Chaque action est évaluée en fonction des critères définis, en utilisant une échelle qualitative et des scores.

L'évaluation de l'action a_i sur le critère j est notée e_{ij} . L'importance de chaque critère est exprimée par un poids π_j avec $\sum \pi_j = 1$. On regroupe ces paramètres dans un tableau nommé le tableau de performance :

Tableau III. 7: Tableau de performance [47].

	Les critères			
	C ₁	C ₂	....	C _n
a ₁	e ₁₁	e ₁₂	....	e _{1n}
a ₁	e ₂₁	e ₂₂	....	e _{2n}
....
a _m	e _{m1}	e _{m2}	....	e _{mn}
Poids des critères	π_1	π_2	....	π_n

Étape 01 : L'indice de concordance :

Le couple d'actions (a_i, a_k) a pour indice de concordance $C(a_i, a_k)$, défini par :

$$C(a_i, a_k) = \sum_{j \in C} \pi_j$$

Avec $C = \{j \text{ tel que } e_{ij} \geq e_{kj}\}$

C : est appelée coalition concordante.

Étape 02 : L'indice de non- discordance :

La non-discordance représente le fait qu'il ne devrait pas y avoir de critère dans lequel l'avantage de a_k sur a_i contredit l'affirmation a_i surclasse a_k .

On peut déterminer cet indice en utilisant la formule suivante :

$$D(a_i, a_k) = \begin{pmatrix} 0 \text{ si } \{j: e_{ij} < e_{kj}\} = \emptyset \\ \frac{1}{E} \times \max_{\{j: e_{ij} \leq e_{kj}\}} |e_{kj} - e_{ij}| \text{ sinon} \end{pmatrix}$$

E: représente la plus grande échelle associée à l'un des critères :

$$E = \max_{\{j: e_{ij} \leq e_{kj}\}} |e_{kj} - e_{ij}|$$

Étape 03 : La relation de sur-classement :

On peut définir la relation de sur-classement de la manière suivante :

$$a_i S a_k \Leftrightarrow C(a_i, a_k) \geq s \text{ et } d(a_i, a_k) \leq t$$

On exige que les seuils de concordance et de discordance soient s et t respectivement.

III.4.3. Best and Worst Méthode (BWM) (méthode de meilleure et pire) :

Il est important de prendre en considération les dimensions naturelles et sociales, économiques pour améliorer et développer le développement durable, afin de résoudre les contradictions. Les décideurs et les ingénieurs voient la méthode de prise de décision multicritère (la meilleure et la pire manière) comme la solution idéale pour définir leurs objectifs et leurs lieux de travail.

Pour déterminer la meilleure alternative selon MCDM, on évalue un certain nombre d'alternatives en fonction de certains critères. C'est aux décideurs de choisir le critère le plus important, le meilleur et le pire, en comparant ces deux critères à d'autres critères. Et par lequel on détermine le poids de chaque critère. Les étapes suivantes sont suivies pour réaliser cela : [49]

Étape 01 : les critères pour évaluer sont identifiés :

On identifie les critères d'évaluation pour prendre une décision en impliquant un groupe de décideurs. Ensuite, on sélectionne les meilleurs et les pires critères.

Étape 02 : le meilleur et le pire critère :

Les critères, les meilleurs et les pires sont évalués par rapport à d'autres critères. Le degré d'importance se définit par un nombre compris entre 1 et 9.

$$AB = (AB1, AB2, \dots, ABn)$$

$$AW = (A1W, A2W, \dots, AnW)$$

Où AB_j présente le degré d'importance du meilleur critère B sur le critère j , et A_jW indique la préférence du critère j sur le pire critère W .

Tableau III. 8: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans BWM [50].

Degré d'importance	Définition
1	Importance égale
3	Importance modérée
5	Forte importance
7	Importance très forte
9	Importance extrême

Étape 03 : Calcul du poids optimal :

La dernière étape implique le calcul du poids optimal, le problème se déroule de manière linéaire et possède une solution unique, qui correspond aux poids optimaux (w^*1, w^*2, \dots, w^*n). ξ^* est perçu comme un indicateur de cohérence du modèle et une valeur proche de zéro témoigne d'un haut niveau de cohérence pour la mise en œuvre de BWM, les critères d'évaluation sont comparés par paires:

$$|W_b - \alpha_{bj}W_j| \leq \xi^* \text{ pour tous } j$$

$$|W_j - \alpha_{jw}w| \leq \xi^* \text{ pour tous } j$$

$$\sum W_j = 1$$

III.4.4. Méthode DEMATAL:

La méthode DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) est une approche d'analyse multicritère qui permet de déterminer les relations de cause à effet et l'importance relative d'un ensemble de facteurs. Elle est extrêmement utile pour résoudre des problèmes complexes avec de nombreux facteurs interdépendants.

Étape 01 : déterminer l'échelle de notation :

Supposons que nous examinons les relations binaires et le degré d'influence des critères sur les critères dans un problème comporte un nombre n de facteurs à prendre en compte. Toutes les comparaisons par paires entre critères et critères sont notées a_{ij} , qui prennent un score valide entre 0 et 4 [50].

Tableau III. 9: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paire dans DEMATAL [50].

Définition	Valeur numérique
Aucun effet	0
Effet faible	1
Effet moyen	2
Effet élevé	3
Effet très élevé	4

Étape 02 : Créer une matrice :

Chaque expert produira une matrice directe $n \times n$. Chaque valeur de la matrice représente l'ampleur de l'interaction entre les facteurs. Dans lequel z_{ij} est désigné comme le degré auquel le critère i affecte le critère j , c'est-à-dire: $Z = (Z_{ij})_{n \times n}$.

Étape 03 : Calculer la matrice de relation directe normalisée:

La matrice de relation directe normalisée X , c'est-à-dire $X = (X_{ij})_{n \times n}$ et $0 \leq X_{ij} \leq 1$. Tous les éléments diagonaux sont égaux. Ils peuvent être obtenus en utilisant l'équation à zéro.

$$X = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n Z_{ij}}$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Étape 04 : La matrice de relation totale T :

$$T = X(I - X)^{-1}$$

Dans lequel le I est noté comme la matrice d'identité.

Étape 05 : La somme des lignes et la somme des colonnes sont notées séparément D et R dans la matrice de relation totale T :

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} + \sum_{j=1}^n t_{ji}$$

$$R_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} - \sum_{j=1}^n t_{ji}$$

Où D et R désignent respectivement la somme des lignes et la somme des colonnes.

Étape 06 : Diagramme de causalité :

Un diagramme de causalité peut être acquis en cartographiant l'ensemble de données de $(D + R, D - R)$, où l'axe horizontal $(D + R)$ est constitué en ajoutant D à R , et l'axe vertical $(D - R)$ est fait en soustrayant D de R .

III.4.5. Méthode TOPSIS:

En 1981, les scientifiques Hwang et Yoon ont mis au point la méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Son objectif est de trouver l'alternative qui soit à la fois proche de l'alternative idéale et éloignée de l'alternative anti-idéale par rapport aux autres alternatives [47].

Les différentes étapes de cette méthode sont les suivantes :

Étape 01 : définir le tableau des performances :

Étape 02 : normaliser les performances des critères :

$$e'_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [e_{ij}]^2}}, i = 1, \dots, m \text{ et } j = 1, \dots, n$$

Étape 03 : Calculer : $e''_{ij} = \pi_j * e'_{ij}$

Étape 04 : Déterminer les profils idéal (a^+) et anti-idéal (a^-) :

$$A^+ = \{ \max_i x_{ij} (i \in j^+) | \min_i x_{ij} (i \in j^-) \}$$

$$A^- = \{ \min_i x_{ij} (i \in j^+) | \max_i x_{ij} (i \in j^-) \}$$

Étape 05 : Calculer la distance euclidienne de chaque action par rapport aux profils (a^+) et (a^-):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a^+ - e''_{ij})^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a^- - e''_{ij})^2}$$

Étape 06 : Calculer le coefficient de proximité (CC_i) et classer des alternatives :

On classe les alternatives dans l'ordre décroissant des CC_i . Le choix le plus satisfaisant sera celui qui propose une alternative avec le plus grand CC_i .

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, 0 \leq CC_i \leq 1$$

III.4.6. SAW: Simple Additive Weighting Méthode:

La pondération additive simple (SAW) est une méthode couramment utilisée pour prendre des décisions impliquant plusieurs attributs, ainsi que pour des méthodes de combinaison linéaire pondérée et de notation. La méthode est basée sur la moyenne pondérée, Pour calculer une note d'évaluation pour une solution de rechange particulière. Le décideur multiplie la valeur pondérée donnée à cet attribut par les poids d'importance relative qui lui sont directement attribués, puis additionne les valeurs de production pour tous les critères.

L'avantage de cette méthode est qu'il s'agit d'une transformation linéaire proportionnelle des données brutes, ce qui signifie que l'ordre de grandeur relatif des scores standardisés reste égal. Le processus SAW comprend les étapes suivantes [51]:

Étape 01 : Établir une matrice de comparaison par paire ($n \times n$) pour évaluer l'objectif en utilisant l'échelle de Saaty de comparaisons par paires.

Étape 02 :

$$R_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_{x_{ij}}} & \text{si } j \text{ est l'attribut bénéfique} \\ \frac{\min_{x_{ij}}}{x_{ij}} & \text{si } j \text{ est l'attribut de cout} \end{cases}$$

$\text{Max}(X_{ij})$: La valeur maximale du critère.

$\text{Min}(X_{ij})$: La valeur minimale du critère.

Étape 03 :

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j R_{ij}$$

Où X_{ij} est le score de l'alternatif par rapport à la j critères, W_j sont les critères pondérés.

III.5. Conclusion :

L'utilisation de méthodes multicritères pour aider à prendre des décisions permet d'aborder de manière plus objective les problèmes de décision rencontrés dans le monde professionnel.

Pour accomplir cela, le décideur est remplacé par un modèle où les objectifs du décideur sont pris en compte, ainsi, ses préférences sont représentées de façon quantitative. De manière générale, le modèle est ajusté à la réalité en autorisant le décideur à déterminer les valeurs d'un ensemble de paramètres [52].

Il est difficile de choisir une méthode multicritère s'il n'existe pas de méthode précise pour effectuer cette sélection. Certains estiment même qu'il est indispensable de se plier au processus multicritère pour prendre une décision [47].

Pour notre cas, nous avons utilisé la méthode d'analyse multicritère hiérarchique AHP (Analytical Hierarchy Process).

Chapitre IV :
Présentation de la STEP
d'Ain El Houtz Et
Performances de traitement

IV.1. Introduction:

La qualité des eaux usées est influencée par de nombreux facteurs, tels que le mode de vie écologique, la situation géographique, la disponibilité de l'eau, etc...., Le milieu naturel est perturbé par l'évacuation directe des eaux usées, ce qui transforme le milieu accepteur en réseau d'égouts, toute vie peut être menacée par cette pollution, jusqu'à son extinction.

Tlemcen abrite plusieurs stations d'épuration, qu'elles soient urbaines ou industrielles, parmi celles-ci se trouve la station d'AIN EL HOUTZ, qui a été conçue pour épurer les eaux usées domestique et des eaux pluviales du Nord-est de Tlemcen, en procédant à l'épuration des boues activées à faible charge [11].

IV.2. Situation géographique :

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est localisée au nord du chef-lieu, "Tlemcen Ville" sur la Route d'Ain El Houtz, à l'ouest de Chetouane avec une population de 150 000 eq/hab et une capacité de 30 000 m³/j. La mise en service de l'Entreprise Hydrotraitement remonte au 05 novembre 2005. Elle est gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement [53].



Figure IV. 1: Vue de la Station d'épuration d'Ain El Houtz (Tlemcen) [53].

IV.3. Principe de fonctionnement de la STEP :

La station d'épuration de la ville de Tlemcen fonctionne avec des boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des eaux usées, on utilise habituellement les processus aérobies, qui impliquent l'oxydation directe des matières organiques par les bactéries des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau [53].

IV.3.1. Données de base :

La station d'épuration de la ville de Tlemcen a été dimensionnée en se basant sur les données, comme indiqué dans le tableau IV.1 ci-dessous :

Tableau IV. 1 : Donnée de base de la STEP d'Ain El Houtz [53].

Horizon	2005
Type de réseaux	Unitaire
Nature des eaux brutes	domestique
Population	150000 EQ/HAB
Débit journalier	30000 m ³ /j
Débit de pointe horaire admis au traitement	3800 m ³ /j
DBO₅ journalières	9300 kg/j
Matières en suspension	13950 kg/j
L'équivalence calculé sur la DBO₅	172000 EQ/HAB
Azote a nitrifié	1980 kg

IV.4. Description des installations :

Il y a deux filières de traitement à la station : l'une pour les eaux usées et l'autre pour les boues :

IV.4.1. Filières eaux usées :

La filière eau représente les différentes étapes de traitement des eaux usées, depuis leur entrée à la STEP jusqu'à leur sortie :

IV. 4. 1. 1. Déversoir d'orage :

Déversoir d'orage est un ouvrage qui permet de rejeter une partie des eaux pluviales et des eaux usées du réseau d'assainissement vers le milieu naturel, sans passer par la station d'épuration. Cela permet d'éviter que la station d'épuration ne soit surchargée en cas de fortes pluies. Il est dimensionné pour prendre en charge un maximum de 3300 m³/h [40].



Figure IV. 2: Déversoir d'orage [53].

IV. 4. 1. 2. Dégrillage :

C'est le premier traitement de l'eau, et il a pour but de supprimer les gros déchets qui pourraient endommager les équipements en aval ou perturber les processus de traitement biologique. Deux types de grilles sont présents à la station :

- ✓ Une grille grossière manuelle d'une largeur de 1,8 m. Son inclinaison est de 70 % (1,5 m). L'écartement entre les barreaux est de 50 mm.
- ✓ Une grille mécanisée il en existe 2 unités dont la largeur est de 1.0 m. La profondeur de chenal est de 1.5 m, l'écartement entre les barreaux est 20 mm.



Figure IV. 3:Grille grossière manuelle [53].



Figure IV. 4: Grille mécanisée [53].

La station d'épuration est équipée d'une grille manuelle de by-pass à côté des grilles mécanisées. Si les grilles mécanisées rencontrent des problèmes : bouchage, panne, etc., cette grille est là pour assurer le bon fonctionnement de la STEP. Il a une largeur de 1 m, et un écartement entre les barreaux de 30 mm [40].



Figure IV. 5: Grille manuelle [53].

IV. 4. 1. 3. Le Dessableur-déshuileur :

Cet ouvrage est de type longitudinal et comporte deux compartiments. Il est construit avec un canal en béton armé de forme trapézoïdale. Des suppresseurs injectent de l'air pour créer une émulsion, dans le but d'améliorer la séparation du sable et des graisses.

Il y a des lames de séparation qui aident à séparer les huiles et les graisses vers la zone de raclage. Les deux dessableurs déshuileurs ont une longueur de 26 mètres et une largeur de 4 mètres [53].



Figure IV. 6: Dessableur-déshuileur [53].

Les sables se décantent et se situent au fond de l'ouvrage dans une section plus approfondie. Les grains de sable ainsi décantés dans la fosse sont extraits par le système Air Lift et stockés dans des bacs à sable. Les bacs ont une largeur de 2 m, une longueur de 3 m et une profondeur de 0,8 m. Chaque dessableur est équipé de deux bacs dans la station d'Ain El Houtz.



Figure IV. 7: Bacs à sable [53].

Les matières flottantes et les graisses vont s'accumuler à la surface du déshuilage, être racclées jusqu'à ce qu'elles atteignent un puits à graisses, puis être acheminées vers le centre d'enfouissement technique.

IV. 4. 1. 4. Bassin d'aération :

Le bassin d'aération est le cœur de la station d'épuration biologique. C'est là que les micro- organismes présents dans la boue activée dégradent la matière organique présente dans les eaux usées.

La station dispose de 4 bassins de forme rectangulaire. Ils sont alimentés en eau dénitrifiée. L'aération dans le bassin est réalisée à l'aide d'aérateur de surface à vitesse lente, chaque bassin est équipé de trois aérateurs.

Ce milieu favorable engendre le développement de bactéries qui se nourrissent de la pollution organique grâce à leur action physico-chimique, chaque bassin est équipé d'une sonde de mesure d'oxygène dissous pour déclencher automatiquement l'aération en cas de défaillance de sa concentration, les dimensions de chaque bassin d'aération sont les suivantes : Volume de 4723 m^3 , Forme rectangulaire avec une longueur de :55,5 m et une largeur de 8,5 m. Hauteur du béton : 5,6m; Hauteur de l'eau :4,6m [53].



Figure IV. 8: Bassin d'aération [53].

Equipement des bassins :

- ✓ 04 vis d'Archimède (débit unitaire 1300 m³/h), pour la recirculation interne de la liqueur mixte afin d'éliminer l'azote dans le bassin d'anoxie.
- ✓ 04 mélangeurs submersibles de 4 kW chacun pour l'homogénéisation (en panne).
- ✓ 04 déversoirs.
- ✓ 12 aérateurs de surface (75 kW chacun).
- ✓ 04 sondes de mesure d'oxygène dissous.

IV. 4. 1. 4. 1. Bassin de nitrification dénitrification :

Dans ce bassin, l'eau prétraitée est d'abord utilisée pour éliminer la pollution azotique en utilisant des bactéries spécifiques. Le bassin, à une forme rectangulaire, est équipé d'un mélangeur de fond pour assurer l'agitation du milieu. Ensuite, l'eau nitrifiée dénitrifiée est déversée vers les bassins d'aération [40].



Figure IV. 9: Bassin de nitrification dénitrification [53].

IV. 4. 1. 4. 2. Tour de répartition :

Les bassin d'aération transportent la liqueur mixte gravitairement vers une chambre de répartition et divisent les eaux vers les 02 bassins de décantation secondaires.

Les glissières de chaque déversoir de cette tour sont spécialement conçues pour recevoir des batardeaux d'isolement, afin de permettre éventuellement le passage d'un ou de deux décanteurs [40].



Figure IV. 10: Tour de répartition [53].

IV. 4. 1. 5. Décantation secondaire :

Il y a deux décanteurs secondaires circulaires de 46 m de diamètre dans la STEP, qui ont une surface de 1661 m² et une profondeur d'eau de 4 m en périphérie, et le pont racleur a une vitesse de rotation de 0,04 m/s.

Cette opération vise à séparer l'eau épurée des boues qu'elle contient, la liqueur mixte est mise en place en son centre. L'eau clarifiée s'écoule en périphérie dans une double goutte de reprise, et les boues décantées se déposent sur le radier et seront raclées vers le centre de l'ouvrage où elles s'épaississent légèrement [53].



Figure IV. 11: Décanteur secondaire [53].

IV. 4. 1. 6. Bassin de chloration :

Pour désinfecter les eaux épurées, la station a mis en place un traitement de chloration. Pourtant, ce traitement n'est pas utilisé, selon les responsables de la STEP, les eaux destinées à l'irrigation ne nécessitent pas de chloration. Le bassin est en béton armé et a une capacité d'environ 700 mètres cubes [53].



Figure IV. 12: Bassin de chloration [53].

IV.4.2. Filières traitement des boues :

Dans la filière boues, la station possède une vis d'Archimède, un épaisseur de boue et des lits de séchage.

IV. 4. 2. 1. Poste de pompage des boues :

Il permet de faire circuler une partie de la boue décantée dans le clarificateur vers les bassins d'aération pour maintenir un niveau de biomasse bactérienne adéquat, la seconde partie est pompée vers l'épaisseur.

Le poste de pompage des boues est équipé de trois (03) vis d'Archimède (vis de recirculation) [53].



Figure IV. 13: Vis d'Archimède [53].

IV. 4. 2. 2. Epaisseur des boues :

Le but est de diminuer le volume de la boue extraite en la décantant simplement. L'épaisseur a une forme circulaire réalisée en béton armé de 14 m de diamètre et d'une hauteur utile de 4 m, le fond du bassin a une pente de 1/10. Il est équipé d'un pont de support tournant, d'un moteur et d'un réducteur.



Figure IV. 14: épaisseur [53].

IV. 4. 2. 3. Lit de séchage :

La boue épaisse est pompée pour être évacuée vers les lits de séchage, qui ont une longueur de 30 m et une largeur de 15 m.

La station dispose de 14 lits de séchage en béton équipés d'une conduite de drainage perforée pour permettre l'évacuation de l'eau filtrée.



Figure IV. 15: Lit de séchage [53].

IV.5. Etudes des performances de la station :

Dans le but d'évaluer les performances de la gestion des eaux usées à la STEP d'Ain El Houtz. On a étudié les paramètres de pollution de l'eau traitée à cette station pendant la période de fonctionnement qui s'étend du 14 au 27 février 2024.

Nous avons reçu les résultats de la part des gestionnaires de la STEP (ONA de Tlemcen).

IV.5.1. Le potentiel hydrique (pH):

La figure IV.16 montre que les valeurs du pH mesurées durant notre étude varient entre 7,85 et 8,25 pour les eaux brutes, avec une valeur moyenne de 8,07. Les valeurs du pH des eaux à la sortie de la STEP se situent entre 7,6 et 7,9, avec une moyenne de 7,8, ce qui correspond aux normes de réutilisation (6,5 à 8,5).

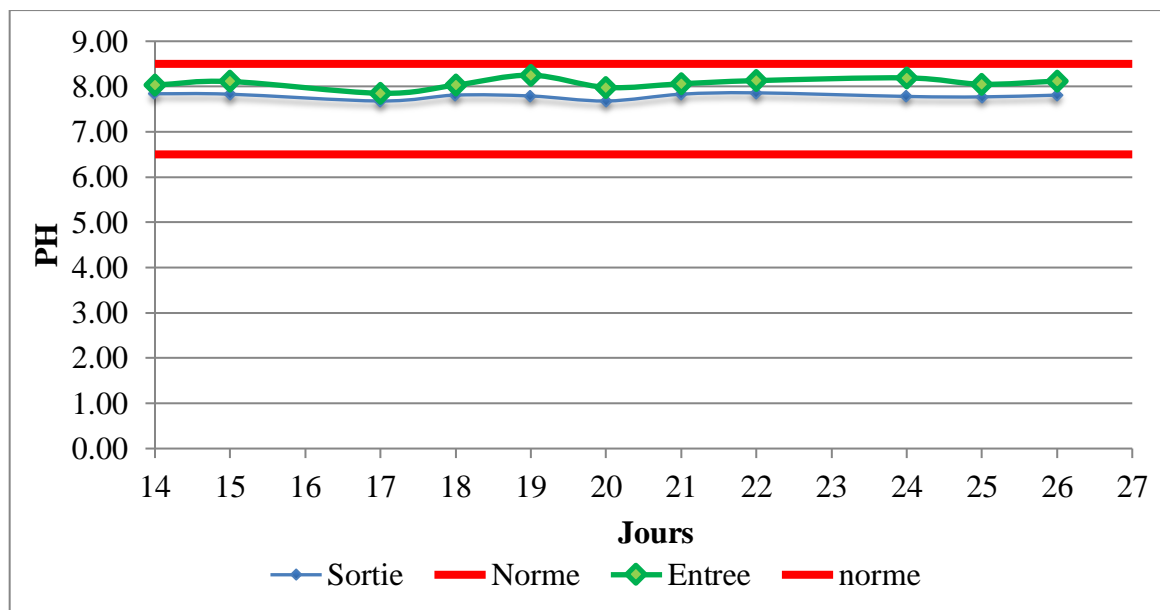


Figure IV. 16: Variation journalière du pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.2. Demande chimique en oxygène (DCO) :

D'après les résultats présentés dans la figure IV.17, la DCO des eaux à l'entrée de la STEP présente des valeurs allant d'un maximum de 390 mg/l à un minimum de 310 mg/l. Par contre, les concentrations des eaux traitées peuvent varier de 71 mg/l à 40 mg/l avec une moyenne de 58 mg/l. Ces valeurs respectent la norme algérienne de rejet (<130 mg/l).

Donc, une grande quantité a été éliminée par cette méthode, car il y a une dégradation significative de la charge polluante.

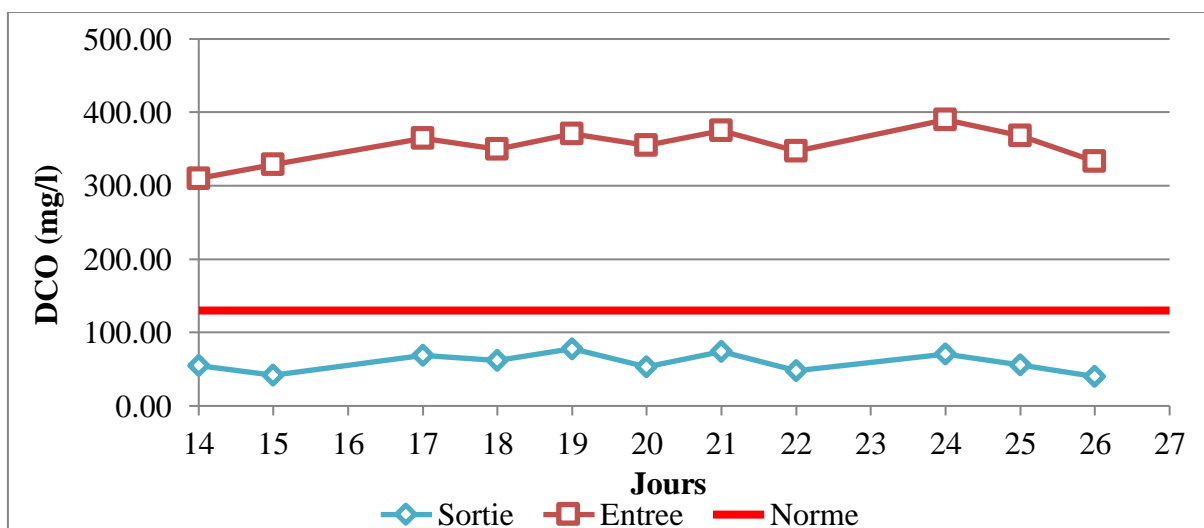


Figure IV. 17 : Variation journalière du DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.3. Demande biologique en oxygène (DBO5) :

En se fondant sur les données présentées dans la figure IV.18, à l'entrée de la station, on observe une concentration de DBO5 variant de 100 à 165 mg/l dans l'eau brute.

Par contre, les concentrations des eaux à la sortie sont variables, avec un maximum de 22 mg/l et un minimum de 11 mg/l, ce qui correspond généralement aux normes de rejet (inférieures à 35 mg/l).

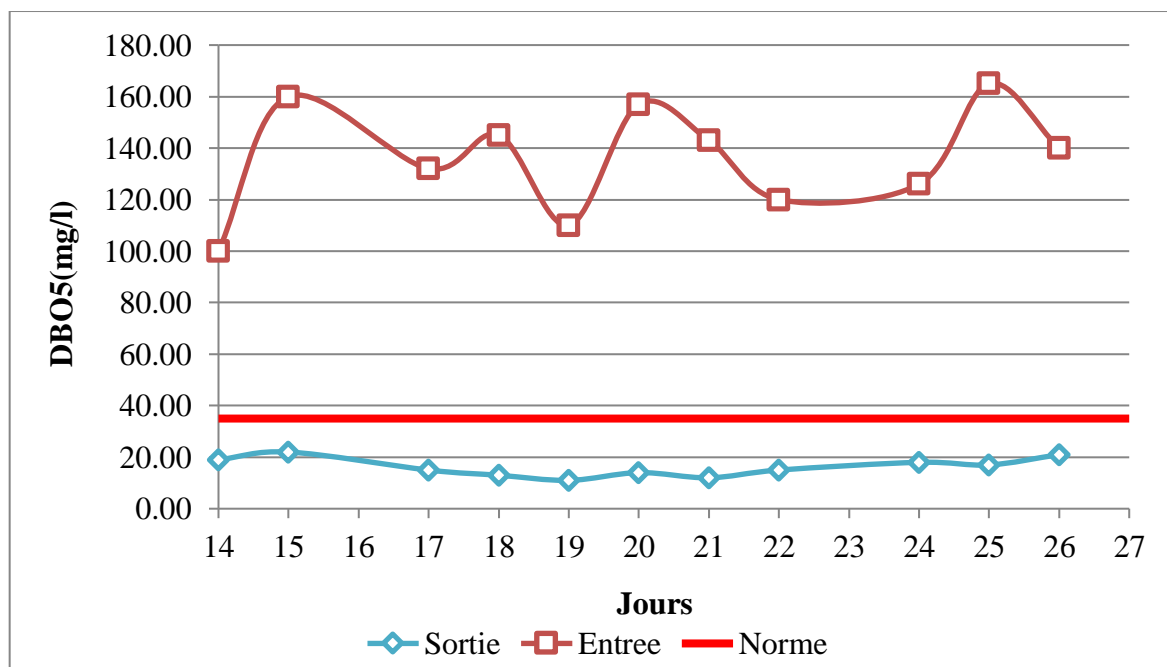


Figure IV. 18: Variation journalière du DBO5 à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.4. Matières en suspension (MES) :

Les résultats de la figure IV.19 indiquent clairement que la quantité de matière en suspension à l'entrée varie entre 308 mg/L et 145 mg/L, avec une moyenne de 230 mg/L. La concentration à la sortie varie entre 15 mg/L et 26 mg/L, ce qui est inférieur à la norme admise pour le rejet, qui est de 35 mg/l.

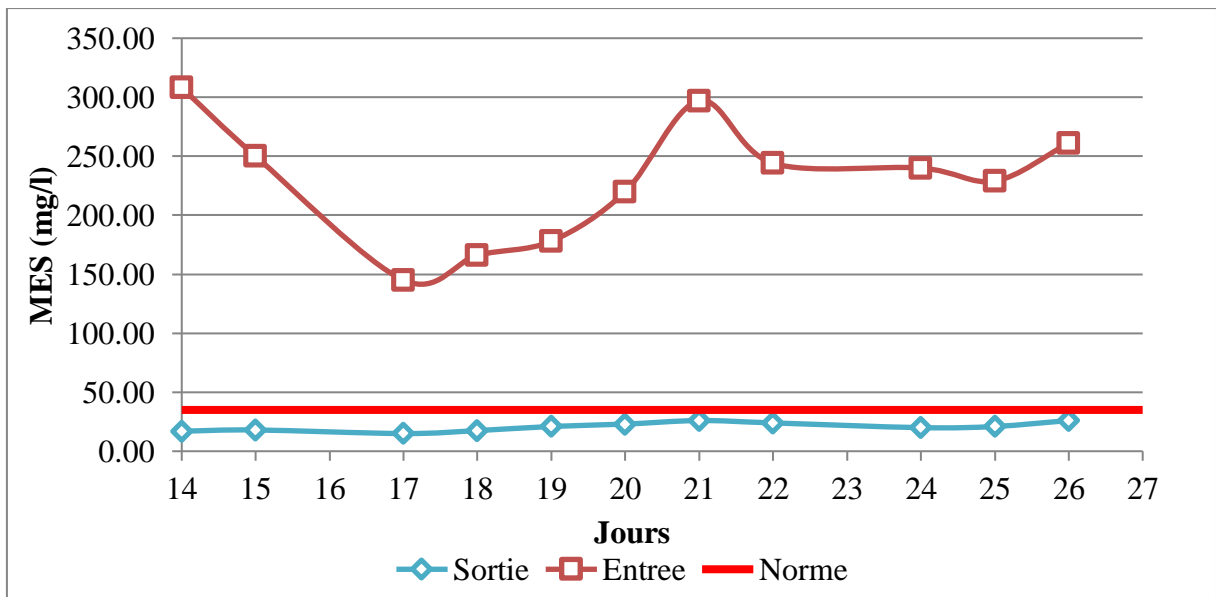


Figure IV. 19: Variation journalière du MES à l'entrée et à la sortie de la STEP (période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.5. La Température :

En examinant les résultats présentés dans la figure IV.20, on constate que les températures de l'eau brute varient de 20 à 14 °C, avec une moyenne de 17 °C. Par contre, celles de l'eau épurée entre 12 et 20 °C et une moyenne de 16 °C, ce qui correspond généralement aux normes de rejet (inférieures à 30 °C).

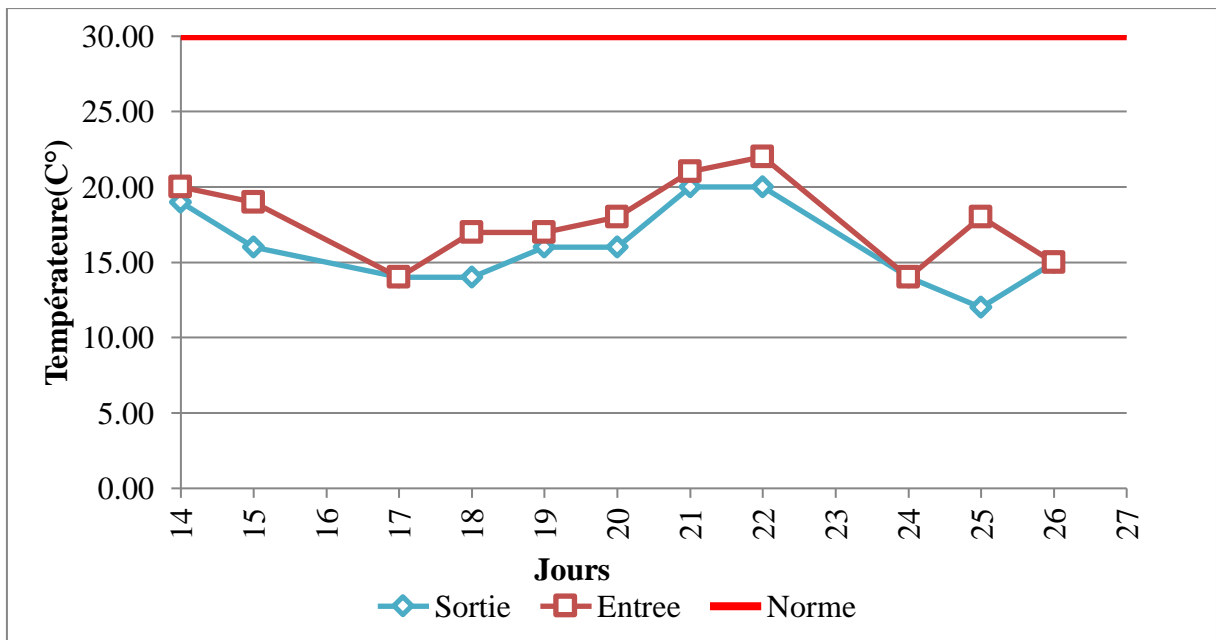


Figure IV. 20: Variation journalière de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).

IV.5.6. La Conductivité :

D'après la figure IV.21, il n'y a pas vraiment de variation de la conductivité dans la plupart des prélèvements. Les valeurs de conductivité sont proches les unes des autres.

Les valeurs journalières à l'entrée de la STEP changent dans un intervalle allant du minimum de 1115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à un maximum de 1468 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur à la sortie se situe entre 1079 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1294 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui est en dessous de la norme de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

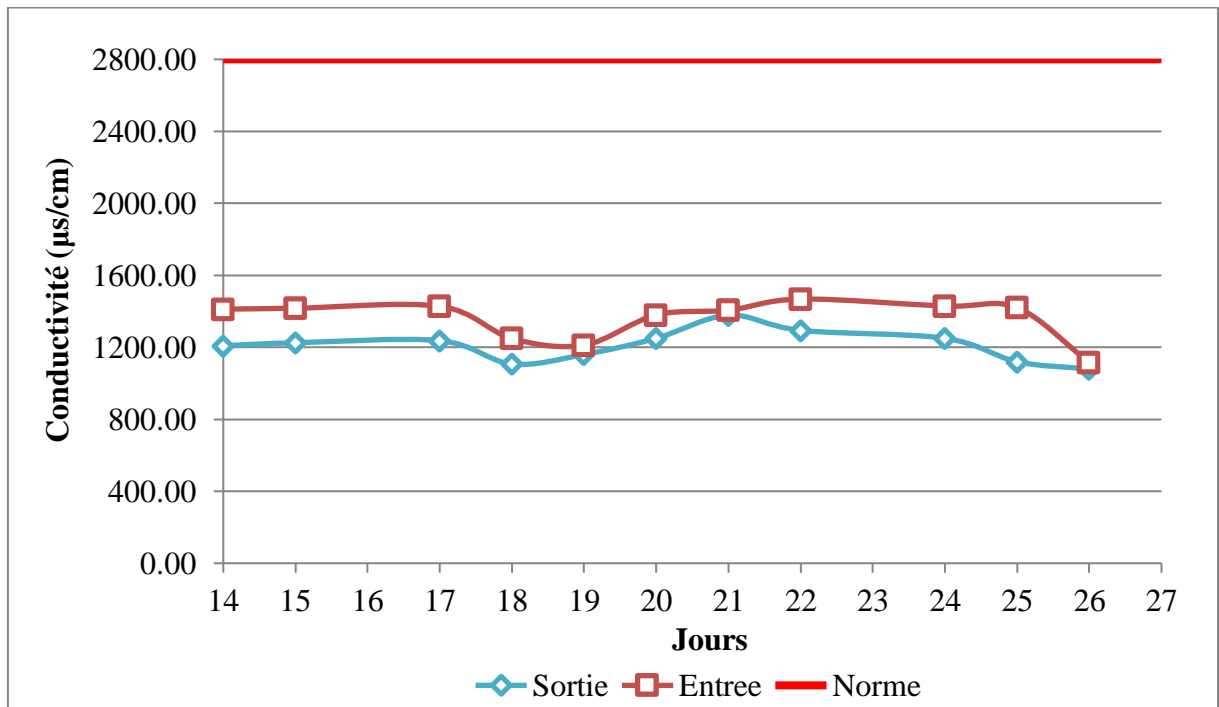


Figure IV. 21: Variation journalière de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).

IV.5.7. La Turbidité :

Les valeurs de la turbidité, d'après la figure IV.22, se situent entre 178 et 312 ftu, avec une moyenne de 255,45 ftu pour l'eau brute, et de 19 à 46 ftu pour l'eau épurée, avec une moyenne de 24 ftu. Après traitement, la valeur diminue considérablement pour atteindre 24 ftu dans les eaux épurées, ce qui est nettement inférieur à la norme algérienne du rejet qui est de 50 ftu.

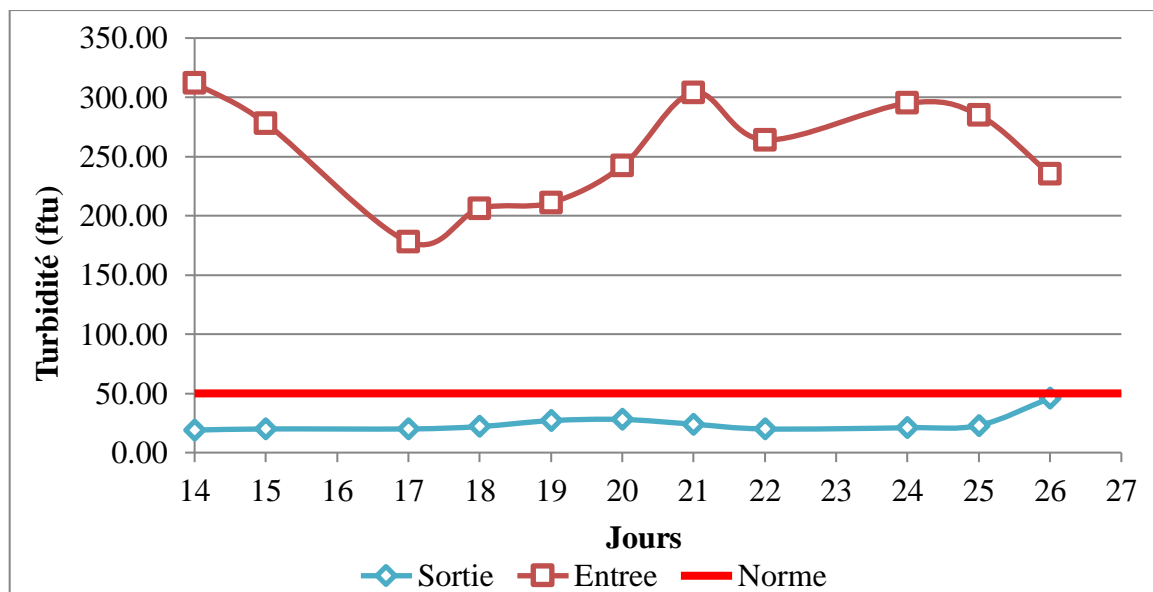


Figure IV. 22: Variation journalière de la turbidité à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).

IV.5.8. O2 dissous :

La figure IV.23 montre que les niveaux d'oxygène dissous varient quotidiennement dans les eaux brutes et les eaux traitées. On observe une concentration moyenne faible (1.00 mg/l) pour les eaux brutes, dans les eaux traitées, le taux d'O2 dissous oscille entre 3,20 mg/l et 4,12 mg/l, avec une moyenne de 3,73 mg/l. Il est clair que les concentrations en oxygène des eaux traitées ont augmenté par rapport aux eaux brutes. On peut expliquer cette augmentation par l'ajout d'aération artificielle.

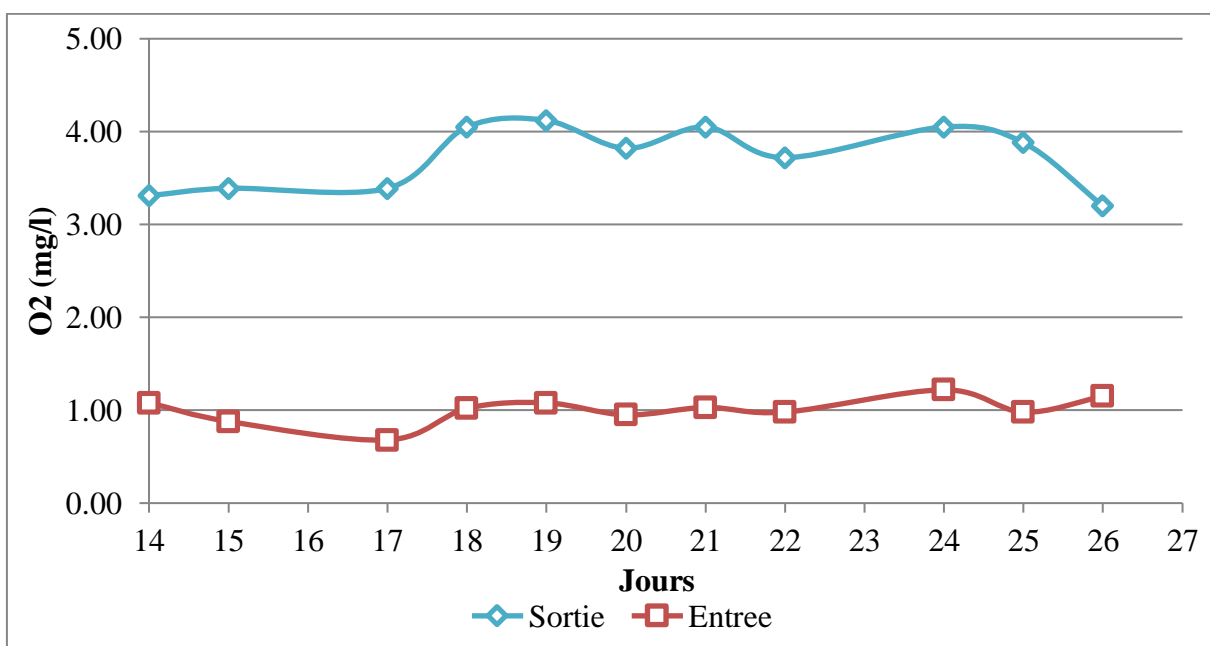


Figure IV. 23: Variation journalière de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).

IV.5.9. Azote ammoniacal NH_4^+ :

La figure IV.24 met en évidence la variation à l'entrée de la station d'épuration, qui oscille entre 45,65 mg/l et 39,94 mg/l pour un total de 43,23 mg/l. Pour les eaux traitées, on trouve des concentrations allant de 32,60 mg/l à 17,90 mg/l, avec une moyenne de 22 mg/l.

L'augmentation est conditionnée par l'origine des eaux usées que nous traitons. C'est la raison pour laquelle la teneur en NH_4^+ de l'eau usée augmente avant le traitement.

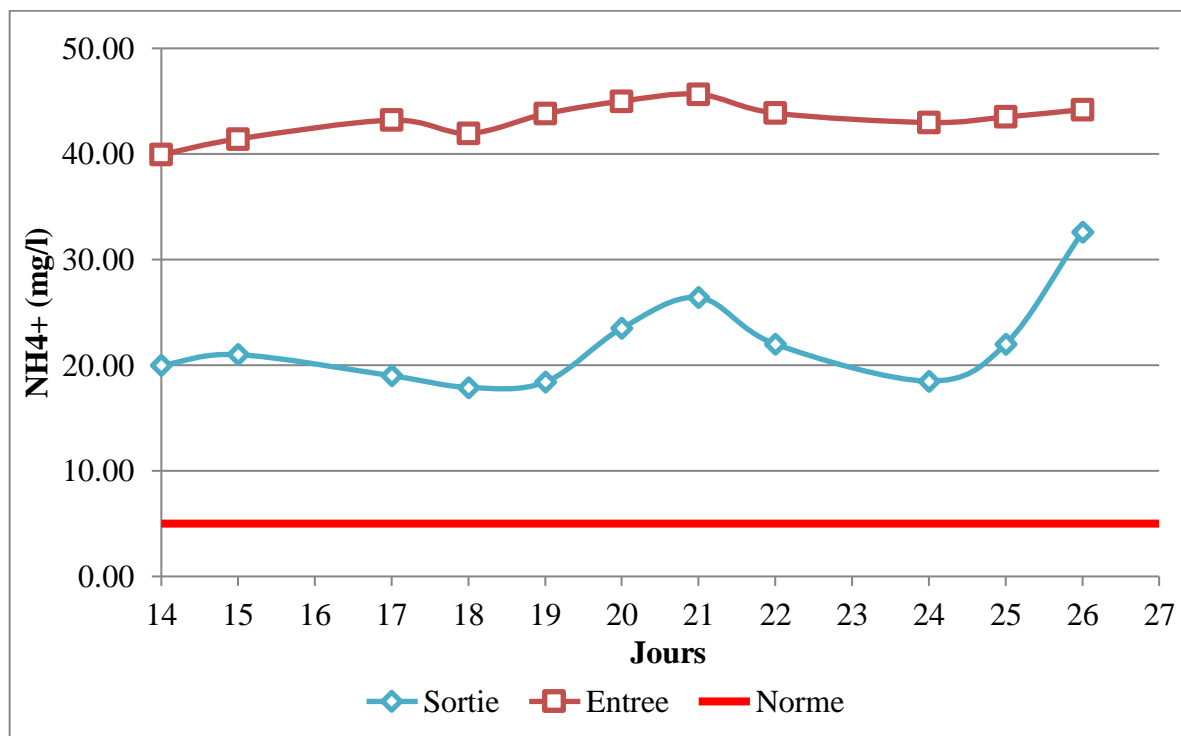


Figure IV. 24: Variation journalière de l'azote ammoniacal à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.10. Nitrate :

En se basant sur les résultats affichés sur la figure IV.25, il est observé que les valeurs des nitrates obtenues d'après les analyses se situent entre 2,40 mg/l et 7,00 mg/l à l'entrée et de 0,25 mg/l à 1,20 mg/l à la sortie, avec une valeur moyenne de 0,66 mg/l.

Les niveaux de nitrates (NO_3^-) dans l'eau traitée sont bien en dessous de la limite établie par l'OMS (soit 10 mg/l).

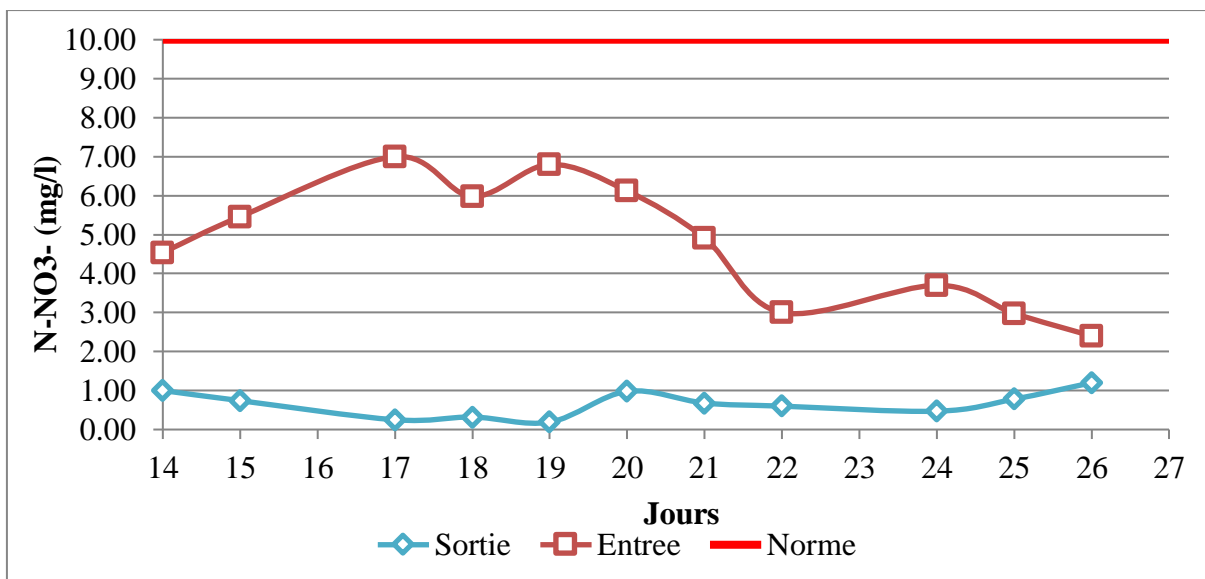


Figure IV. 25: Variation journalière de nitrate à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.11. Nitrite :

D'après les résultats présentés dans la figure IV.26, il est évident que la teneur en nitrite des eaux usées, qu'elles soient brutes ou traitées, est très faible. On observe des valeurs allant de 0,71 mg/l à 0,83 mg/l dans les eaux brutes. Après traitement, les valeurs indiquées varient de 0,30 mg/l à 0,90 mg/l.

L'eau épurée présente des niveaux bien en dessous de la limite fixée pour les eaux d'irrigation (< 1 mg/l).

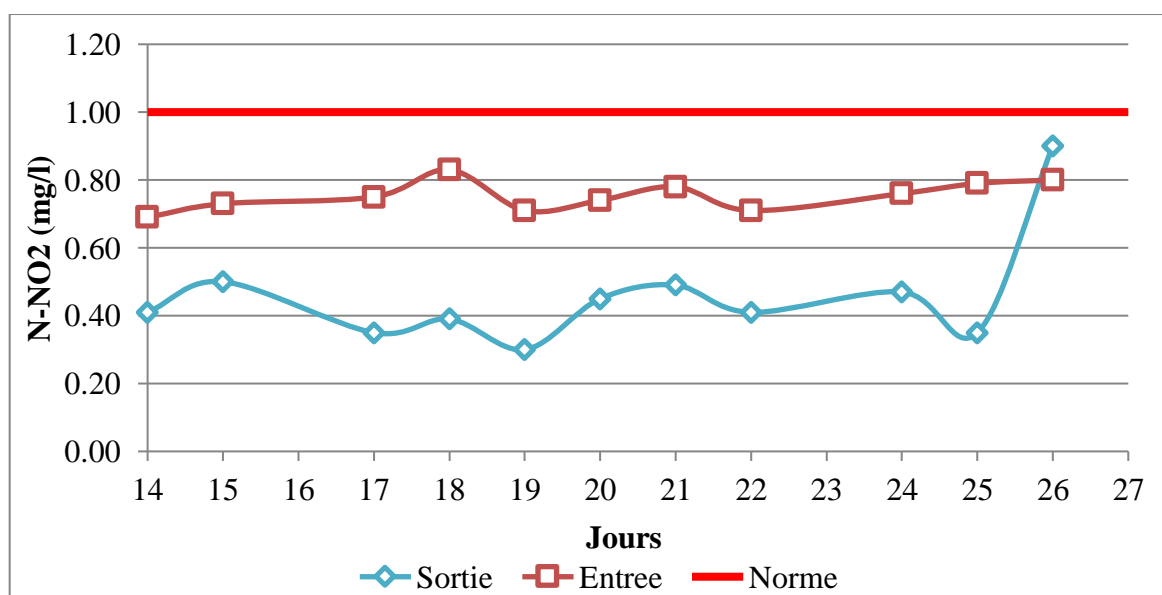


Figure IV. 26: Variation journalière de nitrite à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période du 14 au 27 février 2024).

IV.5.12. Ortho phosphates (PO_4^{-3}):

Selon les résultats présentés dans la figure IV.27, les niveaux d'orthophosphates se situent entre 25,40 mg/l et 31,80 mg/l dans les eaux brutes. En ce qui concerne les eaux épurées, les concentrations se situent entre 12,80 mg/l et 21 mg/l, avec une moyenne de 16,7 mg/l.

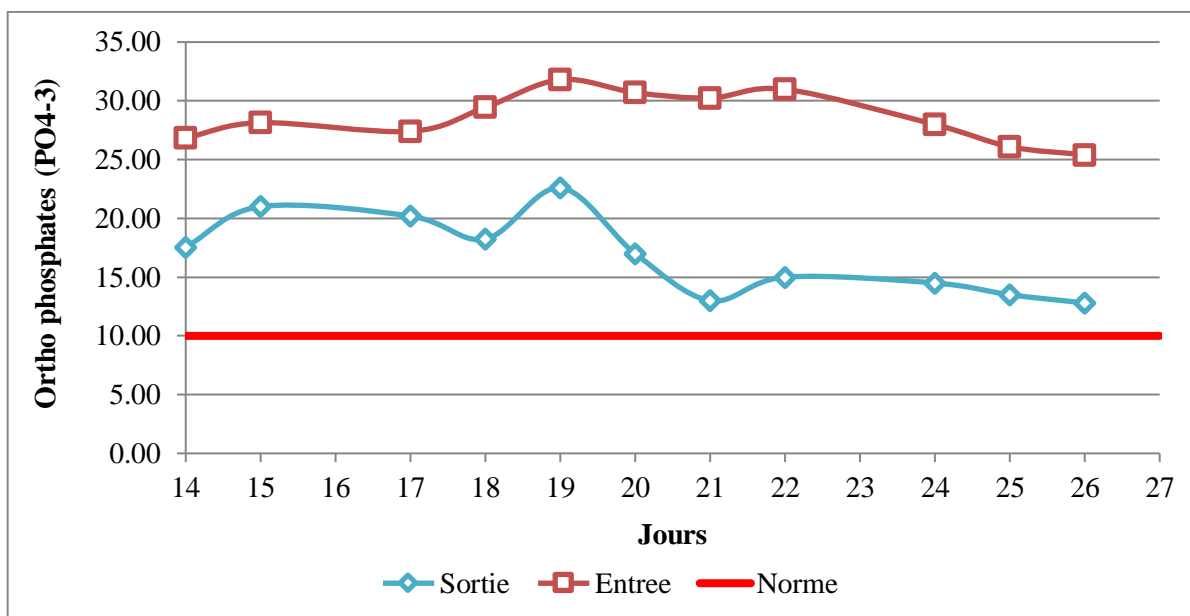


Figure IV. 27: Variation journalière de l'ortho phosphates (PO_4^{-3}) à l'entrée et à la sortie de la STEP (Période 14 au 27 février 2024).

IV.6. Conclusion :

D'après les résultats d'analyses obtenus, on peut constater que la STEP d'Ain El Houtz obtient, dans la plupart des cas, des résultats satisfaisants qui respectent la norme algérienne.

Des résultats épuratoires concluants sont également observables, avec une réduction de 84 % de la demande chimique d'oxygène, de 88 % pour la demande biochimique d'oxygène et de 91 % pour les matières en suspension.

Chapitre V :
Application de l'analyse
Multicritère

V.1. Introduction:

Pour assurer le bon fonctionnement d'une station d'épuration, il est essentiel de bien dimensionner les ouvrages et les équipements etc. lors de sa conception initiale. Cependant, la STEP peut rencontrer des problèmes et des dysfonctionnements à un ou plusieurs niveaux de structures ou d'équipements, ce qui peut impacter sa performance.

Dans ce chapitre, nous avons mis en pratique la méthode d'analyse multicritère hiérarchique AHP (Analytical Hierarchy Process) pour calculer le degré de dysfonctionnement de la station d'épuration des eaux usées d'Ain El Houtz.

V.2. Méthodologie :

Pour réaliser notre étude, nous utilisons cet algorithme (Figure V. 1) :

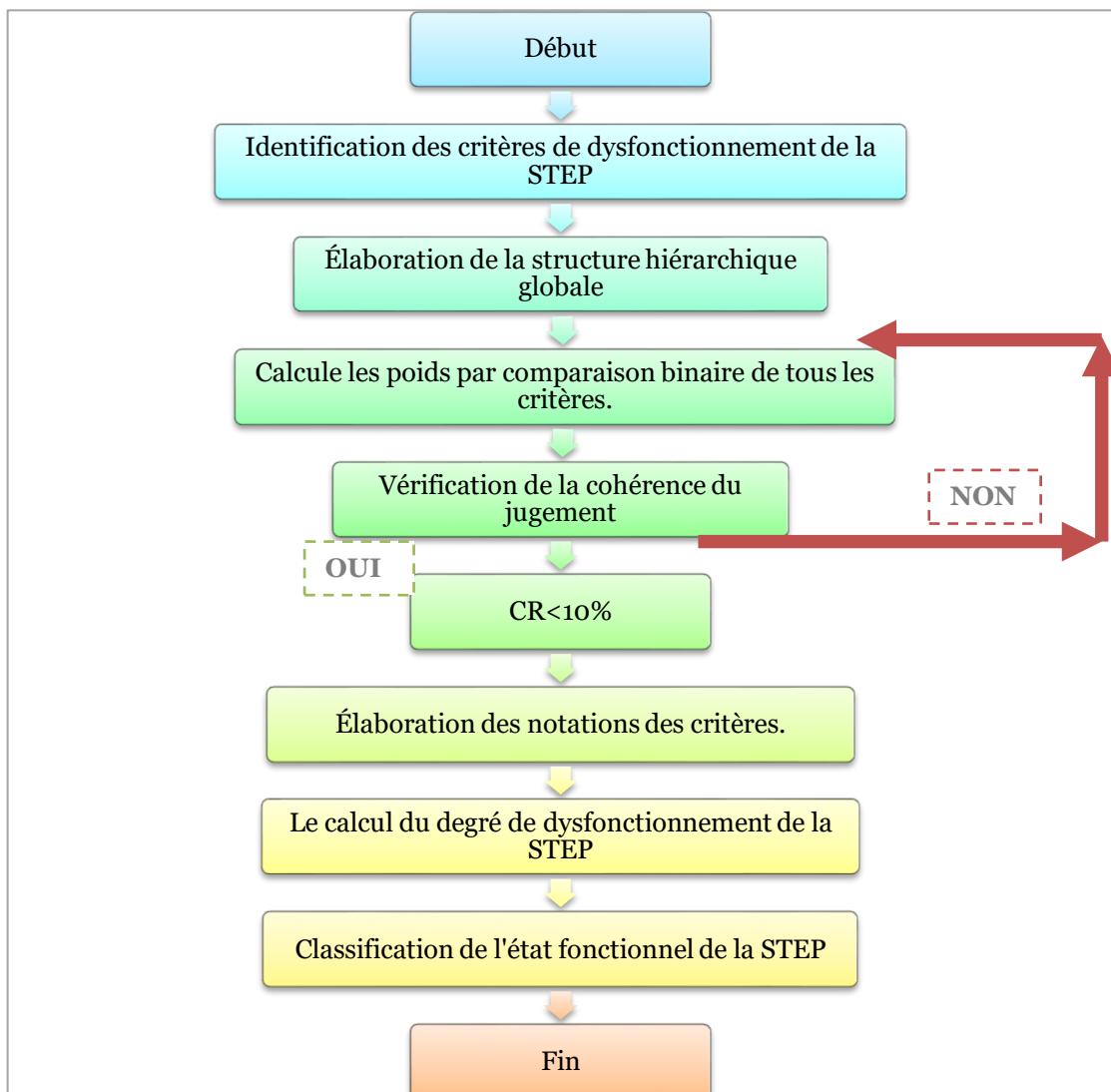


Figure V. 1 : L'algorithme de modèle numérique.

V.3. La structure hiérarchique :

On a mis en place la structure hiérarchique présentée dans la figure V.2. Il y a quatre niveaux dans cette structure :

Niveau 0 : Il s'agit de définir l'objectif de notre problème, qui consiste à évaluer le degré de dysfonctionnement de la STEP de la commune d'El Houtz.

Niveau 1 : Englobe les quatre critères principaux, à savoir les paramètres hydrauliques, les équipements et les produits injectés, les paramètres de pollution et les paramètres de gestion.

Niveau 2 : Définir les sous-critères du critère Les paramètres de pollution.

Niveau 3 : Contient les différents facteurs des sous-critères chimiques et physiques et des critères ; les paramètres hydrauliques, les équipements et les produits injectés, et les paramètres de gestion.

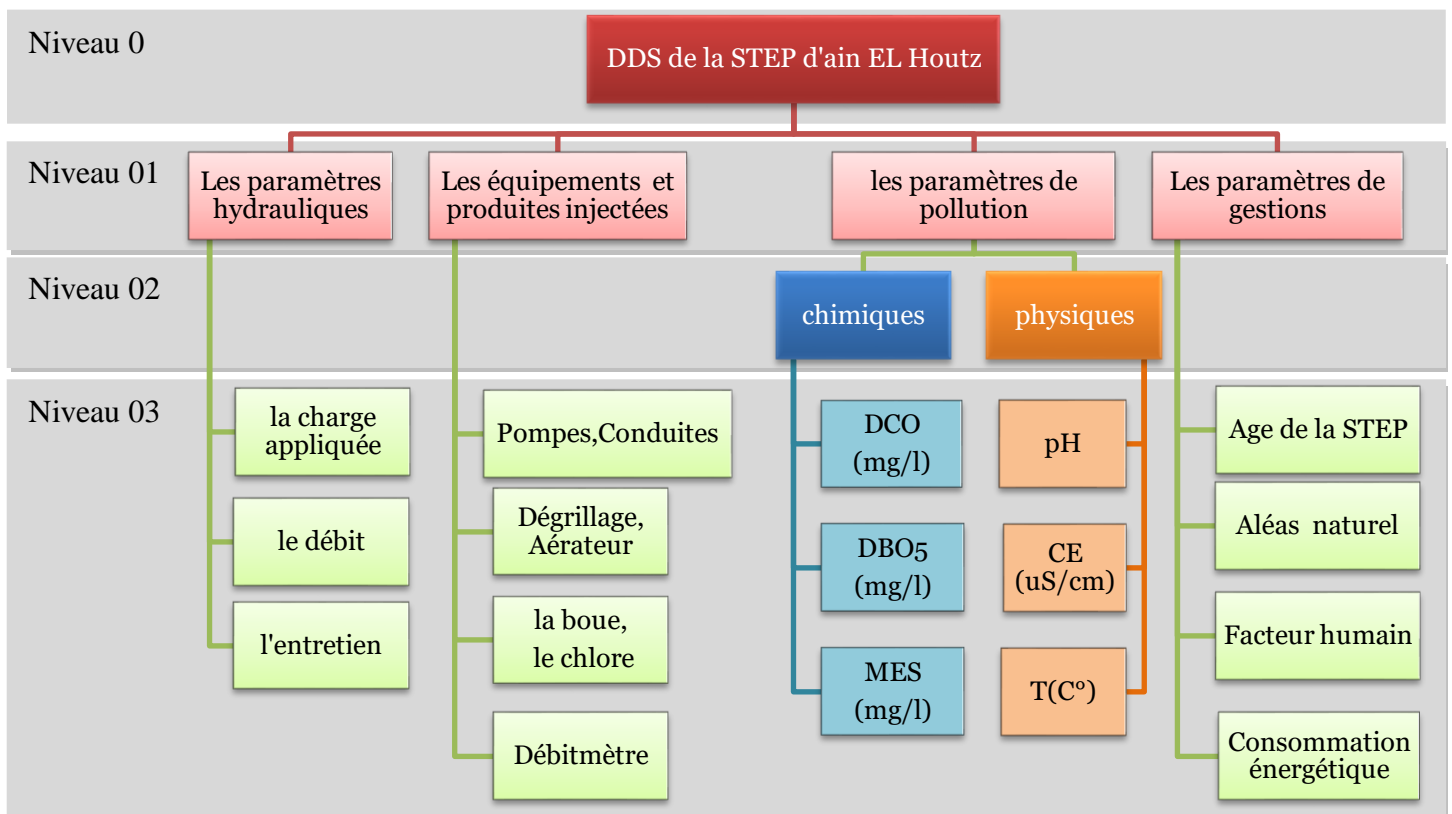


Figure V. 2: La structure hiérarchique de la STEP.

V.3.1. Les indications des critères :

Pour faciliter la lecture, nous avons donné des indices aux critères et sous-critères de notre arborescence (Tableau V.1) :

Tableau V. 1: Les indications des critères et sous critères.

Les critères	Indice	Les sous- critères	Indice
Les paramètres hydrauliques	C1	La charge hydraulique	C1.1
		Le débit	C1.2
		L'entretien	C1.3
Les équipements et produites injectées	C2	Pompes, conduites	C2.1
		Dégrillage, Aérateur	C2.2
		la boue, le chlore	C2.3
		Débitmètre	C2.4
les paramètres de pollution	C3	Chimiques :	C3.1
		DCO	C3.1.1
		DBO5	C3.1.2
		MES	C3.1.3
		Physiques :	C3.2
		pH	C3.2.1
		CE	C3.2.2
		T(C°)	C3.2.3
Les paramètres de gestions	C4	Age de la STEP	C4.1
		Aléas naturel	C4.2
		Facteur humain	C4.3
		Consommation	C4.4
		énergétique	

V.4. Les résultats des comparaisons binaires :

Après avoir établi la structure hiérarchique, il est nécessaire de créer des matrices de comparaison binaire entre les critères afin de leur attribuer un poids. Nous avons identifié 7 matrices qui montrent les comparaisons binaires entre les critères (tableau V.2).

Ensuite, on a élaboré un programme sous Excel pour calculer les poids des critères et vérifier la cohérence des jugements (tableau V.2).

Tableau V. 2: Comparaison binaire des critères, poids et indice de cohérence CR.

Niveau	Comparaison binaire des critères					Poids	CR (%)
	Critères	C1	C2	C3	C4		
Niveau 01	C1	1	1	1	1	0,25	CR=0% IC=0 RI=0,9 Lambda=4
	C2	1	1	1	1	0,25	
	C3	1	1	1	1	0,25	
	C4	1	1	1	1	0,25	

	Critères	C3.1	C3.2				
Niveau 02	C3.1	1	1	0,5	Aucune cohérence de jugement dans une matrice de (2,2)		
	C3.2	1	1	0,5			
	Critères	C1.1	C1.2	C1.3			
	C1.1	1	1	7	0,46	CR=1.64% IC=0,010 RI=0,58 Lambda=3.02	
	C1.2	1	1	5	0,46		
	C1.3	0,14	0,2	1	0,08		
	Critères	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4		
	C2.1	1	3	4	4	0,54	CR=0.9% IC=0,08 RI=0,9 Lambda=4.02
	C2.2	0,3	1	2	2	0,22	
	C2.3	0,25	0,5	1	1	0,12	
	C2.4	0,25	0,5	1	1	0,12	
	Critères	C3.1.1	C3.1.2	C3.1.3			
Niveau 03	C3.1.1	1	1	3	0,43	CR=0 IC=0 RI=0,58 Lambda=3	
	C3.1.2	1	1	3	0,43		
	C3.1.3	0,33	0,33	1	0,14		
	Critères	C3.2.1	C3.2.2	C3.2.3			
	C3.2.1	1	2	5	0,61	CR=7,12% IC=0,041 RI=0,58 Lambda=3,08	
	C3.2.2	0,50	1	5	0,30		
	C3.2.3	0,20	0,2	1	0,09		
	Critères	C4.1	C4.2	C4.3	C4.4		
	C4.1	1	2	5	7	0,52	CR=6.3% IC=0,056 RI=0,9 Lambda=4.12
	C4.2	0,5	1	2	7	0,30	
	C4.3	0,2	0,5	1	1	0,10	
	C4.4	0,1	0,1	1	1	0,07	

V.5. Système de notation des facteurs de la STEP:

Après avoir terminé le calcul des poids, il est essentiel de mettre en place un système de notation pour expliquer l'effet de la variation de chaque critère sur le dysfonctionnement de la STEP. Les notations varient de 0 à 10 en fonction de leur impact sur le dysfonctionnement. Les résultats obtenus sont affichés dans le tableau V.3 :

Tableau V. 3: Système de notation des facteurs de la STEP.

Critère	Caractéristique	Notation
C1	Faible débit, très faible charge appliquée Entretien fréquent.	0
	Débit moyen, faible charge appliquée. Entretien Peu fréquente.	6
	Débit élevé Moyenne et forte charge appliquée Aucun entretien.	10
C2	Si tous les équipements sont en bon état et disponibles	0
	Si l'un des équipements est en mauvais état, avec pièce de rechange disponible.	2
	Si au moins l'un des équipements est en mauvais état avec rupture de stock	10
C3	Si tous les paramètres sont dans les normes de rejets.	0
	Si l'un des paramètres dépasse les normes de rejet.	10
C4	Plus de 100 ans	10
	[80,100]	8
	C4.1 [40,80]	5
	[10,40]	4
	[0,10]	0
	C4.2 Crue pluviale, grève, Arrêt annuel pour entretien,	10
	Epidémie	6
	Rare	0
	C4.3 Personnel qualifié	0
	Personnel peu qualifié	4
	Personnel non qualifié	6
	C4.4 Consommation élevée, pannes électriques fréquentes	7
	Consommation moyenne, pannes électriques Moyennement fréquente	0

V.6. Classification du degré de dysfonctionnement :

Après avoir noté tous les critères et les sous-critères de notre structure hiérarchique, on a classé le degré de dysfonctionnement dans quatre classes pour identifier l'état fonctionnel de la STEP (tableau V.4).

Tableau V. 4: Classification de l'état fonctionnel de la STEP.

Classe	Score de dysfonctionnement	Etats de fonctionnement
1	0-1	fonctionnement sans risque réel ou potentiel
2	1-3	Signes de défaillance légère et stable
3	3-5	Signes de dysfonctionnement avec des développements dangereux
4	5-10	État de dysfonctionnement très critique

V.7. Le calcul du degré du dysfonctionnement :

$$\text{DDS} = \text{Poids} * \text{Notations}$$

Explications :

$$DDS (C1) = \text{Somme de } DDS (C1.1, C1.2, C1.3) * \text{poids } (C1)$$

$$DDS (C2) = \text{Somme de } DDS (C2.1, C2.2, C2.3, C2.4) * \text{poids } (C2)$$

$$DDS (C3) = \text{Somme de } DDS (C3.1.1, C3.1.2, C3.1.3) * \text{poids } (C3.1) + \text{Somme de } DDS (C3.2.1, C3.2.2, C3.2.3) * \text{poids } (C3.2).$$

$$DDS (C4) = \text{Somme de } DDS (C4.1, C4.2, C4.3) * \text{poids } (C4).$$

$$DDS \text{ de la STEP} = \text{Somme des DDS (Critères } C_i) \text{ avec } i=1 \dots 4$$

V.7.1. La simulation du modèle :

Le tableau suivant représente les résultats de simulation de l'état actuel de la STEP durant la période de mars 2024:

Tableau V. 5: La simulation du modèle élaborée pour la STEP.

Critères	Poids	Notations	DDSI	DDS Totale	DDS(Ci)
<i>C1.1</i>	0,46	6	2,7636	6	DDS(C1)=1,5
<i>C1.2</i>	0,46	6	2,7636		
<i>C1.3</i>	0,08	6	0,4727		
<i>C2.1</i>	0,54	0	0,0000	0,7	DDS(C2)= 0,175
<i>C2.2</i>	0,22	2	0,4409		
<i>C2.3</i>	0,12	0	0,0000		
<i>C2.4</i>	0,12	2	0,2432		
<i>C3.1.1</i>	0,43	0	0	0	DDS(C3)=0
<i>C3.1.2</i>	0,43	0	0		
<i>C3.1.3</i>	0,14	0	0		
<i>C3.2.1</i>	0,61	0	0	0	
<i>C3.2.2</i>	0,30	0	0		
<i>C3.3.3</i>	0,09	0	0		
<i>C4.1</i>	0,52	4	2,08	5,61	DDS(C4)=1,4025
<i>C4.2</i>	0,30	10	3,01		
<i>C4.3</i>	0,10	0	0,00		
<i>C4.4</i>	0,07	7	0,51		

Donc le degré de dysfonctionnement de la STEP est de 3,08 qui indiquent d'après le tableau V.4 que l'état de fonctionnement de la STEP a des signes de défaillance légère et stable. Pour vérifier que notre modèle a bonne performance pour la gestion de la STEP, on a essayé de valider ce modèle pour plusieurs cas :

- 1er cas : si on a un débit élevé. Moyenne et forte charge appliquée avec aucun entretien et tous les paramètres de pollution dépassent la norme ; les autres critères sont en bon état :

Tableau V. 6: La 1 ère simulation.

Critères	Poids	Notations	DDSI	DDS Totale	DDS(Ci)
<i>C1.1</i>	0,46	10	4,6061	10	DDS(C1)=2,5
<i>C1.2</i>	0,46	10	4,6061		
<i>C1.3</i>	0,08	10	0,7879		
<i>C2.1</i>	0,54	0	0	0	DDS(C2)= 0
<i>C2.2</i>	0,22	0	0		
<i>C2.3</i>	0,12	0	0		
<i>C2.4</i>	0,12	0	0		
<i>C3.1.1</i>	0,43	10	6,07	10	DDS(C3)=2,5
<i>C3.1.2</i>	0,43	10	3,03		
<i>C3.1.3</i>	0,14	10	0,90		
<i>C3.2.1</i>	0,61	10	4,29	10	
<i>C3.2.2</i>	0,30	10	4,29		
<i>C3.3.3</i>	0,09	10	1,43		
<i>C4.1</i>	0,52	4	2,08	2,08	DDS(C4)=0,52
<i>C4.2</i>	0,30	0	0		
<i>C4.3</i>	0,10	0	0		
<i>C4.4</i>	0,07	0	0		

Cette simulation ça donne un DDS de l'ordre de 5,52 ce qui indique un état critique de la STEP qui engendre l'arrêt de la STEP.

- 2e cas : si on a au moins l'un des équipements est en mauvais état avec rupture de stock avec une crue pluviale et tous les autres critères sont en bon état et dans la norme.

Tableau V. 7: La simulation du deuxième cas.

Critères	Poids	Notations	DDSI	DDS Totale	DDS(Ci)
<i>C1.1</i>	0,46	0	0	0	DDS(C1)=0
<i>C1.2</i>	0,46	0	0		
<i>C1.3</i>	0,08	0	0		
<i>C2.1</i>	0,54	10	5,4	10	DDS(C2)= 2,5
<i>C2.2</i>	0,22	10	2,2		
<i>C2.3</i>	0,12	10	1,2		
<i>C2.4</i>	0,12	10	1,2		
<i>C3.1.1</i>	0,43	0	0	0	DDS(C3)=0
<i>C3.1.2</i>	0,43	0	0		
<i>C3.1.3</i>	0,14	0	0		
<i>C3.2.1</i>	0,61	0	0	0	
<i>C3.2.2</i>	0,30	0	0		
<i>C3.3.3</i>	0,09	0	0		
<i>C4.1</i>	0,52	4	2,08	5,08	DDS(C4)=1,27
<i>C4.2</i>	0,30	10	3		
<i>C4.3</i>	0,10	0	0		
<i>C4.4</i>	0,07	0	0		

Cette simulation ça donne un DDS de l'ordre de 3,77 ce qui indique des signes de dysfonctionnement avec des développements dangereux, donc il faut arrêter la STEP.

À partir de ces deux simulations, nous pouvons conclure que notre modèle est performant pour gérer cette STEP d'Ain El Houtz, afin d'éviter la fermeture de la STEP en prévenant les pannes.

V.8. Conclusion :

En utilisant la méthode AHP, nous avons pu évaluer le degré de dysfonctionnement de la STEP de traitement des eaux usées.

Dans cette étude, nous avons également abordé l'effet des paramètres hydrauliques, des équipements et des produits injectés, des paramètres de pollution et des paramètres de gestion sur le fonctionnement de la STEP. En outre, grâce à une gestion efficace et à des équipements performants, la station d'épuration des eaux usées d'Ain El Houtz fonctionne correctement et ne rencontre pas des problèmes de fonctionnement qui dirigent la STEP vers la fermeture (état critique).

Conclusion

générale

Conclusion générale

L'épuration des eaux usées consiste à éliminer l'eau usée avant de la ramener dans son environnement naturel ou de la réutiliser, dans un objectif de réduire les impacts sur l'environnement et parfois de l'utiliser à l'irrigation. C'est la raison pour laquelle l'homme a créé des stations d'épuration, voire d'autres systèmes d'épuration intensifs ou extensifs, afin de faciliter l'épuration de ces eaux.

En Algérie, les dernières années ont été marquées par un investissement important et croissant dans la lutte contre la pollution, principalement dans le domaine de la préservation et de la valorisation des ressources en eau. Cet engagement s'est matérialisé par une augmentation considérable de l'installation des stations d'épuration des eaux usées, ainsi que par un suivi plus performant de leurs performances.

Habituellement, une station d'épuration est installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle a la capacité d'utiliser plusieurs principes, qu'ils soient physiques ou biologiques. Le plus souvent, le processus est biologique, car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. Différents facteurs ont un impact sur le système d'épuration et peuvent provoquer des dysfonctionnements et des défaillances dans la STEP, mais grâce à la recherche scientifique et à la nouvelle technique, il y a toujours des solutions pour faire face et résoudre ces problèmes.

Dans cette étude, nous avons commencé par étudier une série d'analyses physicochimiques (menées du 14 au 27 février 2024). Effectuée sur les paramètres de pollution de l'eau à l'entrée et à la sortie de cette station d'épuration. D'après les résultats obtenus, nous pouvons affirmer que l'analyse des paramètres de pollution (DBO5, MES, DCO, NO₃⁻, NO₂⁻...) est effectuée en suivant les normes en place et prouvé que les valeurs obtenues respectent les normes de rejet à la sortie de la STEP.

Deuxièmement, nous avons mené une étude pour repérer d'éventuels dysfonctionnements dans la station d'épuration. À ce stade, le processus d'analyse multicritère hiérarchique est appliqué. Grâce à cette méthode, nous avons pu :

- ✓ Exposer tous les problèmes rencontrés par cette station. Quatre critères sont pris en compte et représentés dans des arborescences dans notre cas.
- ✓ On attribue un poids à chaque critère en fonction de son influence sur le dysfonctionnement de la STEP.
- ✓ Les critères de bout de l'arborescence sont affectés aux notations et varient en fonction de leur incidence sur le dysfonctionnement de la STEP.
- ✓ En fin de compte, un degré de dysfonctionnement des facteurs est calculé pour nous renseigner sur le traitement effectué ou non à cette étape.

Enfin, nous avons conclu que la station d'épuration d'Ain el Houtz présente un seul problème, à savoir le manque de débitmètre, qui peut entraîner la fermeture de la STEP en cas de crue pluviale. Cependant, en utilisant le degré de dysfonctionnement que nous avons calculé, nous pouvons conclure que l'état fonctionnel de la STEP est bon, avec de faibles signes de défaillance.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] OMS ; « La santé et les services d’approvisionnement en eau de boisson salubre et d’assainissement de base » ; http://www.who.int/water_sanitation_health/mdgl/en/index.html [Consulté Le 10/02/2024].
- [2] BENAHCENE. A & BENZINA. H, Contribution à l’évaluation de la performance épuratoire de la station d’épuration des eaux usées de la station d’Ain Defla, Université A. BELKAID Tlemcen, 2018.
- [3] <https://www.aps.dz/economie/136888-le-volume-des-eaux-usees-epurees-estime-a-500-millions-m3-an/> [Consulté Le 10/02/2024].
- [4] BISINELLA DE FARIA ANA BARBARA; Development of an integrated approach for wastewater treatment plant optimization based on dynamic modeling and environmental assessment; Thèse de doctorat; Chemical and Process Engineering; INSA de Toulouse; 2016.
- [5] GAID. A ; « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I » ; édition OPU ; Alger ; 1984.
- [6] REGSEK. F ; analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques ; Edition scrérén CRDPA quintaine ; Bordeaux ; 2002.
- [7] LARAB. S ; La réutilisation des eaux usées traités en agriculture à partir de la station d’épuration (Ain Bouchakif) de la wilaya de Tiaret ; Université Mohamed khider Biskra ; 2019.
- [8] RODIER. J ; « L’analyse de l’eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer » ; 8ème édition ; Paris ; DUNOD technique ; 2005.
- [9] «Dictionnaire de l’environnement », Dictionnaire Environnement https://www.dictionnaire-environnement.com/eau_usee_non_traitee_ID5307.html; 2010 ; [Consulté Le 15/02/2024].
- [10] <https://wikimemoires.net/2019/11/les-eaux-usees-definition-origine-et-composition/> [Consulté Le 15/02/2024].
- [11] BOUMEDIENE. M.A ; Bilan de suivi des performances de fonctionnement d’une station d’épuration a boues actives : cas de la step d’Ain El Hout ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2013.
- [12] ABDELKADER. G ; « épuration biologique des eaux usées » ; Tom1 ; 1984.

- [13] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/la-pollution-de-leau/pollution-ressource-eau-commentreduire/#:~:text=La%20pollution%20chimique,hydrocarbures%20utilis%C3%A9s%20dans%20l'industrie/> [Consulté Le 15/02/2024].
- [14] MIZI. A ; Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles ; Thèse de doctorat ; Université de Badji Mokhtar ; Annaba ; 2006.
- [15] https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degradation/11_pollution.htm/ [Consulté Le 16/02/2024].
- [16] MEKHALIF. F ; « Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement » ; Mémoire de magister ; 2009.
- [17] TEBIB. F ; Evaluation des performances épuratoires de la STEP de Groupement Reggane Nord GRN ; Université Ahmed DRAÏA Adrar ; 2020.
- [18] BENELMOUAZ. A ; « Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia » ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2015.
- [19] LADJEL. F ; « Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02 » ; Centre de formation au métier de l'assainissement ; CFMA-Boumerdes ; 2006 ; P80.
- [20] <https://fr.hach.com/parameters/toc#:~:text=Le%20carbone%20organique%20total%est,dissoute%2C%20en%20suspension%20ou%20liquide/> [Consulté Le 16/02/2024].
- [21] GAÏ. A ; « Traitement des eaux résiduaires » Techniques de l'Ingénieur ; C 5 220 ; 2008.
- [22] DESJARDINS. R ; « Traitement des eaux » ; deuxième édition ; Montréal ; 1997.
- [23] HANNOUCHE. A ; Analyse du transport solide en réseau d'assainissement unitaire par temps de pluie : exploitation de données acquises par les observatoires français en hydrologie urbaine ; Université PARIS-EST ; Paris ; 2012.
- [24] HAYZOUN. H ; Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou ; Thèse de Doctorat d'école doctorale meret sciences ; Toulos ; France ; 2014.
- [25] RODIER. J ; L'analyse d l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ; 8 ème édition ; DUNOD ; Paris ; 2005.
- [26] Mr. TOUBAL ; Cours qualité et traitement des eaux ; Master 1 en eau environnement ; Université HASSIBA Benbouali ; Chleff.
- [27] BANZAOUÏ. A & ELBOUZ. F ; Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt ; Mémoire ; Ing chimie ; Université BADJI Mokhtar Annaba ; 2009.

- [28] GOMELLA. C & GEURREE. H ; Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales ; Tome 2 ; Edition : Ayrolles ; Paris (France) ; 1983.
- [29] <https://www.huber.de/fr/produits/degrillage/degrilleurs-verticaux-tamis-a-champs-filtrant/huber-degrilleur-droit-a-raclage-continu-rakemaxr.html>
[Consulté Le 26/02/2024].
- [30] OBEID. L ; Synthèse et caractérisation de matériaux magnétiques pour l'adsorption de polluants présents dans les eaux ; Chimie organique ; Université Pierre et Marie Curie - Paris VI ; 2014.
- [31] MAHDJAR. M ; Etude des performances de la station d'épuration de la ville d'Ouargla ; Mémoire de master ; Université KASDI MERBAH ; Ouargla ; 2016.
- [32] <https://estruagua.com/fr/produits/pont-degraisseur-dessableur-longitudinal-longbri/>.
[Consulté Le 26/02/2024].
- [33] SID. S; Intensive biological processes are increasingly used in wastewater field due to their principles to operate on a reduced surface and produce good quality waters; Chimie; These de doctorate; Université de Montpellier; 2017.
- [34] HAMIDI. A ; Utilisation des matériaux locaux en épuration des eaux usées ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2023.
- [35] TEBIB. F ; Evaluation des performances épuratoires de la STEP de Groupement Reggane Nord GRN ; Université Ahmed DRAÏA Adrar ; 2020.
- [36] TALEB. M. K ; État de l'assainissement d'une zone côtière Analyses et perspectives d'aménagement Cas: Commune d'Ain El Türk ; Mémoire de magister en sciences de l'environnement et climatologie ; Université d'Oran, 2006.
- [37] RGDS ; SATIN. M & BELMI. S ; RUBRIQUE GUIDE DES SERVICES ; (: Agence de l'eau seine-Normandie ; Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités ; Nanterre ; 2002.
- [38] DHAOUADI. H ; Traitement des eaux usées urbaines, les procédés biologiques d'épuration ; Thèse ; Université Virtuelle de Tunis ; 2008.
- [39] BOUMEDIENE. M ; Cours épuration et réutilisation des eaux usées ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2023.
- [40] KHECHIBA. I & MAHI. A ; Etude diagnostique de la station d'épuration d'Ain El Houtz : réhabilitation de filières existantes et étude de filières à mettre en place ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2016.
- [41] <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-boues-liquides/epaississement/epaaisseur-statique> ; [Consulté Le 11/03/2024].

- [42] “Analyse Multicritères” ; <http://www.faq-logistique.com/Multicriteres.htm> ; [Consulté Le 15/03/2024].
- [43] KULAKOWSKI. K ; « Under standing the Analytic Hierarchy Process » ; Undress. Anal. Hierarchy Process, no. 2012, 2020 ; 10.1201/b21817.
- [44] KAZI TANI. A ; « La modélisation des préférences du décideur dans le modèle du goal programming » ; Thèse de doctorat en science de gestion ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2009 ; P 31-33.
- [45] BOUBEKEUR. R; Analyse multicritère d'aide à la décision ; mémoire master ; UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS – MOSTAGANEM ; 2017.
- [46] PEREYRA-ROJAS. M; “An Introduction to the analytic hierarchy processed using super decision; “Practical decision making”; 2017.
- [47] DIB. I.Z & YADI. S ; Application de l’analyse multicritères pour la classification chimique de quelques eaux minérales algériennes commercialisées ; mémoire master ; Université A. BELKAID Tlemcen ; 2020.
- [48] THOMAS. L.S; Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary?; European Journal of Operational Research; Volume 145, Issue 1; 16 February 2003; Pages 85-91.
- [49] GOUAREH. A & SETTOU. B & SETTOU. N; “A new geographical information system approach based on best worst method and analytic hierarchy process for site suitability and technical potential evaluation for large-scale CSP on-grid plant: An application for Algeria territory”; Energy Converse; Manage; 2021.
- [50] Wei-Wen Wu & Yu-Ting Lee; Developing global managers’ competencies using the fuzzy DEMATEL method ; International Trade Department; Ta Hwa Institute of Technology; 1.Ta Hwa Road, Chiung-Lin, Hsin-Chu 307 ; Taiwan.
- [51] ALIREZA. A & MOJAHED. M et ROSNAH. M.Y; Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem; International Journal of Innovation, Management and Technology; 2010.
- [52] TAIBI. B; La méthode PROMETHEE comme outil d’aide à la décision multicritère ; Revue Algérienne d’Economie et de Management ; Université de Saida ; 2017 ; P 9.
- [53] ONA ; Office nationale de l’assainissement de Tlemcen ; 2006.
- [54] BENAÏSSA. A& BERRACHED. K, Modélisation de la performance d’une station d’épuration par le processus d’analyse hiérarchique, cas de la station d’épuration du complexe DENITEX –Sebdou -, Université A. BELKAID Tlemcen, 2021.