

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
— جامعة سعيدة — د. الطاهر مولاي
UNIVERSITÉ DESAÏDA— Dr MOULAY TAHAR — Faculté des Sciences et de la
Technologie
Département de Génie Civil & Hydraulique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Hydraulique
Spécialité : « Hydraulique Urbaine »

THEME

**Optimisation des procédés de traitement des eaux usées
pour une réutilisation durable des eaux épurées en
milieu urbain**

-Cas de la STEP de Saida-

Présente par :

Mr. SEHBI Ahmed

Mr. ZAOUI Marouane

Membres du jury

Dr. REKRAK Zakarya
Dr. OUIS Saliha
Dr. ZAIRI Souad

Maître de conférences B
Maître de conférences B
Maître de conférences B

Université Dr. Moulay Tahar de Saida Président
Université Dr. Moulay Tahar de Saida Examineur
Université Dr. TAHAR Moulay de Saida Encadrant

Année Universitaire : 2024 – 2025

Remerciement

Ce mémoire est le fruit d'un travail collectif et d'un soutien inestimable que nous tenons à saluer sincèrement.

Un immense merci à notre encadrante, **Madame Zairi**, dont les conseils avisés, la disponibilité et la bienveillance ont été une source de motivation constante.

Notre gratitude va à l'équipe de l'Office national d'assainissement (ONA), et particulièrement à Monsieur **Nabi W.**, Madame **Souidi S.** et Madame **Guerroudj H.**, pour leur collaboration et les informations précieuses partagées.

Nous remercions chaleureusement docteur **Drisse Khoudja F.** pour son apport scientifique.

Un grand merci également au directeur de la STEP de Béchar ainsi qu'aux ingénieurs Monsieur Toufik et Monsieur Ayoub pour leur précieuse aide et leur accueil.

Nous sommes redevables à la direction de l'Hydraulique, représentée par Monsieur **MohendAmer H.** et Mademoiselle **Othmani K.**, pour leur appui.

Nos remerciements s'adressent aussi au vice-doyen de la faculté SNV et à monsieur **Ahmed**, responsable du laboratoire, pour leur soutien.

Merci aux responsables des stations de traitement pour leur collaboration.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance au chef de département et tous les enseignants de la filière hydraulique, qui ont façonné nos connaissances et nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire.

Dédicace

Ahmed

À mes chers parents, vous êtes les phares de ma vie, ma force et ma source d'inspiration. Ce succès est le fruit de votre amour inconditionnel et de vos sacrifices.

À mes sœurs et à mon frère, votre soutien et votre présence ont été un réconfort précieux et une motivation constante tout au long de ce parcours.

À mon binôme **Zaoui Marouane**, ta sincère collaboration et ta confiance en moi ont été un appui essentiel. Merci d'avoir toujours été là.

À **Aber Mohamed, Charef Khelifa** et à tous mes collègues de travail, merci pour votre aide précieuse, votre compréhension et votre soutien tout au long de cette aventure. Grâce à vous, j'ai pu me consacrer pleinement à mes études et à la réalisation de ce mémoire.

Avec toute ma gratitude et mon amour.

Dédicace

Marouane

Ce mémoire est dédié à mes chers parents, pour leur amour infini et tous les sacrifices qu'ils ont faits. Leur soutien m'a permis de réaliser ce projet.

À mes frères et mes sœurs, Merci pour votre appui constant et les moments partagés qui ont rendu ce parcours plus agréable.

À mes amis, je suis reconnaissant pour votre amitié précieuse, votre écoute et les bons souvenirs qui m'ont donné la force de persévérer.

À mon binôme, Ahmed, Merci pour ton aide et ta collaboration durant ce travail, ton soutien a été précieux.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans une démarche d'évaluation de la qualité des eaux usées épurées par la station d'épuration (STEP) de Saïda, dans la perspective de leur réutilisation ou de leur rejet maîtrisé dans le milieu naturel.

Les analyses physico-chimiques ont montré des taux d'abattement très satisfaisants : plus de 90 % pour la DBO₅, la DCO et les MES, traduisant une bonne performance des traitements biologiques. Cependant, les résultats bactériologiques révèlent une non-conformité importante, présence de coliformes totaux et fécaux (1100 UFC/100 mL) et de *Escherichia coli*, dépassant largement les normes autorisées.

Ces résultats montrent que le traitement secondaire seul reste insuffisant pour assurer la qualité sanitaire requise, en particulier pour une réutilisation agricole ou industrielle. Il est donc urgent d'intégrer un traitement tertiaire, combinant filtration sur disques et désinfection par rayons UV, afin de garantir une eau dépourvue de pathogènes.

Enfin, au vu du débit traité dépassant la capacité nominale, une extension ou une réhabilitation de la STEP s'impose pour répondre durablement aux enjeux environnementaux, sanitaires et hydriques de la région de Saïda.

Mots-clés : Eaux usées épurées ; STEP boues activées ; Analyses bactériologiques ; Traitement tertiaire ; Filtration ; Désinfection UV ; Réutilisation des eaux épurées.

Abstract

This work is part of an effort to evaluate the quality of treated wastewater from the Saïda wastewater treatment plant (WWTP), with a view to its reuse or controlled discharge into the natural environment.

Physicochemical analyses showed very satisfactory removal rates: over 90% for BOD₅, COD, and suspended solids (SS), reflecting good performance of the biological treatment processes. However, the tests for bacteria showed serious problems, with high levels of total and fecal coliforms (1100 CFU/100 mL) and *Escherichia coli*, which are much higher than the allowed limits.

These findings show that secondary treatment alone is insufficient to meet the required sanitary standards, particularly for agricultural or industrial reuse. It is therefore urgent to implement tertiary treatment, combining disk filtration and UV disinfection, to ensure water free from pathogens.

Finally, considering the treated flow exceeds the nominal capacity, an extension or rehabilitation of the WWTP is essential to sustainably meet the environmental, sanitary, and water-related challenges of the Saïda region.

Keywords: Treated wastewater; Activated sludge WWTP; Bacteriological analyses; Tertiary treatment; Filtration; UV disinfection; Reuse of treated wastewater.

ملخص

ندرج هذا العمل في إطار تقييم جودة المياه العادمة المعالجة في محطة التطهير (STEP) بسعيدة، بهدف إعادة استخدامها أو تصريفها بشكل مضبوط في الوسط الطبيعي.

أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية نسب إزالة مرضية للغاية، تجاوزت 90٪ بالنسبة لـ DBO₅ ، DCO والمواد العالقة (MES)، مما يعكس أداءً جيدًا للمعالجة البيولوجية. ومع ذلك، كشفت النتائج البكتريولوجية عن عدم مطابقة كبيرة، من خلال وجود القولونيات الكلية والبرازية (1100 وحدة مكونة للمستعمرات/100 مل) وإيشيريشياكولاي، وهو ما يتجاوز بكثير الحدود المسموح بها.

تُظهر هذه النتائج أن المعالجة الثانوية وحدها غير كافية لضمان الجودة الصحية المطلوبة، خاصة في حال إعادة الاستخدام الفلاحي أو الصناعي. لذلك من الضروري إدماج معالجة ثالثية تجمع بين الترشيح بالأقراص والتطهير بالأشعة فوق البنفسجية لضمان الحصول على مياه خالية من مسببات الأمراض.

وأخيرًا، ونظرًا لتجاوز التدفق المعالج للطاقة التصميمية للمحطة، فإن التوسعة أو إعادة تأهيل محطة التطهير أمر ضروري لمواجهة التحديات البيئية والصحية والمائية في منطقة سعيدة بشكل مستدام.

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة المعالجة؛ محطة معالجة مياه الصرف الصحي الحماة المنشطة؛ التحاليل البكتريولوجية؛ المعالجة الثلاثية؛ الترشيح؛ التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية؛ إعادة استخدام المياه المعالجة.

sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Analyse et caractérisation des eaux usées urbaines.....	03
I.1 Introduction.....	03
I.2 Définition et origine des eaux usées.....	03
I.3 Importance du traitement des eaux usées.....	03
I.4 Étapes du traitement des eaux usées.....	04
I.5 Réutilisation des eaux usées traitées.....	04
I.6 Cadre réglementaire et défis.....	04
I.7 Paramètres généraux relatifs aux eaux usées.....	05
I.7.1 Paramètres organoleptiques.....	05
I.7.1.1 La couleur.....	05
I.7.1.2 L'odeur.....	05
I.7.2 Paramètres physico-chimiques.....	06
I.7.2.1 La température.....	06
I.7.2.2 Le potentiel d'hydrogène (pH).....	06
I.7.2.3 La conductivité électrique (EC).....	06
I.7.2.4 La turbidité.....	07
I.7.2.5 Les matières en suspension (MES)	07
I.7.2.6 Le carbone organique total (COT)	07
I.7.2.7 La demande chimique en oxygène (DCO).....	07
I.7.2.8 Les substances nutritives.....	08
I.7.3 Paramètres biologiques.....	10
I.7.3.1 La demande biochimique en oxygène (DBO).....	10
I.7.3.2 Indice de biodégradabilité (K)	10
I.7.4 Paramètres microbiologiques.....	10
I.7.4.1 Bactéries.....	11
I.7.4.2 Virus.....	11
I.7.4.3 Protozoaires.....	11
I.7.4.4 Helminthes.....	11
I.8 L'équivalent habitant.....	11
I.9 Origine et risques des micro-organismes dans les eaux résiduaires.....	12
I.10 Les normes des eaux de rejet.....	13
I.10.1 Normes internationales.....	13
I.10.2 Normes algériennes.....	13
I.11 Impact sur l'environnement et la santé humaine.....	14
I.11.1 Impact environnemental.....	14
I.11.2 Impact sur la santé humaine.....	15
I.12 Conclusion.....	15
Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées	16
II. 1 Introduction.....	17
II.2 Les étapes de traitement des eaux usées.....	17
II.2.1. Prétraitement.....	19
II.2.1.1 Dégrillage.....	19
II.2.1.2 Dessablage.....	19
II.2.1.3 Dégraissage-déshuilage.....	19
II.2.2 Traitement primaire.....	20
II.2.2.1 La décantation (processus physique).....	20
II.2.2.2 La flottation (processus physique).....	20
II.2.2.3 La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant- flocculant (voie physicochimique)	20
II.2.3 Traitement secondaire.....	21
II.2.3.1 Le traitement secondaire anaérobie.....	21
II.2.3.2 Le traitement secondaire aérobie.....	21

sommaire

II.2.3.2.1 Les procédés à culture fixée.....	21
II.2.3.2.2 Procédés à cultures libres.....	24
II.2.4. Traitement tertiaire.....	26
II.3 Conclusion.....	27
Chapitre III : Traitement tertiaire&Réutilisation des eaux usées épurées.....	28
III.1 Introduction.....	29
III.2 Réutilisation des eaux usées épurées (reue).....	29
III.2.1 La REUE dans le secteur industriel.....	30
III.2.2 La REUE en milieu urbain.....	31
III.2.3 Production d'eau potable.....	32
III.2.4 Recharge de nappes souterraines.....	32
III.2.5 La REUE dans le secteur agricole.....	33
III.3 Classes de qualité des eaux usées traitées.....	34
III.4 Les risques sanitaires de la reue.....	35
III.5 Traitement tertiaire.....	37
III.5.1 Interprétation par procédé.....	39
III.5.2 Elimination de l'Azote et du Phosphore.....	41
III.5.3 Elimination des pathogènes.....	42
III.5.4 Les procédés de traitement tertiaire.....	44
III.5.4.1 Procédé d'élimination des matières en suspension et des matières organiques colloïdales (la Filtration).....	44
III.5.4.2 Pour Elimination des pathogènes (La désinfection).....	47
III.5.5 Comparaison des techniques de désinfection.....	54
III.6 Conclusion.....	54
Chapitre IV : Approche expérimentale d'optimisation.....	55
IV.1 Introduction.....	56
IV.2 Matériels et méthodes.....	56
IV.2.1 Situation géographique de la zone d'étude	56
IV.2.2 Situation de l'alimentation en eau potable dans la commune de Saïda.....	57
IV.2.3 État de l'assainissement dans la wilaya de Saïda.....	58
IV.2.4 Situation de l'activité agricole de la wilaya de saida.....	59
IV.2.5 Situation de l'épuration des eaux usées	59
IV.2.5.1 Objectifs de la STEP de Saïda.....	60
IV.2.5.2 Principe de fonctionnement de la station d'épuration (STEP) de Saïda.	61
IV.2.6 Caractéristiques Qualitatives de l'Effluent Traité de la STEP de Saïda...	63
IV.2.7 Analyse bactériologique d'eau épurée.....	63
IV.2.7.1 Indicateurs microbiologiques principaux.....	63
IV.2.7.2 Méthodologie des analyses bactériologiques.....	64
IV.3 Résultats et discussions.....	68
IV.3.1 Analyses physico-chimiques.....	68
IV.3.2 Analyses bactériologiques.....	69
IV.3.3 Traitement tertiaire.....	70
IV.3.3.1 Le procédé tertiaire proposé pour la STEP de Saida.....	71
IV.3.3.2 Dimensionnement de l'installation.....	71
IV.3.3.3 Schéma fonctionnel et fonctionnement global.....	74
IV.3.3.4 Validation des essais biologiques de la désinfection par UV.....	75
IV. 4 Conclusion.....	76
Conclusion générale.....	77

Liste des figures

Figure II.1: Présentation d'un schéma fonctionnel des filières de traitement des eaux usées destinées à la réutilisation	18
Figure II.2: Schéma simplifié du système à lit bactérien (Pasquini, 2013).....	22
Figure II.3: Schéma simplifié du procédé à disques biologiques(Pasquini, 2013).....	23
Figure II.4 Schéma simplifié d'une station de lagunage naturel(Pasquini, 2013).....	25
Figure II.5 Schéma simplifié d'un système à boues activées(Pasquini, 2013).....	26
Figure III.1 La réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement (Baumont et al. 2004).....	30
Figure III.2 Les différents paramètres à traiter en fonction de la réutilisation souhaitée (Ecosse ,2001).....	36
Figure III.3 Classification des particules et efficacité des différentes membranes de filtration (MESLEM, 2024).....	45
Figure III.4 Les matériaux utilisés pour la filtration (MESLEM, 2024).....	46
Figure III.5 Ordre de résistance des micro-organismes aux désinfectants (MESLEM, 2024).....	48
Figure III.6 Principe de production d'ozone par décharge électrique (MESLEM, 2024).....	49
Figure III.7 Longueurs d'onde des rayonnements électromagnétiques utilisés en désinfection UV (MESLEM, 2024).....	50
Figure III.8 Mécanisme d'action des rayonnements UV sur les micro-organismes (MESLEM, 2024).....	53

Liste des tableaux

Tableau I.1 Caractère de l'effluent déterminé par le ratio (K) et la fraction de DBO5 (Cardot, 2010).....	10
Tableau I.2 Concentrations de microorganismes dans les eaux résiduaires (WHO., 2017).....	12
Tableau I.3 Normes de rejets internationales (WHO.,1971).....	13
Tableau I.4 Les normes Algériennes de rejets des effluents liquides (JORA., 2006).....	14
Tableau III.1 Classes de qualité des eaux usées traitées (Brice, 2015).....	35
Tableau III.2 Performances (en %) des différents traitements tertiaires (Boutin & al, 2009).....	39
Tableau III.3 Comparaison des principaux procédés tertiaires de traitement des eaux usées (Tchobanoglous, G et al, 2014)	40
Tableau III.4 Performance des différentes filières de traitements (BA + traitement tertiaire) permettant une.... eau de qualité A (Boutin & al, 2009).	41
Tableau III.5 Composition microbiologique d'une eau résiduaire urbaine (Brice, 2015).	43
Tableau III. 6 Les équipements de filtration	46
Tableau III.7 Facteurs influençant la dose UV (MESLEM, 2024).....	52
Tableau III.8 Comparaison des procédés de traitement tertiaire.....	54
Tableau IV.1 Normes de Rejet Garanties par la STEP de Saïda.....	63
Tableau IV.2 Une moyenne des charges calculée pour les analyses physico-chimiques de STEP SAIDA de 4 mois (Janvier, février, mars, Avril).	68
Tableau IV.2 Résultats des analyses bactériologiques des eaux épurées de la STEP de Saïda 9/6/2025	69
Tableau IV.3 Dose UV minimale requise pour l'inactivation microbiologique selon les recommandations internationales	74

Liste des abréviations

WHO	World Health Organisation
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
AFNOR	Association Française de Normalisation
°C	Degré Celsius
pH	Potentiel Hydrogène
EC	Conductivité électrique
TDS	Solides dissous totaux
UNT	Unités céphalométriques de turbidité
MES	Matières en suspension
COT	Carbone organique total
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
ETM	Eléments traces métalliques
K	Coefficient de biodégradabilité
EH	Equivalent habitant
UFC	Unités Formant Colonies par 100 millilitres
ISO	Organisation internationale de normalisation
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
AGV	Acides gras volatils
REUE	Réutilisation des eaux usées épurées
RNDE	Réseau national des données sur l'eau
STEP	Station d'Épuration des eaux usées
MF	Microfiltration
UF	Ultrafiltration
NF	Nano filtration
OI	Osmose inverse
UV	Ultraviolet
ADN	Acide désoxyribonucléique
ONA	Office national de l'assainissement
ADE	Algérienne des Eaux
JORA	Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire

Introduction générale

La raréfaction croissante des ressources en eau à l'échelle mondiale constitue l'un des défis environnementaux, sociaux et économiques majeurs du XXI^e siècle. Selon la FAO (2017), près de 40 % de la population mondiale vit déjà dans des régions confrontées à un stress hydrique important. L'Algérie, pays à climat majoritairement aride et semi-aride, n'échappe pas à cette réalité. Elle fait face à une pression hydrique croissante due à une combinaison de facteurs : une pluviométrie faible et irrégulière, une démographie en hausse, un développement urbain et agricole accru, ainsi qu'une gestion parfois inefficace des ressources disponibles (MRE, 2020).

Dans ce contexte, la valorisation des eaux usées épurées apparaît comme une alternative stratégique et incontournable. Cette ressource dite « non conventionnelle » peut être mobilisée en irrigation agricole, dans l'industrie ou pour le rechargement des nappes, à condition de respecter des critères stricts de qualité. L'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2006) ainsi que diverses réglementations internationales et nationales (notamment le décret exécutif algérien n°06-141 publié au JORA, 2012) insistent sur la nécessité de garantir la sécurité sanitaire de ces eaux, notamment en matière de contamination microbiologique.

La réutilisation des eaux usées traitées s'inscrit aujourd'hui dans une logique d'économie circulaire et de développement durable (Lazarova & Bahri., 2005 ; Asano et al., 2007). Elle permet non seulement de préserver les ressources en eau douce, mais aussi de limiter les rejets polluants dans le milieu naturel, réduisant ainsi les impacts environnementaux sur les écosystèmes aquatiques. Toutefois, cette pratique reste encore marginale et sous-exploitée en Algérie, en dépit de l'existence de plus de 200 stations d'épuration, dont plusieurs fonctionnent en dessous de leurs capacités nominales ou présentent des défaillances techniques (Ministère des Ressources en Eau., 2021).

La station d'épuration de la ville de Saïda, fonctionnant selon le procédé à boues activées, traite quotidiennement des volumes importants d'eaux usées urbaines. Cependant, la performance réelle de cette station, notamment en matière de qualité bactériologique et physico-chimique des eaux épurées, reste à vérifier.

Malgré l'efficacité du traitement secondaire pour la réduction de la charge organique (DBO₅, DCO, MES), plusieurs études ont montré qu'il ne permet pas toujours d'éliminer les microorganismes pathogènes, ce qui limite la possibilité de réutilisation ou de rejet sans risque dans le milieu récepteur (Toze., 2006). Dans le cas de la STEP de Saïda, la proximité

Introduction générale

de l'oued et la demande croissante en eau pour l'irrigation renforcent l'urgence de disposer d'une eau épurée conforme aux normes sanitaires.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la faisabilité de l'intégration d'un traitement tertiaire, combinant une filtration sur disques (10 μm) et une désinfection par rayonnement ultraviolet, en aval de la STEP existante. Ce procédé présente l'avantage d'une efficacité prouvée sur les coliformes fécaux et d'une bonne adaptabilité aux contraintes locales (débit variable, charge organique élevée), tout en assurant un faible impact environnemental. Il s'agit ainsi de contribuer à la mise en œuvre d'une gestion intégrée et durable des ressources en eau dans la région de Saïda.

Ce travail de recherche vise à évaluer la qualité des eaux épurées issues de la STEP de Saïda à travers une série d'analyses physico-chimiques et bactériologiques et la faisabilité d'intégration d'un traitement tertiaire, combinant une filtration sur disques (10 μm) et une désinfection par rayonnement ultraviolet, en aval de la STEP existante. Il s'inscrit dans une démarche d'aide à la décision pour la gestion durable de l'eau dans la région.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres permettant de traiter l'ensemble de la problématique.

Le premier chapitre est consacré à l'analyse et à la caractérisation des eaux usées urbaines, en mettant en évidence leurs principales caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques, ainsi que leurs impacts sur l'environnement et la santé.

Le deuxième chapitre présente les différents procédés d'épuration des eaux usées, avec un focus particulier sur les procédés biologiques, notamment le système des boues activées, largement utilisé dans les stations d'épuration.

Le troisième chapitre traite les procédés d'épuration tertiaire et de la réutilisation des eaux usées épurées, en détaillant les technologies complémentaires mises en œuvre pour garantir une qualité compatible avec les usages agricoles, industriels ou urbains, conformément aux normes en vigueur.

Enfin, le quatrième chapitre présente une approche expérimentale d'optimisation du procédé d'épuration appliquée à la station d'épuration de la ville de Saïda. Ce volet met en avant une caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux épurées de la STEP et propose une conception adéquate pour le traitement tertiaire, dans le but d'obtenir une qualité

Introduction générale

d'eau conforme aux exigences de réutilisation, notamment pour l'irrigation ou dans un milieu urbain.

Le mémoire se termine par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats et propose des perspectives d'amélioration et de valorisation.

Chapitre I

Analyse et caractérisation des eaux usées

urbaines

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, un aperçu des sources de pollutions des eaux usées ainsi que de leurs propriétés physico-chimiques et biologiques est mis en évidence. Le phénomène de parasitisme, son mode d'action sur l'organisme humain et son cycle de développement sont abordés, ainsi que leurs impacts sur l'environnement et la réglementation relative à l'eau.

I.2 Définition et origine des eaux usées

Les eaux usées désignent les eaux ayant été altérées dans leur qualité d'origine du fait d'une utilisation domestique, industrielle, agricole ou pluviale. Elles se composent principalement de deux grandes catégories :

- **Eaux usées domestiques** : issues des ménages (eaux-vannes provenant des toilettes et eaux grises issues de la cuisine, des lavabos, de la lessive, etc.).
- **Eaux usées industrielles** : générées par les activités industrielles, elles peuvent contenir des substances chimiques ou organiques spécifiques.
- **Eaux de ruissellement** : eaux de pluie qui, en s'écoulant sur des surfaces urbaines ou agricoles, se chargent de polluants.

Ces effluents contiennent des polluants physiques (matières en suspension), chimiques (détergents, métaux lourds, pesticides) et biologiques (bactéries, virus, parasites) (Metcalf & Eddy, 2014).

I.3 Importance du traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est indispensable pour préserver l'environnement et la santé publique. Le rejet d'eaux usées non traitées peut entraîner :

- La pollution des ressources en eau (rivières, lacs, nappes phréatiques) ;
- La dégradation des écosystèmes aquatiques par eutrophisation ;
- La transmission de maladies hydriques comme le choléra, la typhoïde ou les hépatites (WHO, 2018).

Par conséquent, des systèmes de collecte et de traitement doivent être mis en place pour éviter de compromettre les usages futurs de l'eau, qu'ils soient agricoles, industriels ou domestiques.

I.4 Étapes du traitement des eaux usées

Le processus de traitement comprend généralement plusieurs étapes :

1. **Prétraitement**: élimination des gros déchets solides (grilles, dégraisseurs, dessableurs).
2. **Traitement primaire** : décantation des matières en suspension.
3. **Traitement secondaire** : traitement biologique (boues activées, biofiltres) pour dégrader la matière organique dissoute.
4. **Traitement tertiaire** (si nécessaire) : élimination des nutriments (azote, phosphore), désinfection, filtration avancée (membranes, charbon actif).

Des technologies modernes comme les réacteurs biologiques à membranes (MBR) ou les zones humides artificielles sont de plus en plus utilisées dans les zones à forte densité ou à sensibilité écologique (Tchobanoglous et al., 2014).

I.5 Réutilisation des eaux usées traitées

Avec le changement climatique et la raréfaction des ressources en eau douce, la réutilisation des eaux usées traitées (REUE) devient une solution stratégique. Elle permet :

- L'irrigation agricole (Norme FAO, 2003) ;
- L'arrosage des espaces verts urbains ;
- L'usage industriel (refroidissement, nettoyage) ;
- Dans certains cas, la recharge des nappes phréatiques.

La qualité de l'eau recyclée dépend du niveau de traitement appliqué et des normes en vigueur (Directive européenne 2020/741 ; WHO, 2006).

I.6 Cadre réglementaire et défis

Les politiques de gestion des eaux usées s'appuient sur des réglementations nationales et internationales strictes. En Europe, la directive 91/271/CEE impose le traitement des eaux usées urbaines dans toutes les agglomérations de plus de 2 000 équivalents-habitants.

Cependant, plusieurs défis persistent :

- L'absence d'infrastructures adéquates dans les pays en développement ;

- Le coût élevé de construction et d'entretien des stations d'épuration ;
- La nécessité de sensibilisation des usagers et de renforcement des capacités institutionnelles.

I.7 Paramètres généraux relatifs aux eaux usées

La caractérisation des eaux usées repose sur l'analyse d'un ensemble de paramètres physiques, chimiques, biologiques et organoleptiques. Ces indicateurs permettent d'évaluer la qualité de l'eau, son impact potentiel sur l'environnement et l'efficacité des traitements à appliquer. Cette section aborde les principaux paramètres utilisés dans le diagnostic des eaux usées.

I.7.1 Paramètres organoleptiques

I.7.1.1 La couleur

La couleur de l'eau peut être un indicateur de la présence de matières dissoutes ou en suspension. On distingue deux types de couleur :

- La couleur réelle, due uniquement aux substances dissoutes, mesurée après filtration à travers une membrane de 0,45 µm.
- La couleur apparente, qui inclut la contribution des particules en suspension (MES).

Dans les eaux faiblement turbides, les couleurs réelles et apparente peuvent se rapprocher. La coloration des eaux usées est souvent causée par la dégradation de matières organiques, la présence de composés phénoliques, d'acides humiques ou de métaux tels que le fer et le manganèse (Rodier et al., 2009).

I.7.1.2 L'odeur

L'odeur est un indicateur subjectif mais révélateur de pollutions spécifiques, souvent d'origine organique. Des composés comme le sulfure d'hydrogène (H₂S), les phénols ou les amines peuvent produire des odeurs caractéristiques (œufs pourris, rances, fécales), même à très faibles concentrations (AFNOR, 2011).

I.7.2 Paramètres physico-chimiques**I.7.2.1 La température**

La température de l'eau joue un rôle fondamental dans la solubilité des gaz (notamment l'oxygène), l'activité enzymatique et le métabolisme des micro-organismes. Une élévation de 10 °C double ou triple la vitesse des réactions biochimiques (Chapra, 2008).

Une température trop élevée, souvent due à des rejets thermiques industriels, peut réduire la solubilité de l'oxygène dissous et perturber les écosystèmes aquatiques. Des variations brusques (>3 °C) peuvent être létales pour certaines espèces sensibles (Tchobanoglous et al., 2014).

I.7.2.2 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH mesure l'activité des ions hydrogène (H^+) et reflète l'acidité ou la basicité de l'eau. À 25 °C, une eau est dite :

- neutre si $pH = 7$,
- acide si $pH < 7$,
- alcaline si $pH > 7$.

Le pH naturel de l'eau varie généralement entre 6 et 8,5. Des pH extrêmes (inférieurs à 5 ou supérieurs à 9) peuvent solubiliser certains métaux lourds toxiques (ex. : cadmium, plomb) ou favoriser la formation d'ammoniac libre (NH_3), très toxique pour les poissons (WHO, 2018).

I.7.2.3 La conductivité électrique (EC)

La conductivité électrique mesure la capacité d'un échantillon d'eau à conduire un courant électrique, ce qui est directement lié à sa teneur en sels dissous (ions). Elle est exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu S/cm$).

Une forte conductivité est typique des eaux usées domestiques ou industrielles concentrées. Les variations de conductivité peuvent affecter l'osmolarité et donc la physiologie des organismes aquatiques (Sawyer et al., 2003). Elle est aussi utilisée pour estimer les solides dissous totaux (TDS), en appliquant un facteur empirique (généralement entre 0,55 et 0,75 selon la nature des ions présents).

I.7.2.4 La turbidité

La turbidité est l'opacité d'une eau, causée par la présence de particules fines en suspension (argiles, limons, micro-organismes, matières organiques colloïdales). Elle est mesurée en unités néphélométriques de turbidité (UNT ou NTU).

Elle influence directement la transmission de la lumière, et donc la photosynthèse aquatique. Une turbidité élevée peut également réduire l'efficacité des traitements de désinfection, notamment la chloration (Rodier et al., 2009).

I.7.2.5 Les matières en suspension (MES)

Les MES sont les solides non dissous présents dans l'eau. Elles peuvent être :

- **Organiques** : fibres végétales, matières fécales, micro-organismes ;
- **Minérales** : sable, argile, oxydes métalliques.

Les MES contribuent à l'envasement des cours d'eau, réduisent la lumière pénétrante et transportent des polluants adsorbés (métaux lourds, pesticides, hydrocarbures). Leur réduction est essentielle pour limiter les impacts environnementaux et améliorer l'efficacité des traitements (Tchobanoglous et al., 2014).

I.7.2.6 Le carbone organique total (COT)

Le carbone organique total (COT) représente la quantité totale de carbone présent dans les composés organiques, dissous ou en suspension. Il constitue une alternative moderne et rapide aux paramètres traditionnels tels que :

- La demande biochimique en oxygène (DBO₅), qui mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation biologique ;
- La demande chimique en oxygène (DCO), qui mesure l'oxydabilité chimique des matières organiques.

Le COT permet un suivi en temps réel de la charge organique et s'intègre de plus en plus dans les systèmes de surveillance automatisée des stations d'épuration (Metcalf & Eddy, 2014).

I.7.2.7 La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) désigne la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder l'ensemble des matières organiques (biodégradables ou non) contenues dans un

échantillon d'eau, à l'aide d'un oxydant chimique puissant, généralement le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), en milieu acide et chauffé à reflux. Elle s'exprime en mg/L d' O_2 .

La DCO est une mesure globale de la pollution organique : elle inclut les composés biologiquement récalcitrants tels que les hydrocarbures, les tensioactifs ou les composés organochlorés. Ce paramètre est couramment utilisé pour évaluer la charge organique d'une eau usée brute ou traitée (Rodier et al., 2009 ; Tchobanoglous et al., 2014).

I.7.2.8 Les substances nutritives

Les eaux usées contiennent une concentration significative de nutriments essentiels à la croissance végétale, ce qui en fait une ressource potentiellement précieuse pour l'agriculture, la sylviculture ou l'aménagement paysager (WHO, 2006). Ces nutriments comprennent principalement l'azote (N), le phosphore (P), et dans une moindre mesure, le potassium (K), le soufre (S), le zinc (Zn) ou encore le bore (B) (FAO, 2003).

Outre leur apport en éléments fertilisants, les eaux usées sont également riches en matières organiques (solubles, colloïdales ou particulaires) qui peuvent contribuer à améliorer la structure des sols et à augmenter leur capacité de rétention en eau (Cauchi, H., 1996)

1. Azote

Dans les eaux usées, l'azote se présente sous plusieurs formes :

- Azote organique (composés azotés issus des protéines, urée, etc.),
- Azote ammoniacal (ammoniac NH_3 et ion ammonium NH_4^+),
- Nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-), formes oxydées résultant de la nitrification.

La somme de ces formes constitue l'azote total Kjeldahl (NTK) lorsqu'il s'agit de l'azote organique + NH_4^+ , ou l'azote total (NT) lorsqu'on y ajoute les nitrites et nitrates (Metcalf & Eddy, 2014).

L'azote ammoniacal prédomine souvent dans les eaux usées domestiques et constitue une source d'azote assimilable par les plantes, bien que sa toxicité à forte concentration pour les organismes aquatiques soit bien documentée (WHO, 2017).

2. Phosphore :

Le phosphore est principalement présent dans les eaux usées sous forme :

- **Minérale** (ortho phosphates, poly phosphates),
- **Organique** (issus de matières biologiques).

Les principales sources sont les rejets domestiques (détergents, excréta), les effluents agricoles (engrais, lisiers) et industriels (phosphatages, additifs alimentaires). Une concentration élevée de phosphore dans les eaux réceptrices peut provoquer une eutrophisation rapide, entraînant des proliférations d'algues et des déséquilibres écologiques (Rodier et al, 2009).

3. Potassium

Le potassium (K^+) est un macronutriment majeur pour les plantes. Bien qu'abondant dans la croûte terrestre (environ 3 %), il est souvent peu disponible pour les racines car lié à des minéraux silicatés peu solubles.

Les eaux usées contiennent en général de faibles concentrations en potassium (5–20 mg/L), qui peuvent cependant contribuer aux apports agronomiques dans une logique de réutilisation. En conditions normales, les quantités de potassium issues des eaux usées ne représentent aucun risque environnemental majeur, ni pour le sol ni pour les cultures (FAO, 2003)

4. Les éléments traces métalliques (ETM)

Les éléments traces métalliques (ETM), ou métaux lourds, sont présents dans les eaux usées à l'état de traces ($\mu\text{g/L}$ à quelques mg/L). On y retrouve fréquemment :

- Fer (Fe), zinc (Zn), cuivre (Cu), plomb (Pb),
- Et en moindres quantités : manganèse (Mn), aluminium (Al), chrome (Cr), arsenic (As), sélénium (Se), mercure (Hg), cadmium (Cd), molybdène (Mo).

Ces métaux proviennent de sources diverses : corrosion des canalisations, lessivage des toitures, produits ménagers, déchets industriels, soins de santé, véhicules, voire eaux de ruissellement urbain (Metcalf& Eddy, 2014).

Bien que certains ETM soient essentiels à faible dose (Zn, Cu, Fe), d'autres sont hautement toxiques même à faibles concentrations (Cd, Hg, Pb). Ils présentent une grande persistance

dans les sols et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire, d'où la nécessité de les surveiller rigoureusement, surtout dans un contexte de réutilisation agricole des eaux usées (WHO, 2006).

I.7.3 Paramètres biologiques

I.7.3.1 La demande biochimique en oxygène (DBO)

Elle indique la quantité d'oxygène requise pour l'oxydation et la décomposition, en collaboration avec des bactéries, des substances organiques présentes dans les eaux résiduaires (Gaïd, 1984). Elle signale la mesure de substances organiques contenues dans une eau résiduaire, qui représente l'un des principaux paramètres pour juger le niveau de pollution et la qualité de ces eaux résiduaires.

Matière organique + bactéries → Boues + gaz + eau

Selon (Koller, 2004), la DBO5 correspond au volume d'oxygène utilisé par les bactéries lors de l'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, à 20°C dans le noir et pendant une durée de 5 jours. Cette période garantit l'oxydation biologique d'une partie de matière organique carbonée.

I.7.3.2 Indice de biodégradabilité (K)

Le coefficient de biodégradabilité (K), défini comme DCO/DBO5, indique la proportion de la DCO qui est biodégradable. La valeur du K est utilisée pour identifier la nature de l'effluent analysé (Tableau I.1). Certains chercheurs favorisent l'utilisation du rapport DBO5 /DCO, où la fraction DBO5 est indiquée en pourcentage.

Tableau I.1 Caractère de l'effluent déterminé par le ratio (K) et la fraction de DBO5 (Cardot, 2010).

Ratio (k)	Fraction de la DBO5	Caractère de l'effluent
1,5	66,7%	Spontanément biodégradable
2 à 3	33% à 50%	Biodégradable (Effluent urbain)
Supérieur à 5	Inférieur à 20%	Non biodégradable (Effluent industriel)

I.7.4 Paramètres microbiologiques

Les eaux usées sont des milieux complexes qui hébergent une grande variété de microorganismes pathogènes et non pathogènes. Ces organismes, qui proviennent majoritairement des excréctions humaines et animales, sont classés en quatre grandes catégories : bactéries, virus, protozoaires et helminthes.

I.7.4.1 Bactéries

Les bactéries sont des organismes procaryotes unicellulaires mesurant entre 0,1 et 10 μm . On estime qu'un gramme de fèces humaines contient environ 10^{12} bactéries, dont la majorité est inoffensive pour l'homme. Cependant, en cas de pathologies, les bactéries pathogènes peuvent atteindre des concentrations importantes. Les eaux usées contiennent en moyenne 10^7 à 10^8 bactéries par litre, dont environ 10^4 peuvent être pathogènes (Asano, 1998 ; Faby et Brissaud, 1997).

I.7.4.2 Virus

Les virus présents dans les eaux usées sont des agents infectieux de très petite taille (10 à 350 nm), incapables de se reproduire sans cellule hôte. Ils proviennent généralement des matières fécales et des sécrétions humaines. Selon (Benyahya et al, 1998), le traitement biologique des eaux usées permet de réduire considérablement la charge virale, bien que certains virus puissent subsister. Les plus fréquents sont le virus de l'hépatite A et E, les rotavirus, les norovirus, les adénovirus et les entérovirus (Schwartzbrod, 2000).

I.7.4.3 Protozoaires

Les protozoaires sont des eucaryotes unicellulaires plus complexes que les bactéries. Certains, comme *Giardia lamblia* ou *Entamoebahistolytica*, sont pathogènes et peuvent former des kystes très résistants aux traitements classiques. Ces formes kystiques peuvent persister dans les réseaux d'eaux usées et présenter un risque important pour la santé publique (Baumont et al, 2004).

I.7.4.4 Helminthes

Les helminthes sont des vers parasites multicellulaires. Leurs œufs, très résistants, peuvent survivre plusieurs mois dans les sols ou sur les cultures irriguées. Dans les eaux usées, leur concentration varie généralement de 10 à 10^3 œufs par litre. Ils représentent un danger important en cas d'irrigation non contrôlée (Baumont et al, 2004).

I.8 L'équivalent habitant

L'équivalent habitant (EH) est une unité de mesure utilisée pour estimer la charge polluante générée quotidiennement par une personne. Il permet d'évaluer la capacité des stations d'épuration. Les valeurs moyennes sont les suivantes :

- **Matières oxydables (MO) :** 57 g/jour
- **Matières en suspension (MES) :** 90 g/jour
- **Matières azotées (MA) :** 15 g/jour
- **Matières phosphorées (MP) :** 4 g/jour
- **Germes microbiens :** 10^9 à 10^{10} /100 ml (METAHRI,2012).

I.9 Origine et risques des micro-organismes dans les eaux résiduaires

Les eaux résiduaires sont infectieuses. La gestion historique des eaux résiduaires était principalement motivée par le désir d'éloigner les éléments infectieux de la population dans les villes. Les micro-organismes présents dans les eaux résiduaires proviennent principalement des excréments humains, ainsi que de l'industrie alimentaire. La forte concentration de micro-organismes peut créer un risque sanitaire grave lorsque les eaux résiduaires brutes sont rejetées dans les milieux récepteurs (WHO., 2017 ; ZAIRI.S., 2024). Le Tableau I.2 donne une idée de la concentration de micro-organismes dans les eaux résiduaires domestiques.

Tableau I.2 Concentrations de microorganismes dans les eaux résiduaires (WHO., 2017)

Micro-organismes	Elevé UFC/100 ml	Faible UFC/100 ml
E. Coli	5.10^8	10^6
Coliformes	10^{13}	10^{11}
Clostridium perfringens	5.10^4	10^3
Streptocoques fécaux	10^8	10^6
Salmonelle	300	50
Campylobacter	10^5	5.10^3
Listeria	10^4	5.10^2
Staphylococcus aureus	10^5	5.10^3
Coliphages	5.10^5	10^4
Giardia	10^3	10^2
Nématodes	20	5
Entérovirus	10^4	10^3
Rotavirus	100	20

I.10 Les normes des eaux de rejet

Les normes de rejet ont pour objectif de limiter l'impact des effluents sur l'environnement. Elles définissent des seuils maximaux de concentration de divers polluants que les rejets doivent respecter.

I.10.1 Normes internationales

Les normes internationales sont fixées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et d'autres organismes internationaux (FAO, ISO). Elles varient selon l'usage des eaux traitées (rejet dans le milieu naturel, réutilisation en agriculture, etc.).

Tableau I.3 Normes de rejets internationales (WHO.,1971).

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6,5-8,5
DBO5	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20mg/l
NH4 +	<0,5 mg/l
NO2	1 mg/l
NO3	<1 mg/l
P2O5	<2mg/l
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

I.10.2 Normes algériennes

Les normes algériennes sont encadrées par la législation nationale :

- **Loi n°83-17** (Code des eaux, 1983)
- **Ordonnance n°96-13** (modifiant la loi n°83-17)
- **Décret exécutif n°93-160** (réglementant les rejets industriels)
- **Décret exécutif n°06-141** (valeurs limites des rejets industriels)

Tableau 1.4 Les normes Algériennes de rejets des effluents liquides (JORA, 2006).

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	6,5- 8,5
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	120
MES	mg/l	35
Azote total	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
Furfural	mg/l	50
Hydrocarbures	mg/l	10
Plomb	mg/l	0.5
Fer	mg/l	3
Mercure	mg/l	0.01
Cuivre	mg/l	0.5
Zinc	mg/l	3

I.11 Impact sur l'environnement et la santé humaine

I.11.1 Impact environnemental

Les eaux usées peuvent avoir des effets écologiques dévastateurs si elles sont rejetées sans traitement :

- **Eutrophisation** : enrichissement excessif en nutriments (azote, phosphore) favorisant la prolifération d'algues, ce qui entraîne une diminution de l'oxygène dissous et nuit à la biodiversité aquatique (Ramade, 2000).
- **Réduction de la transparence de l'eau** : à cause de MES, qui perturbent la photosynthèse et colmatent les branchies des poissons.
- **Déséquilibre thermique et chimique** : variations de température ou de pH perturbent les cycles biologiques des espèces. (Ramade, 1998).

I.11.2 Impact sur la santé humaine

L'OMS estime que 80 % des maladies dans les pays en développement sont liées à l'eau.

L'eau contaminée peut provoquer :

- **Maladies hydriques** : choléra, typhoïde, hépatite A et E, dysenterie, etc.
- **Affections dermatologiques** : infections cutanées, oculaires par contact avec des eaux insalubres.
- **Transmission parasitaire** : via des helminthes ou protozoaires présents dans les eaux usées.
- **Pollution chimique** : intoxications chroniques dues à la présence de métaux lourds et de polluants organiques persistants (Rouamba, 2016 ; Benkaddour, 2018).

Chaque année, environ 1,7 million de décès, dont une majorité d'enfants de moins de 5 ans, sont attribués à la diarrhée d'origine hydrique (WHO, 2012).

I.12 Conclusion

Ce chapitre a permis d'exposer les caractéristiques générales des eaux usées, tant au niveau de leur origine que de leurs propriétés physiques, chimiques et microbiologiques. Ces connaissances sont essentielles pour déterminer les traitements appropriés en station d'épuration, optimiser la réutilisation des eaux usées et réduire leur impact environnemental et sanitaire. La maîtrise des paramètres et des normes en vigueur constitue une étape cruciale pour assurer une gestion durable et efficace des eaux usées.

Chapitre II
Les Procédés d'Épuration des Eaux
Usées

II. 1 Introduction

L'augmentation constante de la population urbaine et le développement industriel ont engendré une demande croissante en eau potable, parallèlement à une production massive d'eaux usées domestiques, industrielles et agricoles. La nécessité de traiter ces eaux usées avant leur rejet dans l'environnement ou leur réutilisation est devenue une priorité sanitaire, environnementale et réglementaire. L'assainissement des eaux usées a connu de nombreuses évolutions depuis les premières fosses septiques publiques jusqu'aux systèmes biologiques et physico-chimiques modernes. Ce progrès est intimement lié à l'apparition de maladies infectieuses au XIXe siècle et à l'avancée des connaissances microbiologiques (Zhu.J et al, 2020). Aujourd'hui, les stations d'épuration jouent un rôle clé dans la protection des ressources naturelles, la prévention de la pollution et la préservation de la biodiversité. Ce chapitre décrit les principales étapes du traitement des eaux usées, en insistant sur les technologies et procédés utilisés dans les stations d'épuration.

II.2 Les étapes de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est un processus complexe visant à réduire la pollution et à protéger l'environnement ainsi que la santé publique. Ce traitement s'articule généralement en plusieurs étapes successives permettant d'éliminer les matières solides, les matières organiques dissoutes, les nutriments (azote, phosphore), les micro-organismes pathogènes, ainsi que d'autres polluants spécifiques.

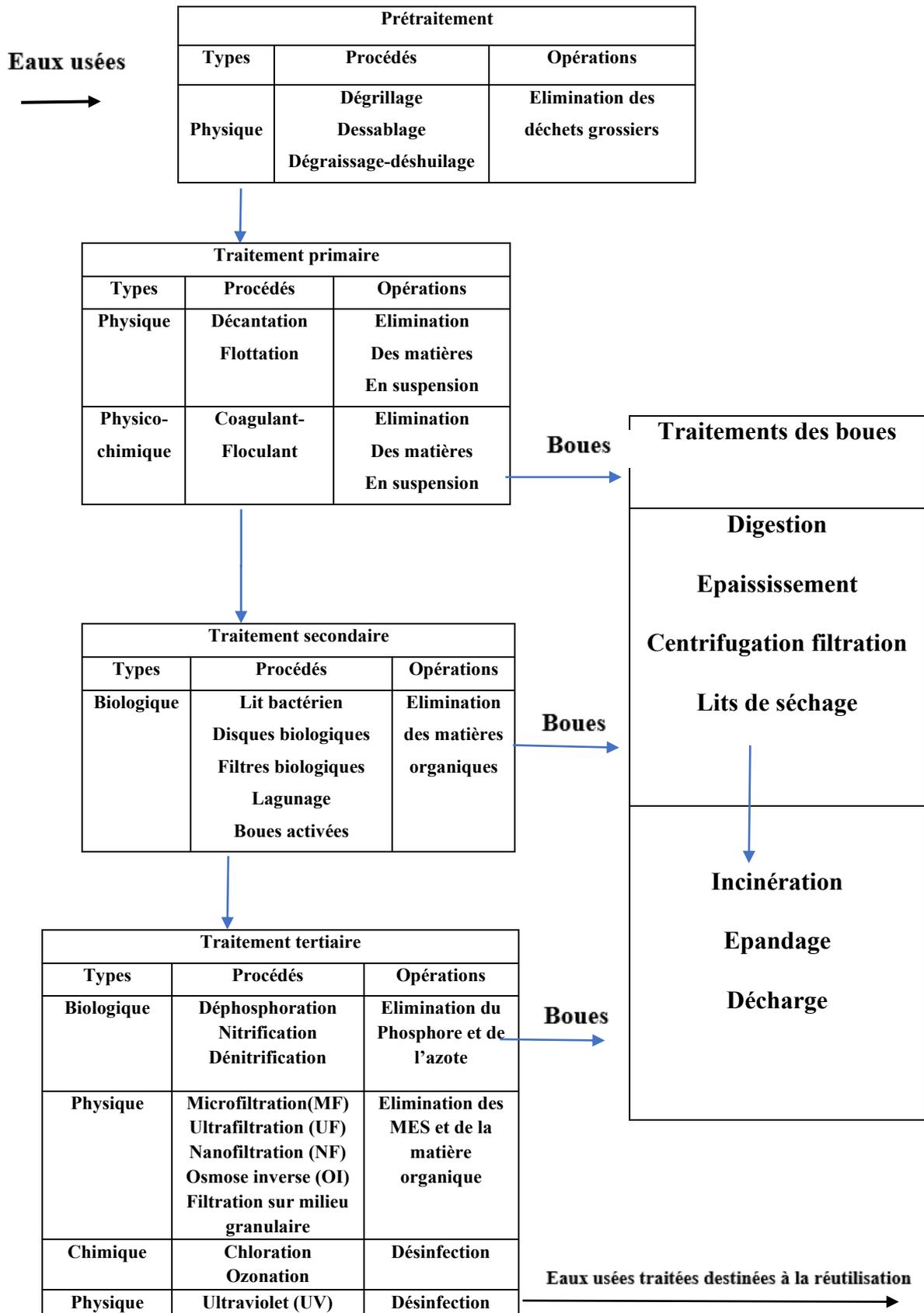


Figure II.4: Présentation d'un schéma fonctionnel des filières de traitement des eaux usées destinées à la réutilisation

Avant de passer au traitement secondaire, les eaux résiduaires subissent un prétraitement, qui représente la première phase d'épuration des eaux résiduaires. Il prépare efficacement les eaux résiduaires pour les étapes ultérieures en retirant les matières solides grossières, les graisses, les huiles et les sédiments lourds assurant ainsi une meilleure performance et efficacité des processus de traitement secondaire et tertiaire.

II.2.1. Prétraitement

Le prétraitement est une phase incontournable avant toute intervention dans un système de traitement (tels que le dégrillage, le dessablage, le tamisage et l'élimination des graisses). Il s'agit de retirer tous les éléments qui peuvent être aisément collectés dans les eaux résiduaires non traitées (débris, feuillages, branches, gravier, sable et autres objets volumineux) avant qu'ils n'endommagent les pompes ou les conduites de traitement à venir (Condom et d, 2016).

II.2.1.1 Dégrillage

Finalement, les eaux usées provenant du réseau d'égouts traversent une grille (ou un tamis) composée de barres métalliques qui capturent les débris encombrants (papiers, feuilles, plastiques, divers objets), et l'effluent est ensuite acheminé vers l'usine à l'aide de vis d'Archimède ou de pompe (INRS, 2004).

II.2.1.2 Dessablage

Ce processus consiste à séparer les eaux usées des graviers, sables et autres particules minérales qui pourraient nuire aux installations en aval (comme l'obturation des canalisations, des bassins, etc.), le dessablage ne s'applique qu'aux particules dont le diamètre est supérieur ou égal à 200 μm . Les particules de plus petite taille sont « récupérées » par décantation (Altmeyer et al., 1990).

II.2.1.3 Dégraissage-déshuilage

L'objectif est de distinguer les huiles et graisses, substances de densité un peu plus faible que celle de l'eau. Quand elles ne sont pas émulsionnées, ces substances se séparent sous forme de boues flottantes dans des installations dotées d'une zone d'aération qui favorise la montée des particules grasses par l'intermédiaire des bulles d'air, et une zone de calme où s'effectue la récupération. La durée de présence dans ce genre d'ouvrage varie de 5 à 12 minutes. Selon (Gaid, 1993) le volume d'air insufflé est approximativement de 0,2 m³ par mètre cube d'eau et par heure.

II.2.2 Traitement primaire

La séparation physique des matières en suspension (MES) contenues dans les eaux usées, réalisée par décantation, constitue un traitement primaire qui est optionnel selon la filière de traitement choisie. L'élimination additionnelle des colloïdes se réalise grâce à un processus physico-chimique impliquant une coagulation-floculation, suivie d'une séparation liquide-solide par sédimentation ou flottation(Le byaric, 2009).

Au cours de l'étape de traitement initial, une part significative de la pollution globale est supprimée (réduction des substances en suspension pouvant atteindre 90% et de la demande biochimique en oxygène d'environ 35%)(Cardot, 2010).

II.2.2.1 La décantation (processus physique)

Le processus de décantation consiste à séparer l'eau et les flocons en utilisant un décanteur. Les flocons collectés (boues) sont acheminés par des pompes, soit vers un épaisseur où ils passent par une pré-déshydratation. (L'épaisseur fonctionne aussi comme un réservoir) ; ou en direction de la floculation afin de conserver une concentration adéquate en boues(Generet et al, 2005).

II.2.2.2 La flottation (processus physique)

La flottation est une technique de séparation solide-liquide ou liquide-liquide destinée à des particules dont la densité réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du fluide qui les renferme. Les inconvénients majeurs de cette méthode sont les frais d'exploitation importants en raison d'une grande consommation d'énergie, c'est pourquoi elle est surtout destinée aux grandes installations(AMORCE, 2012).

II.2.2.3 La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant- floculant (voie physicochimique)

L'idée est de stimuler l'agglomération des molécules en suspension par le biais de la méthode coagulation-floculation, afin d'accroître la sédimentation en produisant des floes plus imposants. La coagulation est le processus visant à neutraliser la charge électrique des particules colloïdales présentes dans l'effluent à traiter, par l'introduction de réactifs minéraux multivalents tels que les sels de fer et d'aluminium. La floculation est un procédé qui consiste à incorporer un polymère afin de regrouper les substances colloïdales en une structure solide qui se dépose aisément sous forme de floe(Deshayes, 2007).

II.2.3 Traitement secondaire

Les systèmes de traitement secondaire, qui sont mis en œuvre après le traitement primaire, se composent d'un traitement biologique visant à supprimer la pollution organique et minérale (azote), qui constitue une source de nutriments pour les microorganismes, et d'un traitement chimique destiné à optimiser la qualité de l'effluent (suppression du phosphore par ajout de chlorure ferrique, floculation des boues par incorporation de polymère)(Pasquini, 2013). Ce processus consiste à associer la matière organique présente dans les eaux usées à une colonie de bactéries. Elle assimile donc la matière organique pour favoriser son propre développement. Ces équipements facilitent l'amplification et la localisation des processus de transformation et de détérioration des substances organiques sur des zones restreintes, comme ils se manifestent dans les environnements naturels. Ils constituent une reconstitution d'un écosystème simplifié et choisi, impliquant une microflore bactérienne et une microfaune de protozoaires et de métazoaires(Bassompierre, 2007).

II.2.3.1 Le traitement secondaire anaérobie

Le procédé de conversion microbiologique de la matière organique, principalement par l'action de communautés bactériennes, ainsi que de protozoaires et certains champignons anaérobies, est connu sous le nom de traitement secondaire anaérobie(Effebi, 2009)La décomposition anaérobie est un processus de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène, qui s'effectue en deux étapes principales.

- Une phase acide de liquéfaction (hydrolyse) des composants organiques aboutissant à la formation d'acides gras volatils (AGV).
- Une phase de gazéification dont les produits finals essentiellement de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2)(Boeglin, 1998).

II.2.3.2 Le traitement secondaire aérobie

Les bactéries employées nécessitent un apport continu d'oxygène. Deux grandes familles peuvent être distinguées : les procédés à cultures fixes (microorganismes fixés sur des supports), les procédés à culture libre (micro-organismes maintenus en suspension dans le mélange à épurer)(Degrémont, 2005).

II.2.3.2.1 Les procédés à culture fixée

Les méthodes de cultures fixées emploient un substrat stable et/ou des composants tournants où se multiplient les colonies bactériennes (Degrémont, 2005)

1. Le lit bactérien

C'est une méthode qui implique la croissance de microorganismes sur un substrat poreux (naturel ou synthétique) (Figure 1.2), qui est régulièrement alimenté par l'effluent à épurer, après une décantation préalable. Les microorganismes fixés créent un biofilm et suppriment les substances organiques. Le biofilm se développe jusqu'à constituer deux strates : l'une aérobie et l'autre anaérobie. Dans la couche anaérobie, les processus internes et la libération de gaz provoquent des décollements localisés du biofilm, ce qui crée des zones de colonisation inédites. Selon (Degrémont, 2005), le mélange d'eau traitée et de biofilm extrait du lit bactérien est séparé par décantation. Cette méthode demande moins de supervision et moins d'énergie (pas besoin d'insufflation d'air) comparée à une méthode à boues activées. Son pouvoir d'épuration est moindre et varie en fonction des caractéristiques du matériau poreux employé (AERM, 2012). L'un des principaux problèmes associés aux lits bactériens est l'obstruction du support filtrant, provoquée par un développement excessif du biofilm microbien (Pasquini, 2013).

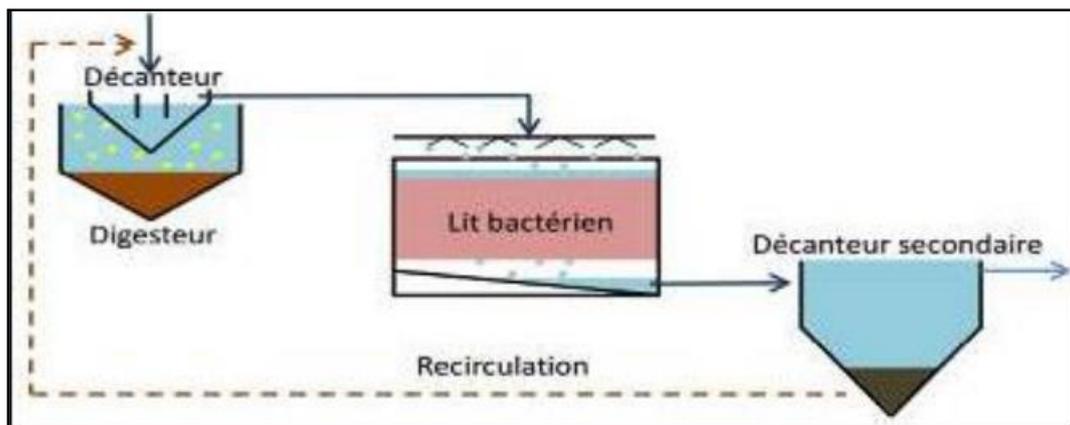


Figure II.5: Schéma simplifié du système à lit bactérien (Pasquini, 2013).

2. Le procédé à disques biologiques

Inclut des disques en polystyrène expansé, qui fournissent un support robuste pour la croissance du film bactérien, fixés sur un axe autour duquel ils tournent (Figure II.3). Ce système est en partie submergé (ce qui garantit le mélange et l'aération) dans un réservoir approvisionné par les eaux résiduaires ayant déjà bénéficié d'un traitement primaire. Les bactéries décomposent la matière organique par dégradation aérobie, en utilisant l'oxygène de l'atmosphère. Lorsque son épaisseur dépasse quelques millimètres, le biofilm se détache et est entraîné vers le décantateur secondaire. Bien que cette méthode paraisse très facile, elle a

néanmoins rencontré des problèmes mécaniques et a été abandonnée en France dès 1975. D'autres systèmes à biofilm ont alors été développés (Pasquini, 2013).

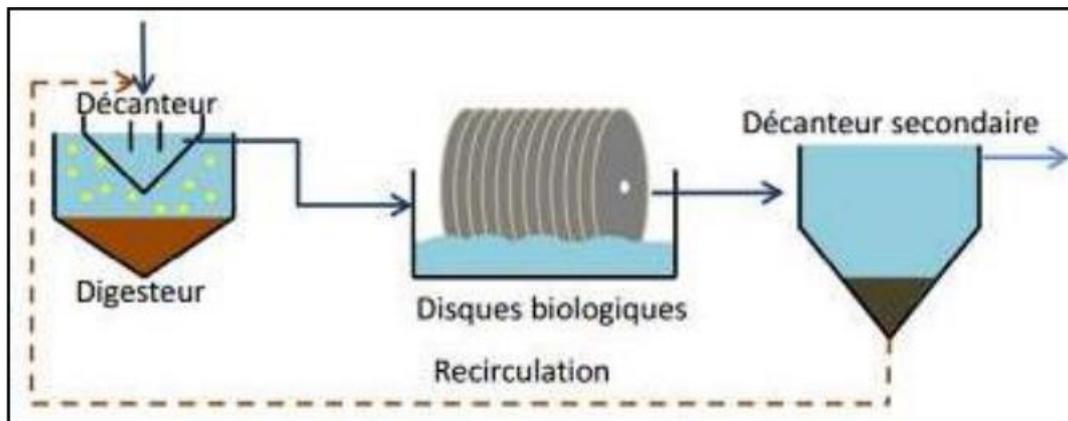


Figure II.6: Schéma simplifié du procédé à disques biologiques (Pasquini, 2013).

3. Les filtres biologiques

Des techniques comme la mise en place de filtres à sable ou la plantation de roseaux sont mises en œuvre pour les petites collectivités comptant entre 50 et 1000 EH. Ils démontrent des cultures microbiennes fixées sur des substrats fins et de granulométrie variable (grains de sable ou graviers d'un diamètre inférieur à 4-5 mm). Ces méthodes assurent une élimination superficielle de la pollution organique particulaire et le traitement biologique de l'eau à travers les bactéries qui se fixent sur les grains de sable. Ces derniers offrent une superficie spécifique considérable et de ce fait, une surface d'échange largement supérieure à celle des autres méthodes de purification (Degrémont, 2005). Les roseaux (ou d'autres plantes), grâce à leur réseau racinaire, remplissent diverses fonctions : ils facilitent la pénétration de l'eau à travers la boue qui se dépose en surface, ils garantissent le réapprovisionnement en oxygène des zones filtrantes et ils instaurent un environnement propice aux activités biologiques et à la croissance.

II.2.3.2.2 Procédés à cultures libres

Dans les procédés à cultures libres, les bactéries se développent sous forme de flocons dispersés dans le liquide à épurer. Le maintien de ces flocons en suspension est assuré par un brassage continu. On distingue principalement deux types de procédés à cultures libres : le traitement par boues activées et le lagunage (Pasquini, 2013).

1. Le lagunage

L'épuration biologique des eaux usées repose sur l'action de micro-organismes capables de se développer dans un milieu oxygéné. Dans le cas du lagunage naturel, cet oxygène est

principalement fourni par la photosynthèse des algues. À l'inverse, le lagunage aéré repose sur une oxygénation artificielle par insufflation d'air. Ce procédé, à la fois simple, économique et efficace, est de plus en plus adopté dans les pays en développement ainsi qu'en Europe, notamment pour le traitement des eaux usées dans les communes rurales (Altmeyer et al., 1990).

Le lagunage consiste généralement en une série de bassins peu profonds (entre 1 et 5 mètres de profondeur), souvent au nombre de trois, où les eaux usées — qu'elles aient ou non subi une décantation préalable — s'écoulent lentement avant d'en ressortir épurées (Figure II.4) (Altmeyer et al., 1990).

Dans ces bassins, la dégradation de la matière organique est assurée par une synergie entre les bactéries aérobies et anaérobies naturellement présentes dans les eaux usées et les algues microscopiques. Le premier bassin, appelé lagune facultative, est principalement dédié à la biodégradation de la pollution organique par les micro-organismes. L'oxygénation y est assurée naturellement par les échanges gazeux avec l'atmosphère et la photosynthèse des algues chlorophylliennes. L'ajout de brasseurs, d'aérateurs ou l'introduction de plantes macrophytes (comme les roseaux, les iris ou les joncs) permet d'augmenter l'oxygénation et donc l'efficacité du traitement.

Le deuxième bassin joue le rôle de décanteur, où les boues biologiques en suspension se déposent. Enfin, dans le troisième bassin, une étape de polissage est assurée par des macrophytes, qui permettent de réduire les concentrations en azote et en phosphore, contribuant ainsi à améliorer la qualité finale de l'eau (Pasquini, 2013).

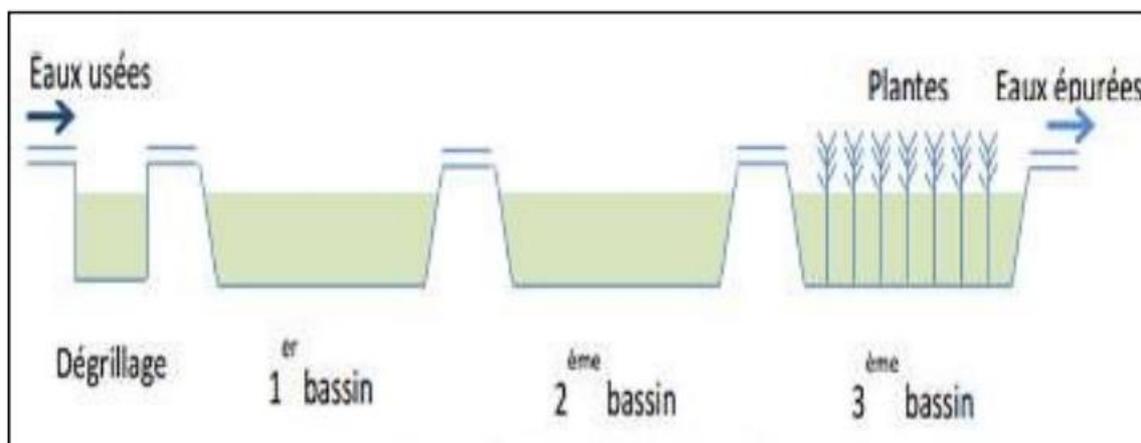


Figure II.4 Schéma simplifié d'une station de lagunage naturel (Pasquini, 2013).

2. Le procédé à boues activées

Ce procédé repose sur l'amplification des mécanismes naturels d'autoépuration déjà présents dans l'environnement. Il vise à accélérer la dégradation et la minéralisation de la matière organique grâce à l'action de bactéries aérobies, dans un espace contrôlé et restreint, où l'oxygène est apporté mécaniquement par le brassage de la liqueur mixte (mélange d'eaux usées et de biomasse active) (Pasquini, 2013).

Le système se compose de deux bassins principaux (Figure II.5) :

1. Le bassin d'aération : c'est le cœur du procédé. Il maintient les floccs microbiens en suspension par un brassage constant. Dans cet environnement riche en oxygène, les micro-organismes consomment la matière organique dissoute, qu'ils transforment en dioxyde de carbone, eau et nouvelle biomasse (Metcalf et Eddy, 2003).
2. Le décanteur secondaire (ou clarificateur) : ce bassin assure la séparation entre les phases solide et liquide. Les boues activées se déposent au fond, tandis que l'eau clarifiée peut être évacuée ou dirigée vers une étape de traitement tertiaire. Une partie de la biomasse sédimentée est recyclée vers le bassin d'aération, afin de maintenir une forte concentration de micro-organismes et d'optimiser l'efficacité du processus épuratoire (Pasquini, 2013).

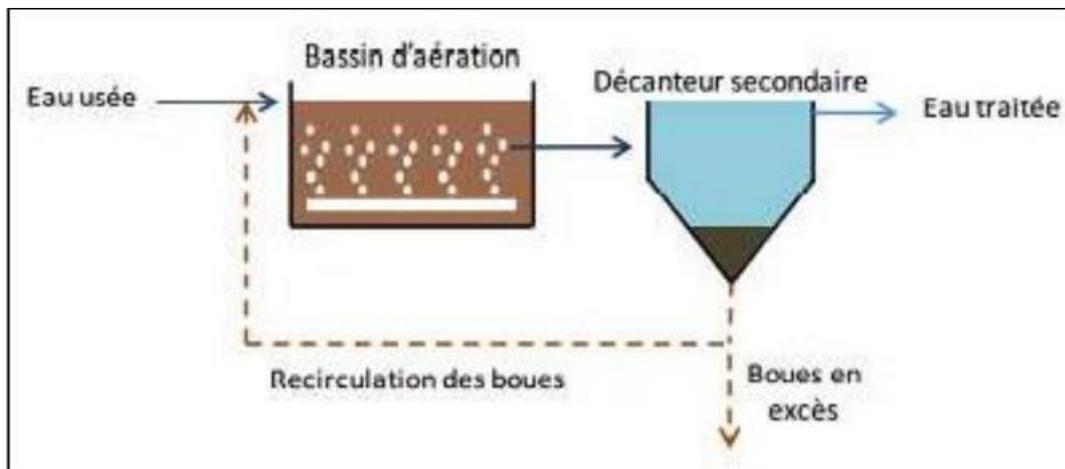


Figure II.5 Schéma simplifié d'un système à boues activées(Pasquini, 2013).

II.2.4. Traitement tertiaire

Certaines réglementations imposent des exigences spécifiques pour le rejet des eaux usées traitées, notamment en ce qui concerne l'élimination de l'azote, du phosphore ou des micro-organismes pathogènes. Cela nécessite la mise en œuvre d'un traitement complémentaire, appelé traitement tertiaire(Franck, 2002).

Ce traitement repose sur des procédés physico-chimiques avancés, incluant des technologies membranaires telles que l'ultrafiltration, la nanofiltration ou l'osmose inverse, ainsi que des procédés d'oxydation avancée comme l'ozonation, l'utilisation de peroxyde d'hydrogène ou l'irradiation UV. Bien que ces techniques soient efficaces, elles représentent souvent un coût significatif et posent des questions environnementales liées à des effets de transfert de pollution ou à un bilan écologique contestable (Downward et Taylor, 2007).

Ces enjeux justifient l'approfondissement du traitement tertiaire, qui fera l'objet du prochain chapitre (Chapitre III), dédié à l'exploration de ces technologies avancées et de leurs impacts.

II.3 Conclusion

Les eaux usées, issues de diverses sources domestiques, industrielles ou agricoles, contiennent des polluants susceptibles de nuire à la santé humaine et à l'environnement. Leur rejet sans traitement préalable constitue une menace directe pour les milieux naturels et les ressources en eau. Ce chapitre a présenté les différentes étapes et procédés d'épuration permettant de réduire efficacement la charge polluante des eaux usées. Ces traitements visent à atteindre une qualité physico-chimique et microbiologique conforme aux normes en vigueur, afin de limiter les impacts environnementaux et sanitaires. L'épuration des eaux usées permet ainsi leur rejet sécurisé dans le milieu naturel ou leur réutilisation dans divers secteurs tels que l'agriculture, l'industrie ou les usages urbains non potables. Le respect des normes de qualité est essentiel pour garantir la protection des écosystèmes et des populations.

CHAPITRE III

Traitement tertiaire & réutilisation des eaux usées épurées

III.1 Introduction

La gestion de l'eau devient un enjeu majeur en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation, du développement industriel et des effets du changement climatique. La réutilisation des eaux purifiées (REUE) constitue une solution stratégique pour compléter les ressources conventionnelles et traiter l'eau destinée à des usages spécifiques non potables. Cette approche s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire et de préservation de l'environnement. Le traitement tertiaire joue un rôle central dans la réutilisation des eaux usées épurées (REUE), en permettant une amélioration poussée de la qualité de l'eau. Il vise à éliminer les matières en suspension, les nutriments, les micropolluants ainsi que les agents pathogènes, afin de produire une eau conforme aux normes de réutilisation pour divers usages non potables tels que l'irrigation agricole, l'entretien des espaces verts, le refroidissement industriel, la recharge des nappes phréatiques ou encore certains usages urbains. Ce chapitre a pour objectif de présenter les principes, les technologies et les exigences réglementaires du traitement tertiaire dans le contexte de la REUE, en mettant l'accent sur les procédés les plus adaptés à chaque type d'usage, ainsi que sur les enjeux sanitaires et environnementaux associés.

III.2 Réutilisation des eaux usées épurées (REUE)

La réutilisation des eaux usées épurées (REUE) consiste à récupérer les effluents traités en station d'épuration, à leur appliquer un traitement complémentaire adapté, puis à les valoriser pour divers usages non potables ou, dans certains cas, pour la production d'eau potable. Ce procédé présente un double avantage : d'une part, il permet de réduire les rejets dans le milieu naturel, contribuant ainsi à la protection des ressources hydriques ; d'autre part, il offre une source d'approvisionnement alternative en eau, particulièrement précieuse dans les contextes de stress hydrique.

Bien que la REUE soit déjà mise en œuvre dans de nombreux pays, pour des applications allant de l'irrigation agricole à la recharge de nappes ou à la production d'eau potable, sa généralisation reste parfois freinée par des réticences liées aux risques sanitaires perçus. Ces préoccupations concernent notamment la présence potentielle de contaminants microbiologiques ou chimiques résiduels, susceptibles d'affecter la santé publique (Lazarova et Brissaud, 2007).

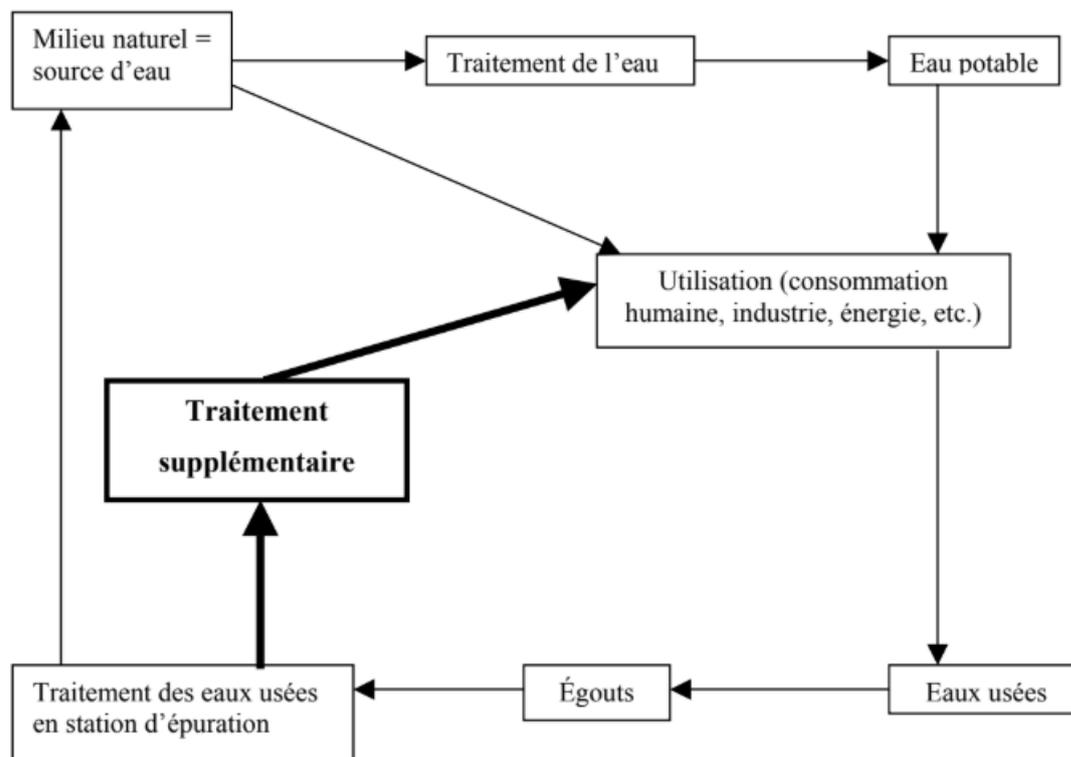


Figure III.1 La réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement (Baumont et al. 2004)

Les principales utilisations des eaux usées épurées sont

- La REUE dans le secteur industriel ;
- La REUE en zone urbaine ;
- Production d'eau potable ;
- Recharge de nappes souterraines ;
- La REUE dans le secteur agricole

III.2.1 La REUE dans le secteur industriel

Dans ce contexte, on parle de la réutilisation d'eaux usées domestiques traitées, issues principalement des zones urbaines, pour des usages industriels. Il ne s'agit donc pas de la réutilisation d'eaux usées générées par l'industrie elle-même. Les entreprises industrielles disposent souvent de leurs propres stations de traitement pour gérer leurs effluents spécifiques, qu'elles peuvent parfois réutiliser en interne. Ce type de réutilisation ne sera pas abordé ici.

L'objectif est de se concentrer sur la valorisation des eaux usées urbaines traitées dans des applications industrielles. La REUE industrielle peut être intéressante dans le secteur de

CHAPITRE III Traitement tertiaire&Réutilisation des eaux usées épurées

l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électronique et de semi-conducteurs. La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels. Les préoccupations concernent principalement les phénomènes d'entartrage, de corrosion, de développement de bactéries, d'encrassement, de formation de mousse et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problème sanitaire spécifique à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages (Faby et Brissaud, 1997).

III.2.2 La REUE en milieu urbain

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles
- le lavage de voirie, réservoirs antiincendies, etc.

La REUE en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable. Il peut y avoir un réseau double à l'échelle de la ville entière ou à l'échelle de l'habitation. Lors de la modification d'un système déjà existant, l'installation d'un second réseau de distribution peut représenter jusqu'à 70 % du prix d'un projet de REUE, ce qui peut rendre le projet économiquement irréalisable ; cependant, si le double réseau est installé en une seule fois, lors de la construction d'un nouveau lotissement par exemple, le coût est moins élevé. Ainsi, le surcoût de l'installation d'un réseau double dans un immeuble en construction est inférieur à 10 % du prix du réseau non doublé (Ecosse D., 2001).

La qualité requise dans les projets de REUE en zone urbaine a des exigences similaires aux autres réutilisations, avec quelques variantes :

- La qualité esthétique est importante : la présence de mousse, d'algues, etc. est à éviter (mauvaise perception de la part du public). Il faut également réduire le développement d'insectes (moustiques...) ;

CHAPITRE III Traitement tertiaire&Réutilisation des eaux usées épurées

- La présence d'une faune concentrant des polluants (mercure, DDT, etc.) peut poser problème pour les activités de pêche (Djeddi., 2007).

La plupart des pays leaders dans le domaine de la REUE urbaine sont des nations développées avec une urbanisation élevée (comme les États-Unis, le Japon, la Corée du Sud et l'Allemagne) (Ramade., 2000).

III.2.3 Production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel ; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « pipe to pipe »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie (Asano., 1998). Cependant, ce mode de REUE sans passer par le traitement supplémentaire offert par le milieu naturel est déconseillé ; il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible (Crook., 1999).

III.2.4 Recharge de nappes souterraines

Le principal motif de l'importance de la recharge des nappes phréatiques est la détérioration de leur qualité environnementale et/ou la réduction de leur volume d'eau. Cette pratique de réutilisation se déroule principalement dans des régions arides confrontées à des enjeux d'assèchement des nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont submergées par l'eau de mer (Djeddi., 2007).

Il existe deux méthodes pour la mise en œuvre d'une recharge artificielle des nappes phréatiques :

A. Par percolation

C'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m³ par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation (Asano., 1998).

B. Par recharge directe

C'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe. Chaque jour, 57 000 m³ sont déversés dans la nappe (Asano., 1998).

III.2.5 La REUE dans le secteur agricole

L'irrigation, l'activité humaine la plus consommatrice d'eau, a été pionnière dans le développement de projets REUE, certains pays élaborant des politiques nationales pour faire face aux pénuries d'eau, réduisant ainsi la consommation de ressources. Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligo-éléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants, qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique (Asano., 1998). Il est toutefois crucial de ne pas ajouter ces éléments fertilisants en excès et sans contrôle, car cela entraîne un triple risque :

➤ Risque sanitaire

Les MES protègent les micro-organismes de beaucoup de traitements, comme les traitements au chlore ou aux ultraviolets. Il existe donc une compétition entre à l'élimination des micro-organismes et la préservation de MES en vue d'une utilisation agricole (Faby et Brissaud., 1997)

➤ Risque technique

Si les MES sont présentes en trop grand nombre, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations et systèmes d'irrigation ;

➤ Risque agronomique et environnemental

Il est possible que les éléments soient apportés en excès. Dans ce cas, il y a un risque de pollution des sols et de diminution du rendement. Les taux en éléments nutritifs (nitrate essentiellement) et la salinité de l'eau utilisée (cause de la dégradation des sols) sont de première importance. Il faut donc trouver le bon équilibre entre le niveau de traitement, les besoins des cultures et la nature du sol.

III.3 Classes de qualité des eaux usées traitées

En Algérie, la réutilisation des eaux usées traitées est encadrée par plusieurs textes réglementaires, notamment le décret exécutif du 20 mai 2007 et l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012. Ces textes fixent des seuils de qualité physico-chimique et microbiologique (MES, DBO₅, germes fécaux, etc.) selon les usages agricoles, avec une distinction basée sur les types de cultures à irriguer (cultures maraîchères, fourragères, arboricoles, etc.). Toutefois, contrairement à certains pays, l'Algérie ne dispose pas d'un système de classification standardisé des eaux usées traitées. À titre de comparaison, la France applique une approche plus structurée grâce à l'arrêté du 2 août 2010, qui établit quatre classes de qualité (A, B, C, D) selon le niveau de traitement et les usages permis. Chaque classe correspond à des seuils précis pour des paramètres comme la DBO₅, les MES et les pathogènes, et détermine les utilisations possibles, allant de l'irrigation de cultures alimentaires consommées crues à l'irrigation de cultures industrielles ou fourragères.

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Tableau III.1 Classes de qualité des eaux usées traitées (Brice, 2015).

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
DCO (mg/l)	< 60			
Escherichia coli (UFC/100ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spoires de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2

ARN F-spécifiques est indicateurs de la contamination virale dans les eaux usées, car :

- Ils sont plus résistants que les bactéries aux traitements classiques,
- Ils permettent d'évaluer l'efficacité des traitements de désinfection vis-à-vis des virus.

Pour la majorité des situations, l'eau traitée usée doit atteindre le niveau de qualité A (Tableau III.1) pour pouvoir être réutilisée.

III.4 Les risques sanitaires de la REUE

Des études montrent que, si l'eau usée est bien traitée, les risques pour la santé restent faibles. Les personnes qui utilisent cette eau, par exemple dans les parcs ou près des bassins, ne courent pas plus de risques que celles qui utilisent de l'eau conventionnelle (Devaux, 1999). Même les professionnels exposés à cette eau ne sont pas plus souvent malades que la population en général. Le risque lié aux microbes est peu étudié, car l'exposition est généralement faible et les traitements sont efficaces pour les éliminer (Ayers, 1977).

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Afin de déterminer les exigences de traitement des eaux usées en fonction des usages envisagés, la figure ci-dessous illustre de manière synthétique la gradation des traitements nécessaires selon les polluants à éliminer et les objectifs de réutilisation. Elle met en évidence le lien entre le niveau de traitement appliqué (du traitement primaire à l'affinage, à la désinfection et à l'élimination des micropolluants) et les usages possibles des eaux usées traitées, allant de l'irrigation agricole à la recharge de nappes, en passant par les usages industriels, urbains ou même la production d'eau potable. Cette approche concentrique permet de visualiser les barrières successives à mettre en place pour garantir une qualité sanitaire et environnementale conforme aux usages visés (Figure III.2).

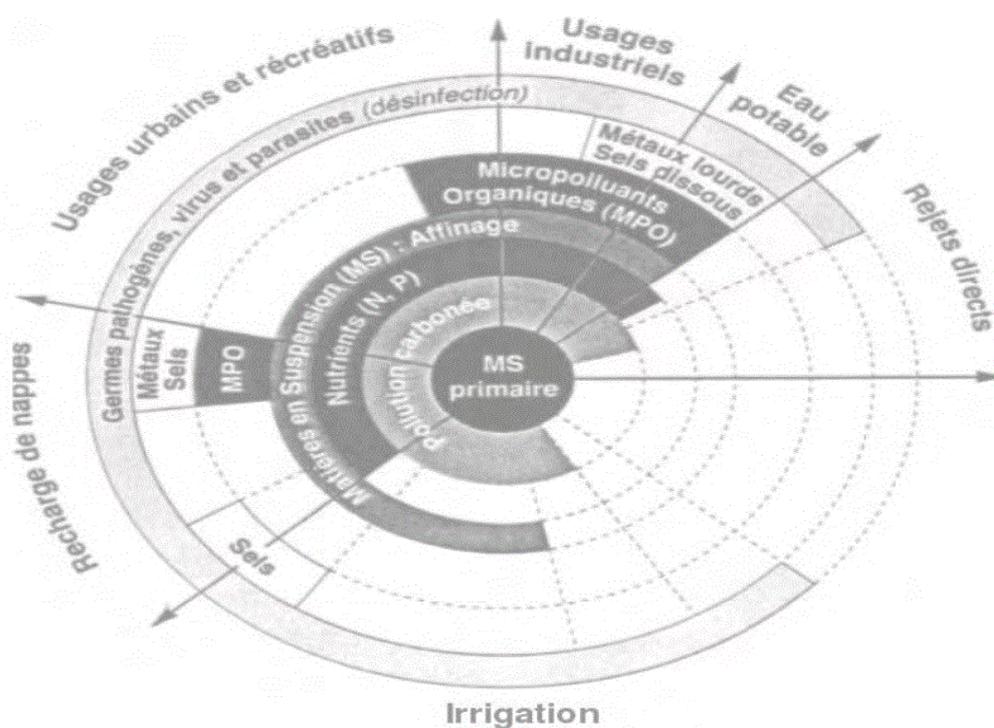


Figure III.2 Les différents paramètres à traiter en fonction de la réutilisation souhaitée (Ecosse, 2001).

D'après la figure III.2, Le diagramme radial montre :

- Au centre : les étapes de traitement des eaux usées et les polluants progressivement éliminés. Chaque anneau représente un niveau de traitement :
1. MS primaire : matières solides (MS) grossières et pollution facilement décantable.
 2. Pollution carbonée : élimination de la DBO/DCO.

CHAPITRE III Traitement tertiaire&Réutilisation des eaux usées épurées

3. Nutriments (N, P) : azote et phosphore.
 4. Matières en suspension (MS) et affinage.
 5. Micropolluants organiques (MPO).
 6. Métaux lourds, sels, gaz dissous.
 7. Germes pathogènes, virus et parasites (désinfection).
- Vers l'extérieur : les usages possibles des eaux usées en fonction de leur niveau de traitement. Chaque direction indique un usage potentiel :
1. Irrigation : nécessite surtout l'élimination des sels, MS, et nutriments.
 2. Recharge de nappes : exige un traitement avancé pour éliminer germes, métaux, sels et MPO.
 3. Usages urbains et récréatifs : requièrent une désinfection complète.
 4. Usages industriels : nécessitent l'élimination des micropolluants, métaux lourds et sels.
 5. Eau potable : impose le traitement le plus poussé.
 6. Rejets directs dans le milieu naturel : selon les normes environnementales, surtout pour les rivières ou mers sensibles.

III.5 Traitement tertiaire

L'objectif final des eaux traitées n'est pas le même que celui d'un rejet STEP direct. Il est donc essentiel de mettre en œuvre un traitement tertiaire et de choisir les procédés les plus adaptés à la réutilisation et à la qualité des effluents souhaités. Les traitements tertiaires éliminent les substances indésirables afin d'atteindre un objectif de qualité prédéfini. Par exemple, en irrigation, les agents pathogènes doivent être éliminés pour préserver les nutriments, tandis que dans l'environnement ou pour la recharge des nappes, l'azote et le phosphore doivent être éliminés pour éviter l'eutrophisation (Dunglas, 2014). La qualité d'eau la plus couramment requise pour la réutilisation des eaux traitées est le niveau A (Tableau III.1). Ce procédé permet d'éliminer les polluants suivants :

- A.** Les matières en suspension et matière Organique colloïdales ;
- B.** L'Azote et du Phosphore ;
- C.** Les pathogènes (Les virus, bactéries, et helminthes) (MESLEM, 2024).

Le traitement tertiaire est appliqué en deux étapes :

A. Traitement primaire et traitement secondaire) :

- déphosphoration ;
- Nitrification et dénitrification.

B. Après clarification secondaire :

- Filtration ;
- Désinfection (MESLEM, 2024).

Des procédés tertiaires de filtration sont disponibles pour éliminer les matières en suspension et les matières organiques. Les méthodes de filtration courantes comprennent la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nano filtration (NF), l'osmose inverse (OI) et la filtration granulaire (sable, anthracite). L'infiltration-percolation peut également être utilisée comme traitement de finition. Les performances varient selon le type de filtration et les paramètres, mais la plupart présentent un rendement de 70 % pour l'infiltration-percolation (Boutin & al, 2009).

Cependant, la mise en place de ces procédés, qui abattent la pollution organique et les MES, est dépendante de la nature des ouvrages situés à l'amont. Si le traitement secondaire est un bioréacteur à membranes et que l'effluent à traiter est peu chargé, les paramètres DBO₅, DCO et MES en sortie se retrouvent en concentration infime. La mise en place d'un traitement tertiaire n'est alors peut-être pas nécessaire, ce qui est rarement le cas lors d'un traitement secondaire par boues activées. Plusieurs configurations sont alors possibles pour obtenir une eau de qualité A à la fin du traitement tertiaire. L'abattement de la pollution dépend du traitement tertiaire utilisé et du paramètre considéré (Tableau III.3) (Boutin & al, 2009).

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Tableau III.2 Performances (en %) des différents traitements tertiaires (Boutin & al, 2009).

	MF	UF	NF	OI	Filtration surmilieu granulaire	Infiltration-Percolation
DBO	75-90	80-90	COT : 90 – 98	COT : 90 -98		60 - 100
DCO	70-85	75-90				30 - 50
MES	95-98	96-99.9	40-60	90-98	1 à 8 mg/L	65 - 95

III.5.1 Interprétation par procédé

-MF (Microfiltration)

- Élimine efficacement les MES (95–98 %).
- Bonne réduction de DBO et DCO.

-UF (Ultrafiltration)

- Meilleure que MF, surtout sur les MES (jusqu'à 99,9 %).
- DBO/DCO bien réduites aussi.

-NF (Nanofiltration) et OI (Osmose Inverse)

- Très efficaces sur le **COT (Carbone Organique Total)** : 90–98 %. (COT est plus large que DBO/DCO car il inclut tout le carbone organique.)
- OI est aussi très performante sur les MES (90–98 %).
- NF est moins performante sur les MES (40–60 %).

-Filtration lente sur milieu granulaire

- Efficacité exprimée uniquement sur les MES : **1 à 8 mg/L résiduels**.

Infiltration–percolation

- Efficacité **variable** mais potentiellement élevée :
 - DBO : 60–100 %
 - DCO : 30–50 %
 - MES : 65–95 %

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Tableau III.3 Comparaison des principaux procédés tertiaires de traitement des eaux usées (Tchobanoglous, G et al, 2014)

Procédé	Efficacité globale	DBO/DCO	MES	Usages adaptés	Coût / Complexité
MF (Microfiltration)	Bonne	Moyenne	Très bonne (95–98%)	Irrigation, usages urbains simples	Modéré
UF (Ultrafiltration)	Très bonne	Bonne	Excellente (96–99,9%)	Industrie, irrigation de cultures sensibles	Modéré à élevé
NF (Nanofiltration)	Spécifique (COT)	–	Moyenne (40–60%)	Industrie, réduction du carbone organique total (COT)	Élevé
OI (Osmose Inverse)	Excellente	Très bonne (via COT)	Très bonne (90–98%)	Usages industriels exigeants, potabilisation, recharge	Très élevé
Filtration lente (granulaire)	Moyenne	–	1 à 8 mg/L	Irrigation agricole	Faible
Infiltration–percolation	Variable	Moyenne à bonne	65–95%	Recharge de nappes, irrigation	Faible à modéré

Il convient de souligner que pour une éventuelle réutilisation en irrigation agricole, les techniques de nano filtration et d'osmose inverse ne sont pas adaptées. Bien qu'ils soient très efficaces pour réduire les populations de bactéries et de virus, ils ne parviennent pas à supprimer les ions et les matières organiques qui rendent la réutilisation des eaux usées attrayante, puisqu'elles sont indispensables à la croissance des végétaux. En revanche, ces deux méthodes demeurent très attrayantes pour la réutilisation des eaux dans le secteur industriel.

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Tableau III.4 Performance des différentes filières de traitements (BA + traitement tertiaire) permettant une eau de qualité A (Boutin & al, 2009).

Procédé	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)
MF	Résiduelle	Résiduelle	Résiduelle
UF	Résiduelle	Résiduelle	Résiduelle
Filtration lente sur milieu granulaire	< 15	< 60	< 15

Le tableau compare l'efficacité de trois procédés de traitement tertiaire sur trois polluants : **DBO₅, DCO, et MES.**

Microfiltration (MF) et Ultrafiltration (UF) :

- Très performantes, laissent seulement des quantités résiduelles de polluants.
- Adaptées aux usages exigeants (industriels, récréatifs, etc.).

Filtration lente sur milieu granulaire :

- Efficacité modérée :
 - DBO₅ < 15 mg/L
 - DCO < 60 mg/L
 - MES < 15 mg/L
- Convient à des usages moins contraignants comme l'irrigation ou la recharge de nappes.

III.5.2 Elimination de l'Azote et du Phosphore

- **Elimination de l'Azote**

Dans certaines situations, les performances d'élimination de l'azote en sortie de station d'épuration ne sont pas suffisantes pour répondre aux exigences réglementaires. Il devient alors nécessaire d'ajouter une étape de traitement complémentaire, généralement placée en aval du traitement biologique secondaire, visant à affiner la nitrification et/ou la dénitrification. Ce traitement tertiaire de l'azote repose sur des procédés biologiques combinés à des supports filtrants, tels que les biofiltres, reconnus pour leur efficacité dans

CHAPITRE III Traitement tertiaire&Réutilisation des eaux usées épurées

l'élimination de l'azote résiduel notamment pour la nitrification. En ce qui concerne la dénitrification tertiaire, un apport de carbone organique facilement biodégradable (comme le méthanol ou l'acétate) est indispensable pour satisfaire les besoins métaboliques des bactéries dénitrifiantes hétérotrophes. Ces procédés permettent de réduire significativement les concentrations en azote, mais leur application dans le contexte des eaux usées urbaines reste limitée en raison de leur complexité technique et de leur coût élevé (Franck, 2002).

- **Elimination du phosphore**

La déphosphatation constitue une étape essentielle du traitement tertiaire des eaux usées, en réponse à l'enrichissement croissant en phosphates issus des produits d'entretien et des pratiques agricoles. Deux approches principales sont utilisées : la déphosphatation biologique, qui repose sur l'accumulation du phosphore par la biomasse au cours du traitement biologique secondaire, et la déphosphatation physico-chimique, consistant en l'ajout de chlorure ferrique pour précipiter les phosphates sous forme de phosphate de fer, éliminés ensuite par décantation (Franck, 2002).

III.5.3 Elimination des pathogènes

L'eau utilisée après STEP contient une grande variété de micro-organismes, virus, bactéries, protozoaires et helminthes, provenant de l'environnement et des matières fécales, et qui sont des agents pathogènes. Cependant, leur évaluation individuelle est difficile ; la présence de germes indicateurs est donc recherchée. Le tableau suivant présente la composition microbiologique d'une eau usée conventionnelle et des organismes indicateurs (Boutin et al, 2009).

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Tableau III.5 Composition microbiologique d'une eau résiduaire urbaine (Brice, 2015).

Organismes	Concentration (unité/l)	Organismes indicateurs de pathogènes humains	Concentration maximale
(d'après WHO et al, 2006)		(d'après Asino et al, 2007)	
Virus		Bactériophages	
Virus entériques	$10^5 - 10^6$	Coliphages somatiques	10^4 UFP ⁴ /100 ml
Rotavirus	$10^5 - 10^5$	Coliphages RNA-F	
Bactéries		Bactéries	10^9 UFC ⁸ /100 ml
Coliformes thermtolérants	$10^8 - 10^{10}$	Coliformes thermtolérants	
Campylobacter jejuni	$10 - 10^4$	E. Coli	10^8 UFC/100 ml
Salmonella spp.	$1 - 10^5$	Entérocoques intestinaux	
Shigella spp.	$10 - 10^4$		
Vibrio cholerae	$10^2 - 10^5$		
Protozoaires		Protozoaires	10^5 UFC/100 ml
Crypto sporidium parvum	$1 - 10^4$	Clostridium perfringens	
Entamoeba histolytica	$1 - 10^2$		
Gierdia intestinalis	$10^2 - 10^5$		
Helminthes	$1 - 10^3$	Helminthes	10^3 Œufs/100 ml
Ascaris lumbricoides	$1 - 10^3$	Œufs d'ascaris	
Ancylostomaduodenale/Necator americanus	$1 - 10^2$		
Trichistrichiura			

Les procédés comme l'osmose inverse, l'ultrafiltration et la nanofiltration permettent d'éliminer la plupart de ces pathogènes. Mais il peut y avoir une nouvelle contamination à l'aval. Il est donc nécessaire d'ajouter une étape de désinfection. Elle élimine et empêche tout développement de pathogènes lors de la réutilisation.

Les caractéristiques principales d'un procédé de désinfection sont les suivantes :

- Être efficace sur les microorganismes pathogènes.
- Ne pas engendrer la formation de sous-produits indésirables.
- Être non dangereux pour la santé et l'environnement (MESLEM, 2024).

III.5.4 Les procédés de traitement tertiaire

Après les étapes primaires et secondaires, qui permettent respectivement l'élimination des matières grossières et la réduction de la charge organique biodégradable, certaines substances résiduelles persistent dans les eaux usées traitées. Pour répondre aux exigences croissantes de qualité, notamment dans le cadre de la réutilisation ou du rejet dans des milieux sensibles, il devient nécessaire d'intégrer une phase de traitement tertiaire. Ce dernier vise à affiner l'épuration en ciblant des polluants spécifiques tels que les matières en suspension résiduelles, les nutriments (azote, phosphore), les agents pathogènes ou les micropolluants. Plusieurs procédés sont disponibles, et leur sélection dépend des objectifs de traitement, du contexte réglementaire et des usages envisagés pour l'eau épurée.

III.5.4.1 Procédé d'élimination des matières en suspension et des matières organiques colloïdales (la Filtration)

Plusieurs systèmes de filtration sont possibles pour abattre la pollution des matières. Les procédés les plus courants sont la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI), qui peut également être utilisée comme traitement de finition.

La filtration constitue une étape essentielle du traitement tertiaire des eaux usées, visant à éliminer les matières en suspension (MES) et les matières organiques colloïdales. Ce procédé repose sur le passage de l'eau à travers un milieu poreux qui retient les particules solides, tandis que le liquide clarifié — appelé filtrat — s'écoule (Figure III.3).

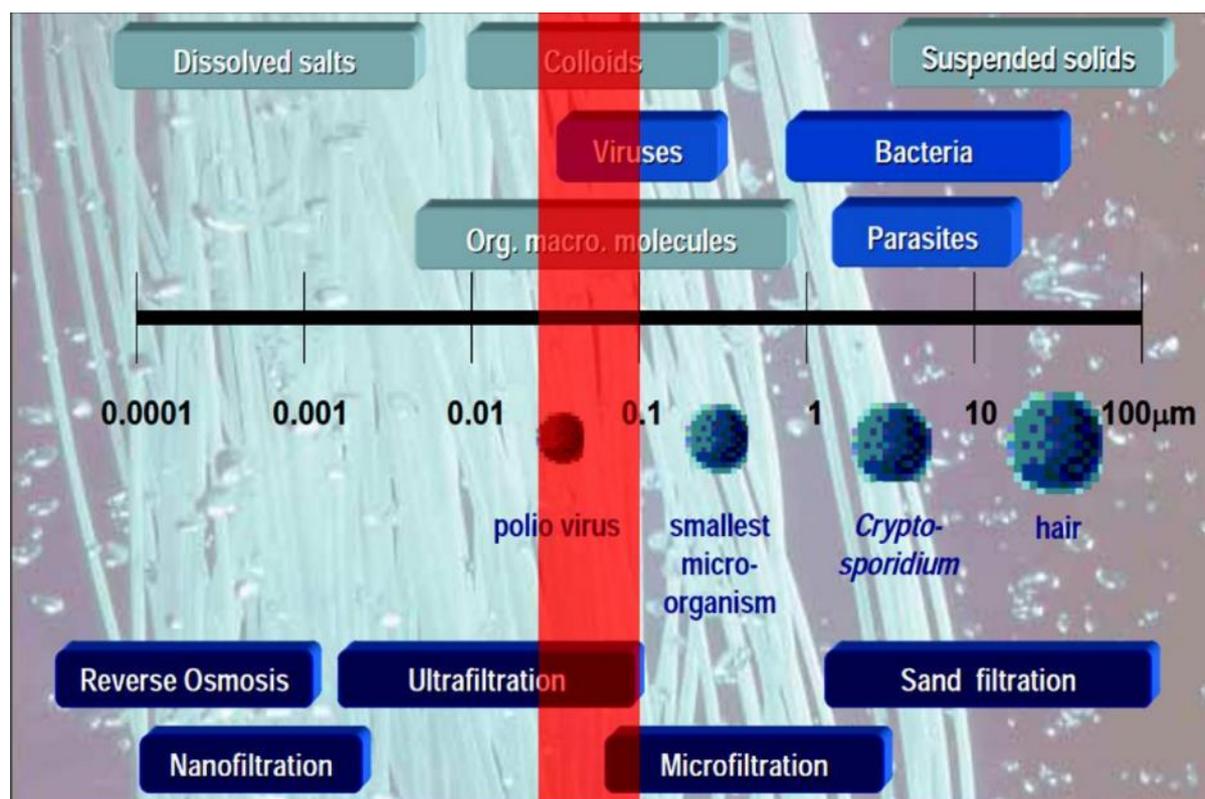


Figure III.3 Classification des particules et efficacité des différentes membranes de filtration (MESLEM, 2024).

On distingue principalement deux types de filtration : la filtration en profondeur, réalisée à travers un lit granulaire (comme le sable), et la filtration avec formation de gâteau, où les particules s'accumulent en surface du filtre. L'un des phénomènes limitant de ce procédé est le colmatage, c'est-à-dire l'obstruction progressive des interstices du matériau filtrant. Celui-ci entraîne une augmentation de la perte de charge et, en fonctionnement à pression constante, une diminution du débit de l'eau filtrée. Le taux de colmatage dépend de plusieurs facteurs, notamment de la charge en MES de l'eau à traiter, de la vitesse de filtration et des caractéristiques physiques du matériau filtrant (taille et homogénéité des pores, rugosité, nature du matériau). Le filtre est considéré comme colmaté lorsque la perte de charge maximale prédéfinie est atteinte (Boutin et al., 2009). Parmi les techniques les plus courantes figure la filtration sur lit granulaire, où l'eau percole à travers une ou plusieurs couches de matériaux filtrants. Le sable quartzique est traditionnellement utilisé, mais d'autres matériaux ou combinaisons multicouches sont également employés pour améliorer les performances. On peut également recourir à du charbon actif granulé afin de coupler la filtration mécanique à un traitement par adsorption de certains polluants organiques ou résiduels. Pour certains traitements biologiques, des matériaux à forte surface spécifique tels que les pouzzolanes et

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

l'anthracite (Figure III.4). Le choix du type de lit filtrant dépend de la nature de l'eau à traiter (eaux brutes, décantées ou effluents secondaires), du niveau de qualité visé, ainsi que du type d'installation (filtration sous pression ou en milieu ouvert). (Meslem, 2024)



Pouzzolanes Anthracite

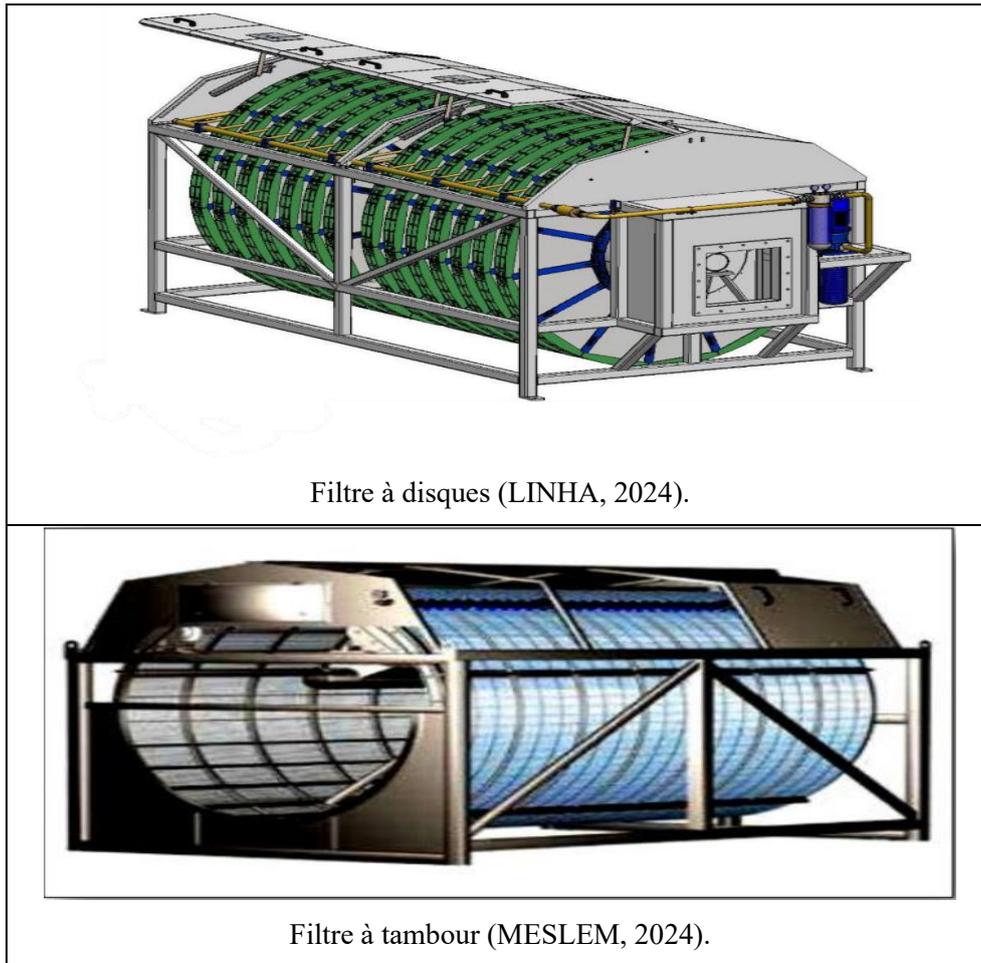
Figure III.4 Les matériaux utilisés pour la filtration (MESLEM, 2024).

NB : La taille des œufs d'helminthes est comprise entre 20 et 100 μm , bien protégés, ne sont pas touchés par les différents modes de désinfection. Par contre, la filtration sur matériaux granuleux permet d'atteindre une concentration finale inférieure à 1 par litre et ce conformément aux recommandations en vigueur (MESLEM, 2024).

Tableau III. 6 Les équipements de filtration



Plancher d'un filtre (MESLEM, 2024).



Le dimensionnement des appareils varie selon les constructeurs. Mais les paramètres clés pris en compte sont généralement les mêmes, à savoir :

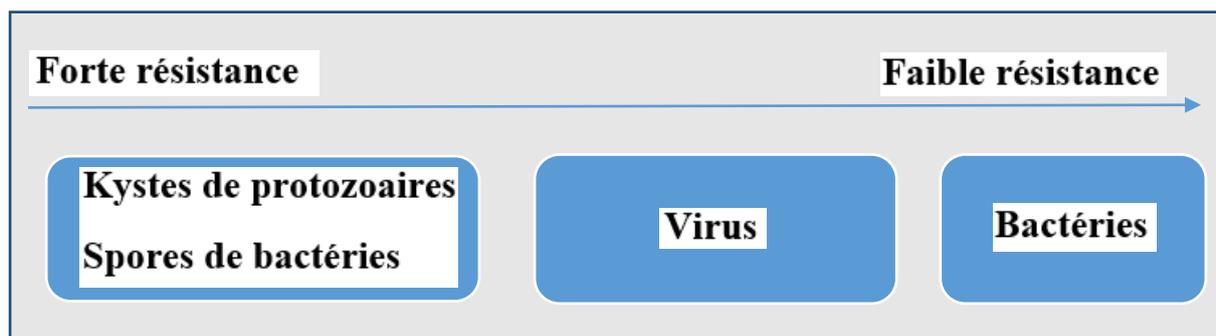
- La vitesse de filtration : Elle est souvent comprise entre 8 et 13 m/h ou $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ sur la pointe, en fonction de la concentration en MES appliquée.
- La concentration en MES de l'effluent à traiter : Elle varie entre 20 et 40 mg MES/l et intervient dans le choix de la maille.
- Le flux entrant (g de MES/ m^2 de toile filtrante par heure) : À chaque toile correspond un flux maximum au-delà duquel elle risque de ne plus pouvoir filtrer efficacement.

III.5.4.2 Pour Elimination des pathogènes (La désinfection)

La désinfection de l'eau permet la désactivation et/ou l'élimination des microorganismes pathogènes présents dans les eaux à traiter. Elle agit généralement en entraînant une altération de leurs parois cellulaires ou en modifiant leur perméabilité cellulaire et/ou leurs activités enzymatiques. Ces perturbations dans leurs activités cellulaires empêchent les

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

microorganismes de se développer et de se reproduire. La majeure partie des microorganismes pathogènes présents dans les eaux usées sont éliminés par les étapes de traitement de l'eau, tels que les traitements biologiques aérobie où ils entrent en compétition avec la biomasse épuratrice et la décantation où ils sont piégés dans les floes de boues décantées. Pour avoir une eau de qualité microbiologique supérieure, une étape de désinfection peut être ajoutée en affinage (Franck, R, 2002).



La méthode la plus ancienne de désinfection est l'utilisation de chlore. Le chlore est injecté directement dans les eaux usées. Il peut être utilisé sous forme de chlore gazeux, d'hypochlorite de sodium et de bioxyde de chlore. Cet oxydant très puissant permet l'élimination de la plupart des microorganismes pathogènes même à faible dose, il endommage les membranes des cellules. C'est une technique très facile à mettre en place et peu coûteuse. Toutefois, la désinfection des eaux usées par chloration peut avoir un impact négatif sur la faune et la flore aquatique (toxicité du chlore résiduel). De plus, les réactions entre le chlore et les matières organiques restantes dans les eaux peuvent former des sous-produits organochlorés, parfois cancérigènes. Pour éviter ces effets non désirés, une étape de déchloration est ajoutée (Brice, 2015).

B. La désinfection par l'ozone

L'ozone est un gaz oxydant très puissant, qui permet de dégrader la matière organique et d'éliminer les principales sources pathogènes présentes dans l'eau, son potentiel d'oxydation est de 2,07. Il est nettement supérieur à celui du chlore qui n'est que de 1,35. Il peut oxyder les bactéries et les virus. Les propriétés de l'ozone sont les suivantes, il est désinfectant, désodorisant, respectueux de l'environnement et purificateur (Brice, 2015).

La désinfection par l'ozone se déroule comme suit, l'eau en sortie de STEP est stockée dans une cuve tampon, elle sera ensuite pompée pour passer à travers un ou plusieurs filtres à tamis pour ensuite être introduite dans une « chambre d'impact ». C'est dans cette chambre

que sera injecté l'ozone, un mélange parfait entre l'ozone et l'eau est alors réalisé. C'est un générateur d'ozone qui produit l'ozone nécessaire au traitement. Il n'y a pas d'utilisation de produits chimiques, il faut juste de l'air et de l'électricité (Figure III.6). Environ 10 g/h/m³ d'eau d'ozone est suffisant pour éliminer l'ensemble des pathogènes avec un temps d'exposition est d'une heure. A la sortie de ce traitement tertiaire, l'eau peut être rejetée dans le milieu naturel ou être réutilisée. (Cauchy, 1996)

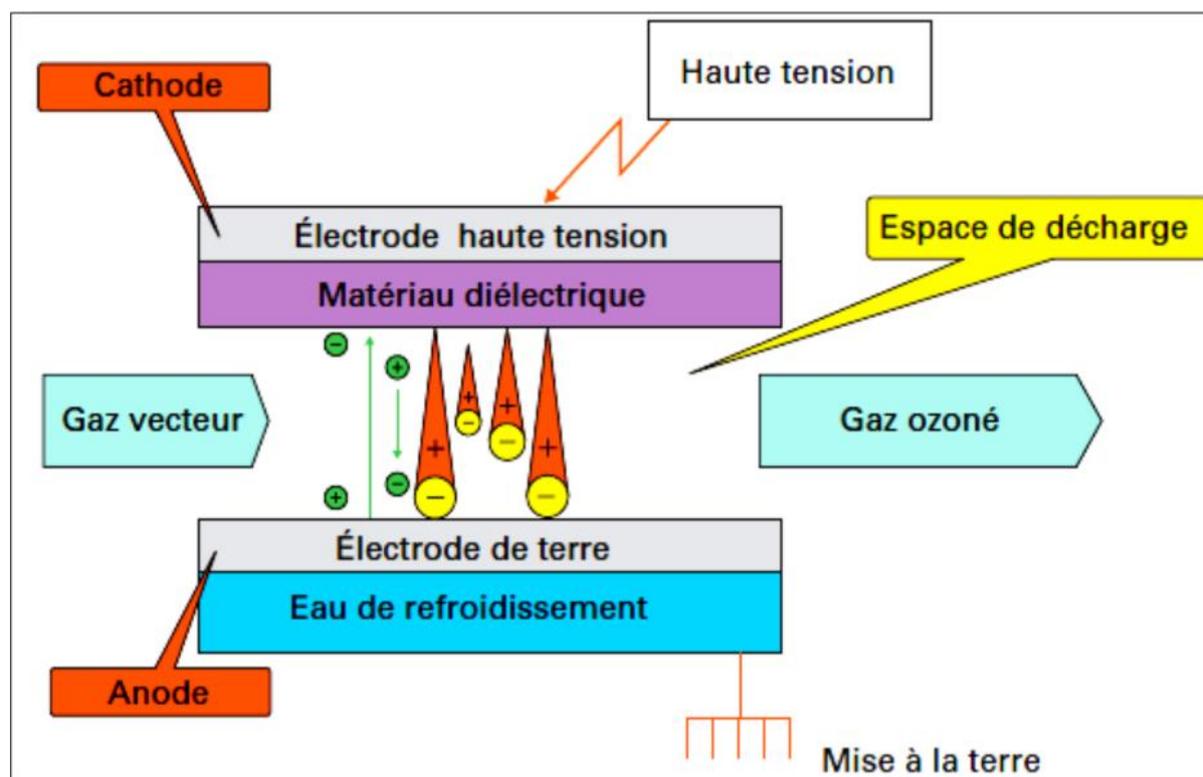


Figure III.6 Principe de production d'ozone par décharge électrique (MESLEM, 2024).

C. La désinfection par Le lagunage tertiaire

Le lagunage tertiaire consiste à utiliser plusieurs lagunes appelées « lagunes de maturation ». Elles sont de faibles profondeurs (entre 0,8 et 1,2m) et permettent une désinfection des eaux. grâce à une faible profondeur, le rayonnement UV réalise la désinfection. La présence d'algues aux pouvoirs germicides peut aussi participer à cette désinfection. La durée du temps de séjour est un facteur très important, plus le temps de séjour est long et plus l'élimination des microorganismes est notable (Boutin et al, 2009). Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. Par contre, l'élimination des virus est moins efficace. Il est nécessaire de surveiller le lagunage pour éviter toutes dégradations de la qualité à cause des développements d'algues et de végétaux ou à la présence d'animaux (Cauchy, 1996).

D. La désinfection par l'UV

Le procédé d'ultraviolet se place à la suite d'un traitement secondaire du type boues activées plus clarificateur. Les rayonnements UV sont des ondes lumineuses de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. Leur pouvoir germicide dépend de la longueur d'onde émise. Ce sont les UVc compris entre 200 et 280 nm qui sont les plus germicides (Figure III.7).

La source d'émission UV utilisée en désinfection est la lampe à vapeur de mercure. Il s'agit de lampes à arc électrique qui provoquent l'excitation des atomes de mercure, puis l'émission de radiations par retour à leur état fondamental (Brice, 2015).

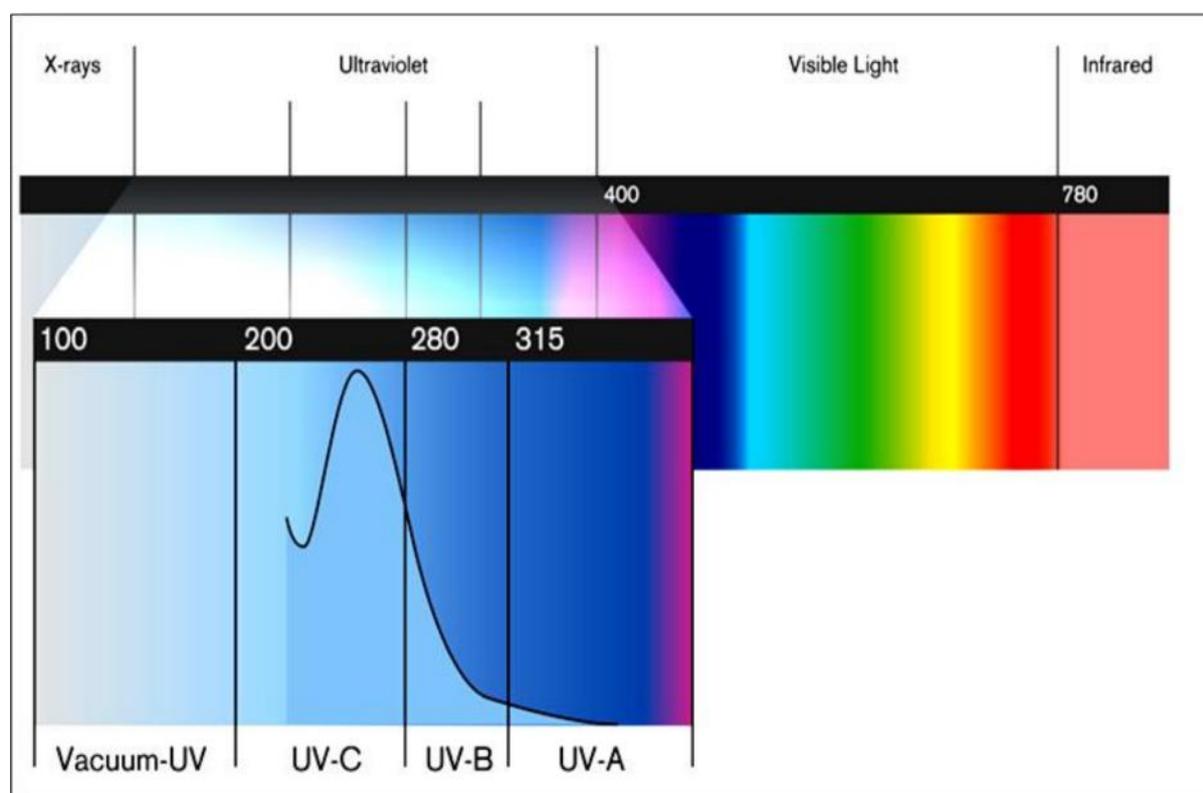


Figure III.7 Longueurs d'onde des rayonnements électromagnétiques utilisés en désinfection UV (MESLEM, 2024).

Les UV permettent donc d'éliminer les bactéries et les virus. Ils éliminent même les formes les plus résistantes comme les spores bactériennes ou les kystes. Des recherches ont montré que les UV détruisaient 1,8 fois plus de spores de *Clostridium perfringens* que le chlore. La dose est alors définie par le produit de l'intensité UV par le temps d'exposition des germes aux rayonnements.

Définition de la dose UV

$$\text{UV Dose (mWs/cm}^2\text{)} = \text{Intensité (mW/cm}^2\text{)} \times \text{Temps de contact (s)}$$

L'efficacité de la désinfection par UV dépend des paramètres de fonctionnement et de la qualité de l'effluent. Les plus importants sont :

- Le temps d'exposition : le temps d'exposition est fonction du débit et donc de la vitesse de passage de l'effluent dans l'installation. Il faut considérer le temps d'exposition moyen aux rayonnements UV, qui est fonction de la conception hydraulique du chenal. Le volume du réacteur doit être utilisé au maximum, en évitant les zones mortes pour profiter au mieux de l'énergie UV.
- L'intensité UV émise par les lampes : L'intensité UV nominale est fonction du nombre de lampes allumées. L'intensité reçue par l'effluent diminue avec l'éloignement par rapport à la lampe, notamment par dissipation de l'énergie dans un volume plus grand.
- Les matières en suspension : les rayons UV sont peu pénétrants. De ce fait, les MES peuvent fournir une protection aux micro-organismes pour plusieurs raisons : le rayon n'atteint pas la bactérie libre parce qu'une particule lui sert de protection ; la pénétration sera également incomplète ou nulle si la bactérie est adsorbée à une particule. Une teneur en M.E.S supérieure à 25 mg/l limite les performances de la désinfection par UV basse pression. Par contre, la filtration de l'effluent les améliore.
- La turbidité : elle intègre les MES et les matières dissoutes. On peut conclure que plus le traitement d'épuration en amont de la désinfection UV est efficace, plus les performances de la désinfection ne seront grandes (Brice, 2015).
- La transmittance : Les eaux usées traitées peuvent contenir des particules qui absorbent le rayon UV dirigé contre les bactéries. Plusieurs composés chimiques peuvent interférer avec la transmission du rayon UV. La méthode utilisée pour quantifier cette interférence est la mesure de la transmittance qui représente la quantité de lumière disponible pour irradier un micro-organisme à une distance donnée. En général, pour dimensionner un procédé de désinfection par des UV, on doit considérer la transmittance de l'effluent pour déterminer la dose nécessaire (MESLEM, 2024).

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

Tableau III.7 Facteurs influençant la dose UV (MESLEM, 2024).

Intensité	Temps de contact
Paramètre des équipements	Design du réacteur
<ul style="list-style-type: none">· Ecartement des lampes· Age des lampes· Incrustation des gaines de quartz	
Facteurs de qualité d'eau	
<ul style="list-style-type: none">· UV Transmittance· Turbidité· Matières en suspension	Débit

Le rayonnement UV agit sur le noyau de la cellule en causant des dommages à l'ADN (Figure III.8). Dommages causés sur l'ADN, les microorganismes sont inactivés. Les matières colloïdales, les matières organiques solubles et surtout les MES, après un traitement secondaire efficace, absorbent la lumière UV. Le nombre de lampes nécessaire augmente de façon exponentielle avec la baisse de la transmittance d'une eau résiduaire urbaine. Un effluent ayant une transmittance de 50 % peut demander deux fois plus de lampes qu'un effluent ayant une transmittance de 65 %. La dose nécessaire à une réduction de 4 Ulog en CF sera de 30 mJ/cm² pour une eau usée épurée ayant une transmittance de 65 % et une concentration en MES de 30 mg/l, tandis que 16-20 mJ/cm² suffisent aux eaux filtrées pour un même abattement de coliformes.

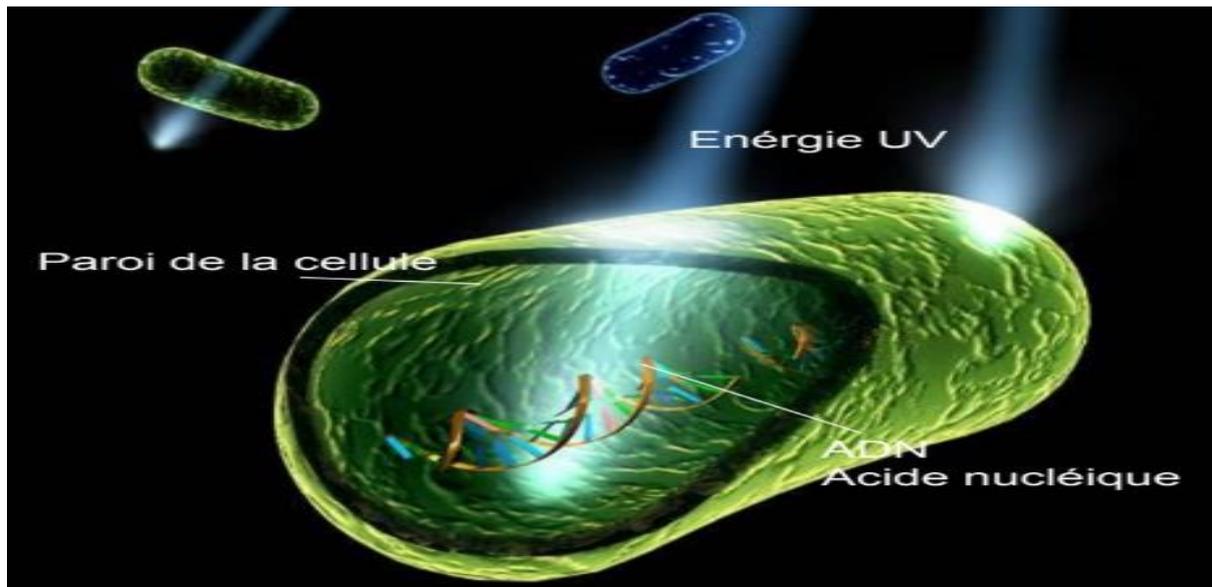


Figure III.8 Mécanisme d'action des rayonnements UV sur les micro-organismes (MESLEM, 2024).

La validation par essai biologique détermine avec précision la dose d'UV :

Un essai biologique est une procédure utilisée pour déterminer la dose d'UV d'un réacteur UV en mesurant l'inactivation d'un organisme infectieux avec différents débits et qualités d'eau.

Le client devra communiquer au fournisseur les informations suivantes :

1. Application ;
2. Le niveau de désinfection ;
3. la Dose UV ;
4. Transmittance UVT ;
5. Charge en MES ;
6. Débit maximum, minimum et moyen ;
7. Gravitaire ou en pression (Si en pression, la pression maximale) ;
8. Dispositif de Nettoyage automatique chimique et mécanique ;
9. Perte de charge maximale admissible (MESLEM, 2024).

CHAPITRE III Traitement tertiaire & Réutilisation des eaux usées épurées

III.5.5 Comparaison des techniques de désinfection

Tableau III.8 Comparaison des procédés de traitement tertiaire

TECHNIQUE	UV	OZONE	CHLORE GAZEUX	BIOXYDE DE CHLORE	EAU DE JAVEL
FORMULE CHIMIQUE	$\lambda = 254 \text{ nm}$	O ₃	Cl ₂	ClO ₂	NaClO
ETAT	Radiation électromagnétique	Gazeux	Gazeux	Gazeux	Liquide
PRINCIPE	Agit directement sur l'ADN des microorganismes et interrompt leur processus de vie et de reproduction	Décharge électrique dans l'oxygène entre deux électrodes Production d'un radical détruisant les microorganismes	Puissant désinfectant qui inhibe les fonctions enzymatiques des bactéries	Puissant désinfectant qui inhibe les fonctions enzymatiques des bactéries	Puissant désinfectant qui inhibe les fonctions enzymatiques des bactéries
EFFET RÉMANENT	Non	Non	Oui	Oui	Oui
EFFICACITÉ SUR BACTÉRIES	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
EFFICACITÉ SUR PROTOZOAIRES	Excellente	Bonne	Faible à moyenne	Bonne	Faible à moyenne
EFFICACITÉ SUR VIRUS	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente

III.6 Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées (REUE), rendue possible et sécurisée par le traitement tertiaire, s'impose comme une stratégie incontournable pour relever les défis de la gestion de l'eau. Plus qu'une simple option, elle est une nécessité pour assurer la pérennité de nos ressources hydriques face aux pressions croissantes. En transformant un déchet en une ressource précieuse, la REUE contribue activement à la résilience hydrique, à la protection de l'environnement et à un avenir plus durable.

CHAPITRE IV

Approche expérimentale d'optimisation du procédé d'épuration de la STEP de Saïda

IV.1 INTRODUCTION

Dans le cadre du présent travail, l'étude expérimentale vise à évaluer la charge bactériologique des eaux épurées de la STEP de Saïda, en vue d'améliorer l'efficacité du traitement secondaire par l'intégration d'un procédé tertiaire. Cette étape constitue un maillon fondamental du processus d'épuration, notamment lorsque les eaux traitées sont destinées à la réutilisation à des fins agricoles ou industrielles. Ce chapitre présente la démarche méthodologique suivie, détaille le mode opératoire des analyses microbiologiques réalisés pour caractériser les performances du traitement mis en place.

IV.2 Matériels et méthodes

La présente section expose les éléments nécessaires à la mise en œuvre de l'étude expérimentale, ainsi que la méthodologie suivie pour l'évaluation de la qualité microbiologique des eaux usées traitées par la station d'épuration de Saïda (STEP). Elle débute par une présentation du cadre géographique et institutionnel de l'étude, avant de détailler les modalités d'échantillonnage, les techniques d'analyse microbiologique employées, ainsi que les méthodes de calcul des charges polluantes.

IV.2.1 Situation géographique de la zone d'étude

La wilaya de Saïda constitue une unité territoriale importante de l'Ouest algérien. Elle s'étend sur une superficie de 7 562 km² et occupe une position stratégique, délimitée au nord par la wilaya de Mascara, à l'ouest par Sidi Bel Abbès, à l'est par Tiaret, et au sud par El Bayadh. Occupant une superficie de 75,84 km², la ville de Saïda bénéficie d'une position centrale au sein de la wilaya. Elle est délimitée par les communes de Ouled Khaled au nord, El Hassasna à l'est, Doui Thabet à l'ouest, et Aïn El Hadjar au sud. Grâce à sa situation géographique stratégique, la ville constitue un carrefour régional majeur, notamment en raison de son appui par les Routes Nationales n°6 et n°94, qui renforcent son rôle de nœud de communication et d'échanges (Figure III.1). Elle est située à une altitude de 830 mètres au-dessus du niveau de la mer, aux coordonnées géographiques approximatives de 34°50'00" N de latitude et 00°15'00" E de longitude.

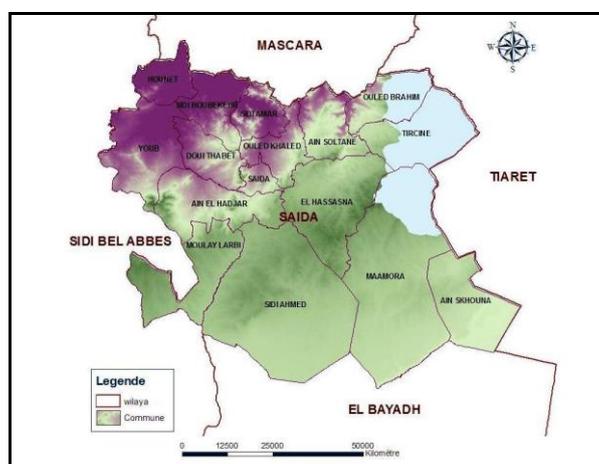


Figure IV.1 Localisation de la wilaya de Saïda

Elle s'inscrit dans le bassin hydrographique de la Macta, elle couvre une superficie de 6 765,40 km² et compte 16 communes réparties en 6 daïras. Selon les données de 2025, sa population s'élève à environ 469230 habitants (DH., 2025)

IV.2.2 Situation de l'alimentation en eau potable dans la commune de Saïda

La commune de Saïda, qui compte une population totale de 196 018 habitants, est entièrement desservie en eau potable. L'alimentation en eau repose exclusivement sur des ressources souterraines, avec une production journalière totale estimée à 47 290 m³/j, soit une dotation moyenne de 241 litres par habitant et par jour (l/hab/j) (Annexe 7).

Les apports proviennent de trois principales sources :

- Forages : 7 678 m³/j
- Sources naturelles : 4 188 m³/j
- Système de transfert de la Chaine Skhouna : 35 424 m³/j

Il est important de souligner que la wilaya de Saïda ne dispose d'aucune ressource en eaux superficielles. Ainsi, l'approvisionnement en eau potable de la commune repose entièrement sur les eaux souterraines, avec une dépendance marquée vis-à-vis du système de transfert Ain Skhouna, qui couvre à lui seul environ 75 % des besoins journaliers (DH., 2025).

IV.2.3 État de l'assainissement dans la wilaya de Saïda

La wilaya de Saïda bénéficie d'un réseau d'assainissement collectif unitaire, d'une longueur totale de 248,178 km, qui couvre la majorité des zones urbaines. Ce réseau est organisé autour de quatre collecteurs principaux assurant l'acheminement des eaux usées vers la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Saïda (Figure IV.2).

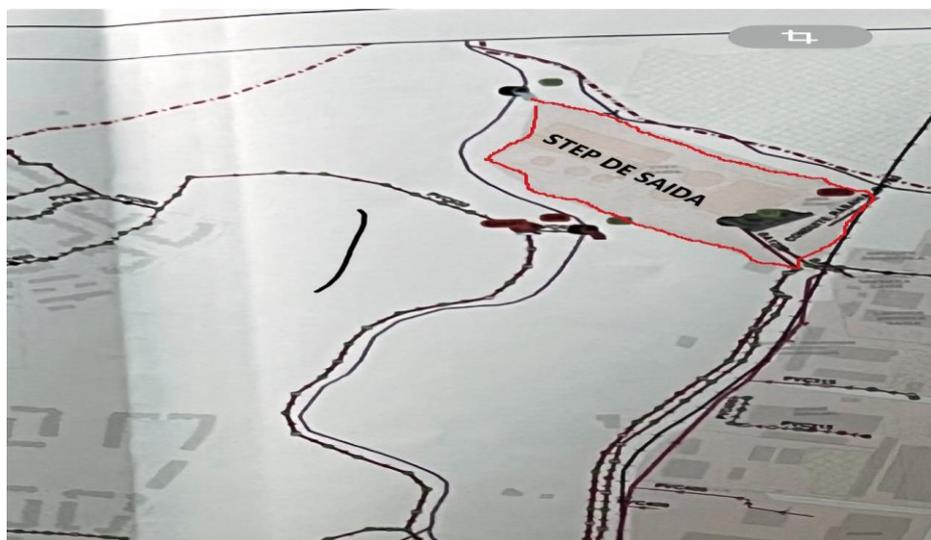


Figure IV.2 Les collecteurs principaux de la STEP de Saïda (DH., 2024)

Le taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement atteint 98 %, ce qui traduit une bonne couverture des besoins en assainissement au niveau de la wilaya. Le volume moyen des eaux usées rejetées est estimé à 34 813 m³/jour.

La STEP de Saïda, fonctionnant selon le procédé des boues activées, constitue l'infrastructure principale pour le traitement des effluents domestiques. Ce volume dépasse la capacité nominale de la STEP, fixée à 30 000 m³/jour, ce qui entraîne une surcharge du système de traitement, affectant son rendement et la qualité des rejets.

Dans ce contexte, et afin d'améliorer les performances de la station, tout en répondant aux exigences environnementales croissantes, un projet de réhabilitation de la STEP est actuellement en cours de lancement. Le cahier des charges correspondant est en voie d'approbation, marquant une étape cruciale vers la modernisation du système d'assainissement. Ce projet vise également à favoriser une meilleure valorisation des eaux usées traitées, notamment dans la perspective de leur réutilisation à des fins agricoles ou industrielles.

IV.2.4 Situation de l'activité agricole de la wilaya de saïda

La wilaya de Saïda présente un potentiel agricole significatif, avec une Superficie Agricole Totale (SAT) estimée à 511 348 hectares, dont 308 206 hectares sont classés comme Superficie Agricole Utile (SAU). Malgré cette étendue, la superficie effectivement irriguée reste relativement limitée, avec seulement 22 278 hectares bénéficiant d'un accès à l'eau d'irrigation (Annexe 6).

Le secteur agricole repose sur 2 523 points d'eau, répartis comme suit :

- 1 606 forages,
- 902 puits,
- 15 sources naturelles.

Ces ressources souterraines jouent un rôle central dans l'alimentation en eau du secteur agricole, en l'absence notable de ressources en eaux superficielles dans la région.

L'agriculture irriguée est dominée par la culture de céréales (7 128 ha), suivie de près par les arboricultures (6 863 ha) et les cultures maraîchères (6 777 ha). Les fourrages couvrent une superficie irriguée de 1 510 ha.

Concernant les techniques d'irrigation, l'aspersion constitue la méthode la plus utilisée avec 12 502 ha, suivie de l'irrigation gravitaire (7 174 ha) et du goutte-à-goutte, qui reste encore faiblement développé (2 602 ha), malgré son efficacité en matière d'économie d'eau.

Cette situation met en évidence la nécessité d'une gestion rationnelle des ressources hydriques, ainsi que la promotion de techniques d'irrigation économes pour faire face à la rareté croissante de l'eau et soutenir le développement agricole durable dans la wilaya (DSA de Saïda., 2017).

IV.2.5 Situation de l'épuration des eaux usées

La wilaya de Saïda dispose d'une seule station d'épuration des eaux usées (STEP), située dans la commune de Rebahia. Mise en service en 2010, cette installation occupe une superficie de 11,47 hectares et constitue un élément clé de la stratégie régionale de gestion des eaux usées. Elle a été conçue pour traiter un débit moyen de 30 000 m³/jour, correspondant à une population estimée à 150 000 équivalents-habitants.

Le processus adopté repose sur le traitement biologique par boues activées (Figure IV.3), dimensionné pour une charge organique journalière de 9 000 kg de DBO₅ et 12 000 kg de MES. Les principaux paramètres de conception incluent une charge volumique de 0,34 kg DBO₅/m³/jour, une concentration en boues activées de 5 g/L et une charge massique de 0,08 kg DBO₅/kg de boues/jour.

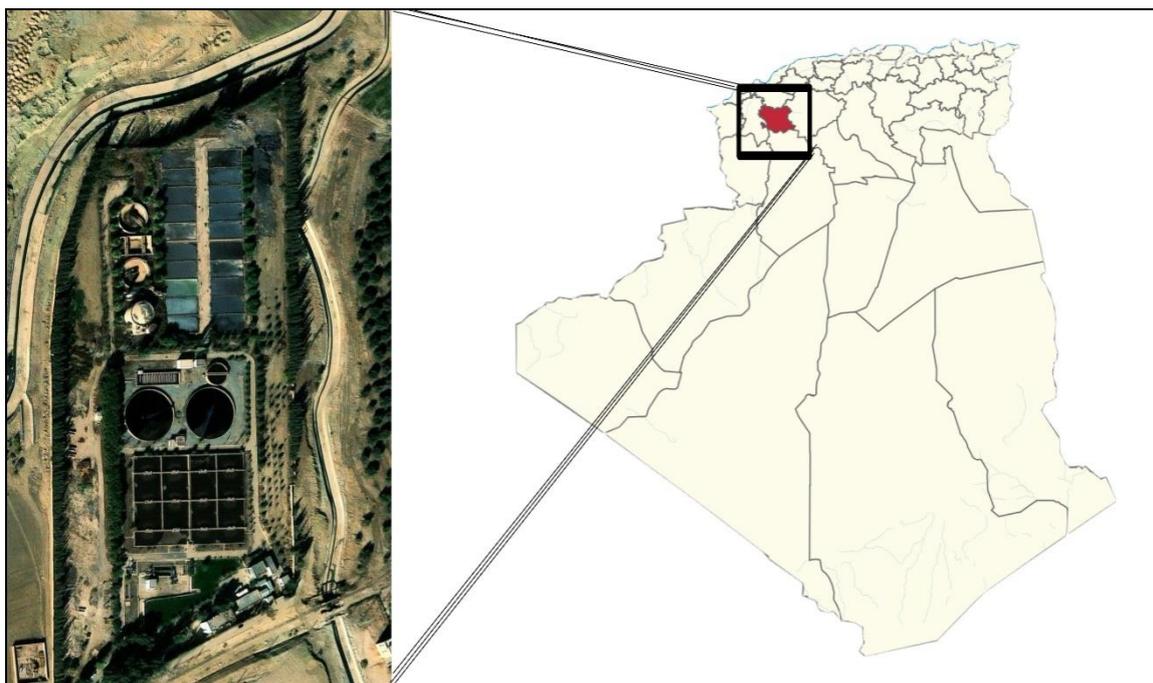


Figure IV.3 Zone d'étude (STEP à boues activées de Saïda)

IV.2.5.1 Objectifs de la STEP de Saïda

La station d'épuration des eaux usées (STEP) de Saïda a été conçue dans le cadre d'une stratégie globale visant à répondre aux enjeux environnementaux, sanitaires et hydriques de la région. Elle poursuit plusieurs objectifs majeurs :

- **Réduction des maladies à transmission hydrique (MTH)** : en assurant un traitement efficace des eaux usées domestiques, la STEP permet d'éliminer une grande partie des agents pathogènes, contribuant ainsi à limiter les risques sanitaires pour la population locale.
- **Protection de l'environnement** : le traitement des eaux usées limite considérablement les pollutions organiques et physico-chimiques susceptibles d'affecter les sols, les nappes phréatiques et les écosystèmes aquatiques, assurant ainsi la préservation de la biodiversité régionale.
- **Préservation de la qualité de l'Oued Saïda** : en rejetant un effluent conforme aux normes environnementales en vigueur, la station contribue à maintenir, voire améliorer, la qualité écologique de l'oued Saïda, principal exutoire naturel des eaux épurées.
- **Mobilisation d'une ressource alternative pour l'irrigation et l'industrie** : dans un contexte de stress hydrique accentué, la STEP vise également à valoriser les eaux traitées comme une ressource non conventionnelle. Cette démarche permet de réduire la pression exercée sur les ressources en eau potable en substituant une partie des besoins en eau dans les secteurs agricole et industriel par une eau épurée répondant aux exigences de qualité réglementaires.

IV.2.5.2 Principe de fonctionnement de la station d'épuration (STEP) de Saïda

Les effluents arrivent à la station d'épuration et passent d'abord par un piège à sable. Ils subissent ensuite un prétraitement classique, comprenant une unité de dégrillage (à la fois manuelle et automatique) avec des dégrilleurs grossiers et fins, ainsi qu'un dessableur-déhuilleur intégré, chargé d'éliminer les sables et les huiles. Après le prétraitement, les effluents sont pompés vers un bassin unique où se déroulent l'oxydation biologique et la nitrification, avec agitation et aération assurées par des aérateurs mécaniques de surface (turbines). Les effluents traités sont ensuite dirigés vers un clarificateur pour la séparation des boues. Une partie des boues est recirculée en amont du traitement biologique pour optimiser le processus, tandis que l'autre partie est dirigée vers le traitement des boues pour une gestion ultérieure. Le processus se termine par une désinfection finale des effluents (Figure IV.4).

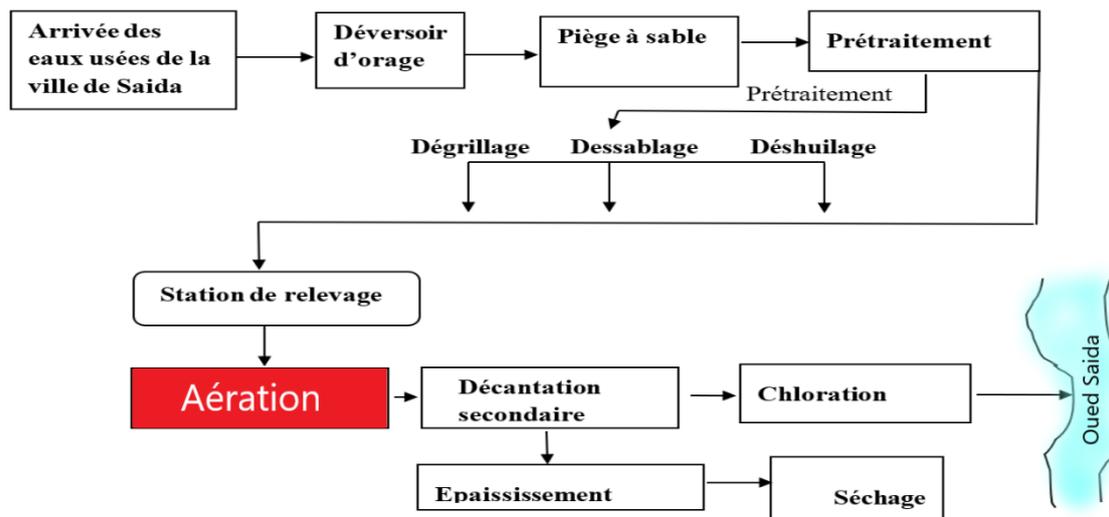


Figure IV.47 Schéma général de la STEP de Saida

Le traitement secondaire utilise un système complet de boues activées, constitué de deux lignes de traitement parallèles. Chaque ligne comprend un réacteur biologique d'une capacité unitaire de 13 068 m³, mesurant 44 m de largeur, 66 m de longueur, avec une hauteur d'eau de 4,5 m. Chaque réacteur est suivi d'un décanteur, ayant une surface de 1452 m² et un volume de 5082 m³. (COMSA, 2010). Pour éviter la surcharge du bioréacteur par les micro-organismes, l'excès de boues est évacué, épaissi, puis déshydraté sur des lits de séchage avant d'être éliminé [Figure IV.4]. Le liquide mixte est aéré et agité par six aérateurs de surface à axe vertical à basse vitesse identiques, montés sur des passerelles en béton armé avec un large corps en béton et un escalier d'accès, chacun fournissant une puissance de 75 Kw (Annexe5). Des articles publiés par de nombreux chercheurs ont mis en évidence leur forte consommation d'énergie, avec une consommation associée allant de 0,128 à 2,280 kWh/m³ d'effluent. Le débit de sortie des bassins de décantation secondaire retourne dans les bassins d'oxydation à un ratio de 1,2 afin de fournir les besoins en nutriments des bactéries et de maintenir une concentration adéquate en solides. Pendant le fonctionnement du processus, la concentration en oxygène dissous (OD) est maintenue à environ 2 mg/L. Le transfert d'oxygène est assuré par 6 (six) aérateurs de surface identiques, de type axe vertical et à vitesse de rotation lente, ces appareils sont montés sur passerelles en béton armé avec grande-corps et escalier d'accès en béton délivrant une puissance de 75 kW chacune (Figure IV.5). (ZAIRI S., 2024)

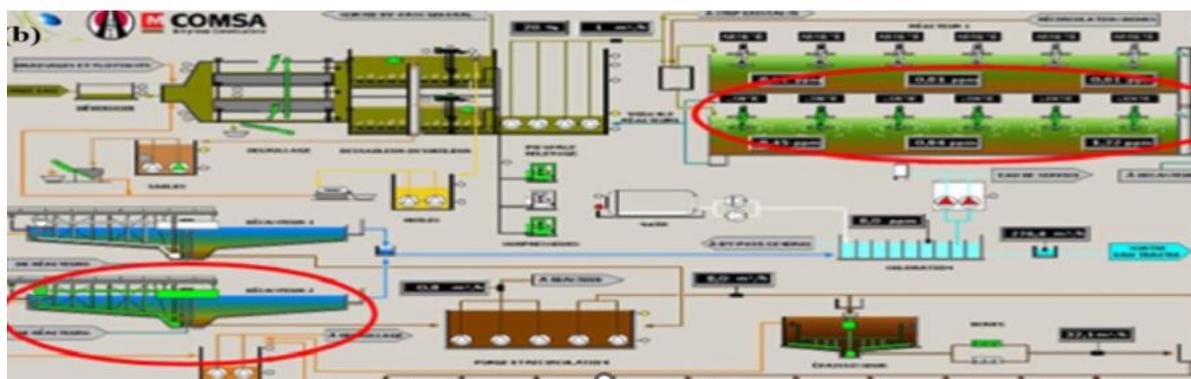


Figure IV.58 Système de contrôle et d'acquisition de données de la STEP de Saïda

IV.2.6 Caractéristiques Qualitatives de l'Effluent Traité de la STEP de Saïda

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques du rejet que la Station d'Épuration (STEP) de Saïda est conçue pour garantir, exprimées en moyennes sur une durée de 24 heures. Ces valeurs reflètent les normes de qualité que l'eau traitée doit atteindre avant son rejet dans le milieu naturel ou pour d'éventuels usages de réutilisation.

Tableau IV.1 Normes de Rejet Garanties par la STEP de Saïda

Paramètre	Unité	Valeur limite (Moyen sur 24h)
MES	mg/l	≤ 30
DBO	mg/l	≤ 30
DCO	mg/l	≤ 120
Azote Total	mg/l	≤ 10
azote (N-NH4)	mg/l	≤ 5
azote (N-NO3)	mg/l	≤ 10
phosphore Total	mg/l	≤ 1
pH	/	6.5 – 8.5

IV.2.7 Analyse bactériologique d'eau épurée

Les analyses bactériologiques des eaux épurées (ou traitées) sont essentielles pour vérifier leur innocuité sanitaire, que l'eau soit destinée à être rejetée dans le milieu naturel ou réutilisée (irrigation, usages urbains non potables, etc.). Ces analyses varient selon l'usage final, mais certains paramètres microbiologiques sont communément étudiés.

IV.2.7.1 Indicateurs microbiologiques principaux

Les germes recherchés sont principalement des indicateurs de contamination fécale. Leur présence permet d'évaluer l'efficacité du traitement et les risques sanitaires potentiels :

A. Coliformes totaux

Il s'agit d'un groupe de bactéries gram-négatives non sporulées, capables de fermenter le lactose en 24 à 48 h à 35–37 °C. On y trouve les genres *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, et *Citrobacter*.

Intérêt : indicateur général de la qualité microbiologique de l'eau, mais non spécifique de contamination fécale (certains coliformes peuvent provenir de l'environnement : sols, végétation...).

B. Coliformes fécaux (ou thermotolérants)

Sous-groupe des coliformes totaux, capables de fermenter le lactose à 44–44,5 °C. *Escherichia coli* en est le représentant principal.

Intérêt : indicateur plus spécifique de contamination fécale récente (origine intestinale humaine ou animale). Leur présence en quantité significative suggère une inefficacité du traitement ou une contamination post-traitement.

C. Entérocoques intestinaux (ou streptocoques fécaux)

Appartiennent aux espèces *Enterococcus faecalis*, *faecium*, *durans* et *hirae*. Ce sont des bactéries gram-positives, résistantes aux conditions défavorables.

Intérêt : indicateurs robustes et complémentaires des coliformes fécaux. Leur persistance permet d'évaluer l'ancienneté de la contamination et la résistance aux procédés de désinfection.

IV.2.7.2 Méthodologie des analyses bactériologiques

A. Prélèvement des échantillons

Afin d'assurer la fiabilité des analyses bactériologiques et garantir la représentativité des échantillons, les prélèvements ont été réalisés conformément aux recommandations standardisées en microbiologie de l'eau, tout en prenant en compte les spécificités de notre site d'étude.

Les principales étapes suivies sont les suivantes :

- Les échantillons ont été prélevés en aval du système de traitement, au niveau du point de rejet final (la sortie de la STEP), là où l'eau est susceptible d'être réutilisée ou

rejetée dans le milieu naturel. Ce point a été choisi pour son écoulement continu et régulier, garantissant une bonne homogénéité de l'échantillon.

- L'eau a été laissée couler durant 2 à 3 minutes avant le prélèvement, afin de purger toute eau stagnante susceptible de fausser les résultats.
- Des flacons stériles d'une capacité de 500 ml ont été utilisés. Ils ont été remplis aux trois quarts, en veillant à ne pas contaminer le col du flacon ni son bouchon.
- Chaque échantillon a été immédiatement refermé, puis étiqueté soigneusement avec les mentions suivantes : date, heure, site de prélèvement, et numéro d'identification.
- Les flacons ont ensuite été placés dans une glacière réfrigérée maintenant une température de 4 ± 2 °C, conformément aux normes de conservation des échantillons microbiologiques.
- L'acheminement des échantillons vers le laboratoire a été réalisé dans un délai maximal de six heures. Les analyses bactériologiques ont été effectuées dans le laboratoire de microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie (SNV) de l'Université de Saïda, dans un délai inférieur à 24 heures après le prélèvement, conformément aux exigences de qualité garantissant la fiabilité des résultats.

B. Préparation des dilutions décimales

Dans des conditions d'asepsie stricte :

Un volume de 1 mL de l'échantillon a été prélevé puis transféré dans un tube contenant 9 mL d'eau distillée stérile, ce qui a permis d'obtenir une dilution au 1/10, soit 10^{-1} . Cette opération a été répétée de manière séquentielle jusqu'à atteindre la dilution 10^{-5} . Ces dilutions en série sont indispensables pour permettre la quantification précise des bactéries présentes dans l'échantillon initial, notamment lorsque la charge microbienne est élevée.

C. Méthode d'analyse

Recherche et dénombrement des coliformes totaux « détermination du Nombre le Plus Probable (NPP) »

La méthode utilisée dans cette étude est celle de la détermination du Nombre le Plus Probable (NPP), fondée sur le principe de la fermentation en tubes multiples. Elle repose sur l'ensemencement de plusieurs dilutions décimales de l'échantillon dans des milieux liquides spécifiques, à savoir BCPL (Bouillon au Lactose avec Peptone et Lauryl sulfate) et bouillon de Schubert. Pour chaque dilution, une série de trois tubes est inoculée. Ces milieux sont conçus pour permettre la mise en évidence de la fermentation du lactose, se traduisant par une production d'acide et de gaz, généralement détectée par l'utilisation de tubes de Durham.

La lecture des résultats, basée sur la présence ou l'absence de gaz dans les tubes de fermentation, permet d'estimer, à l'aide de tables statistiques normalisées, le nombre le plus probable (NPP) de bactéries indicatrices telles que les coliformes totaux ou coliformes fécaux présents dans l'échantillon analysé.

- **Recherche d'Escherichia coli**

La mise en évidence spécifique d'Escherichia coli est réalisée par repiquage à partir des tubes positifs de BCPL (présentant une production de gaz) dans un bouillon d'eau peptonnée exempte d'indole (EPEI). Les tubes sont ensuite incubés à 44 °C pendant 24 heures, une température sélective favorisant la croissance d'E. Coli thermotolérant.

Après incubation, la détection de la production d'indole est effectuée par l'ajout de quelques gouttes de réactif de Kovacs. L'apparition d'un anneau rouge à la surface du milieu indique une réaction positive, confirmant la présence d'Escherichia coli. Ce test est également connu sous le nom de test de Mackenzie.

- **Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux**

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux ont été réalisés en suivant le même principe que la méthode du Nombre le Plus Probable (NPP) décrite précédemment, c'est-à-dire par fermentation en tubes multiples à partir de différentes dilutions de l'échantillon.

Des milieux de culture spécifiques, à savoir les milieux de Rothe et d'Eva-Litsky, ont été utilisés pour favoriser la croissance sélective des streptocoques fécaux.

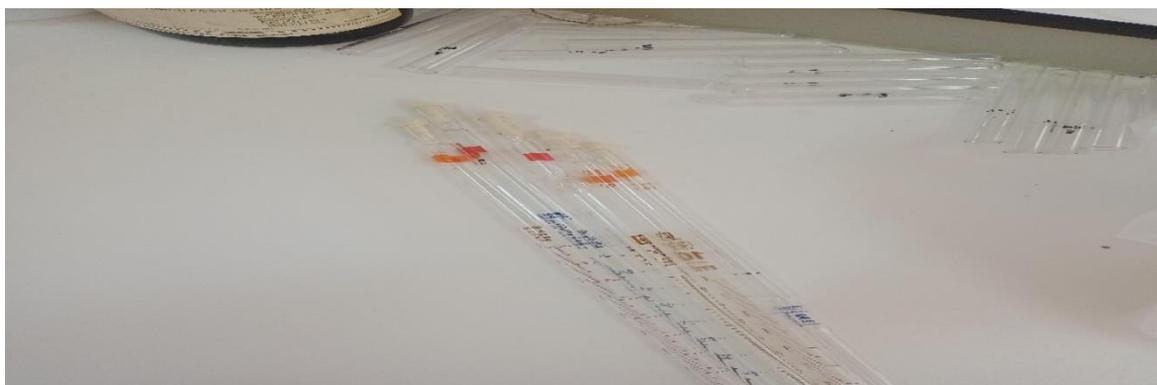
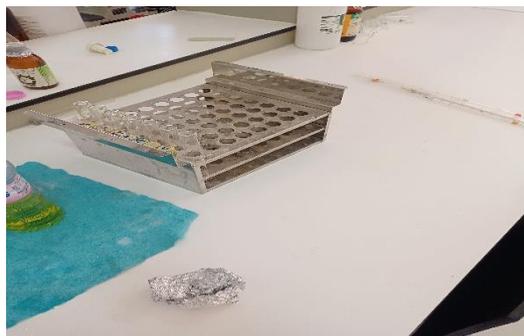


Figure IV.5 Des photos de quelques manipulation dans le laboratoire (les analyses bactériologiques)

IV.3 Résultats et discussions

V.3.1 Analyses physico-chimiques

Annexe 3

Les résultats sont présentés dans l'Annexe

Tableau IV.2 Une moyenne des charges calculée pour les analyses physico-chimiques de STEP SAIDA de 4 mois (Janvier, février, mars, Avril)

Paramètre	Unité	Entrée	Sortie	Charge nominale de la STEP
Débit	m ³ /j	31976.5	30366.25	30000
MES	Kg/j	11991.08	728.98	12000
DBO₅	Kg/j	11844.03	813.65	9000
DCO	Kg/j	22643	948.21	9000

Le tableau IV.2 présente les performances de la STEP de Saïda en comparant les charges entrantes et sortantes des principaux paramètres de pollution à savoir : les matières en suspension (MES), la demande biologique en oxygène (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO) ainsi que le débit journalier traité.

Les résultats révèlent une charge hydraulique et organique supérieure ou proche des capacités nominales de la station, en particulier pour la DBO₅ et la DCO. En dépit de cette surcharge, les taux d'abattement observés restent très satisfaisants, dépassant 90 % pour tous les paramètres, ce qui reflète une efficacité remarquable des procédés en place.

Charge hydraulique : Un débit moyen de 31976,5 m³/j, la station fonctionne au-delà de sa capacité nominale de 30000 m³/j. Bien que cette surcharge hydraulique d'environ 6,6% ne soit pas extrême, une exploitation continue au-delà du dimensionnement peut entraîner une diminution du temps de séjour dans les ouvrages et affecter l'efficacité des processus de décantation et des cinétiques biologiques.

Charges organiques (DBO₅ et DCO) : Les résultats révèlent une surcharge organique significative en entrée. La DBO₅ moyenne est de 11844,03 kg/j dépassant de 31,6 % la charge nominale de 9 000 kg/j, de même pour la DCO moyenne qui atteint les 22643 kg/j.

Cependant, le fonctionnement en régime limite, voire en surcharge, constitue un risque important à moyen et long terme, tant pour la durabilité des installations que pour la stabilité

du traitement biologique. Cette situation met également en péril la qualité du rejet final, notamment en période de dysfonctionnement ou de charge exceptionnelle.

IV.3.2 Analyses bactériologiques

Dans cette partie, les résultats des analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons d'eaux épurées prélevés à la sortie de la STEP de Saïda sont présentés et interprétés. L'objectif principal est d'évaluer la qualité microbiologique de l'eau traitée, en la comparant aux normes en vigueur pour les rejets dans le milieu naturel ou pour une éventuelle réutilisation.

Les paramètres microbiologiques ciblés – coliformes totaux, streptocoques fécaux et *Escherichia coli* – sont des indicateurs classiques de contamination fécale et de performance des procédés de traitement, notamment la désinfection finale.

Tableau IV.2 Résultats des analyses bactériologiques des eaux épurées de la STEP de Saïda 9/6/2025

Type de bactérie	Quantité mesurée UFC/ 100 ml	Les normes UFC/ 100 ml
Coliformes totaux	1100	< 100
Streptocoques fécaux	1100	< 100
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	Positif	Négatif

D'après le tableau IV.2, les concentrations mesurées des principaux indicateurs bactériologiques (coliformes totaux, streptocoques fécaux et *Escherichia coli*) dans les eaux épurées de la STEP de Saïda permettent d'évaluer l'efficacité globale du traitement appliqué. Ces données seront comparées aux normes de qualité microbiologique généralement admises pour les eaux traitées, afin de juger de leur conformité sanitaire et de leur aptitude à être rejetées ou réutilisées.

1. Coliformes totaux :

- Résultat : 1100 UFC/100 mL, soit 11 fois la limite admissible.

Cela indique une charge bactérienne globale élevée, témoignant d'un traitement insuffisant ou d'une contamination post-traitement. Bien que ces germes ne soient pas exclusivement d'origine fécale, leur dépassement suggère un problème de qualité microbiologique globale.

2. Streptocoques fécaux (entérocoques intestinaux) :

- Résultat : 1100 UFC/100 mL, également très au-dessus de la norme.

Ce sont des indicateurs robustes de contamination fécale. Leur présence massive confirme une pollution d'origine fécale persistante dans l'eau épurée, ce qui représente un risque sanitaire significatif.

3. Escherichia coli :

- Résultat : Positif, alors que la norme exige une absence totale (négatif).

E. coli est un indicateur direct de contamination fécale récente. Sa détection montre que l'eau n'a pas été suffisamment désinfectée. Cela constitue un critère de non-conformité majeur, surtout si l'eau est destinée à un usage sensible comme l'irrigation ou le rejet en milieu naturel.

Les résultats montrent que l'eau épurée de la STEP de Saïda ne respecte pas les normes microbiologiques en vigueur pour les rejets ou pour une éventuelle réutilisation.

Ces dépassements indiquent :

- Une inefficacité du traitement tertiaire (ou une absence de désinfection finale),
- Un risque sanitaire élevé en cas de contact humain ou de réutilisation (ex. irrigation, recharge des nappes, rejet en zones sensibles),
- La nécessité d'améliorer les étapes de traitement, en particulier la désinfection (UV, chloration, etc.).

IV.3.3 Traitement tertiaire

Dans le cadre de notre étude, nous avons eu l'opportunité de visiter la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Béchar (Figure IV.6) le mois d'avril de l'année en cours, où un système tertiaire combinant filtration sur disques et désinfection par rayonnement ultraviolet (UV) a été installé. Bien que ce système ne soit pas encore opérationnel, son observation sur le terrain nous a permis de mieux appréhender les aspects techniques de ce type de traitement avancé. Cette visite a été particulièrement instructive, car elle nous a offert un aperçu concret de l'infrastructure requise pour atteindre une qualité d'eau compatible avec la réutilisation, notamment en irrigation ou pour certains usages industriels. Elle a également servi de point de référence pour envisager une solution similaire adaptée aux besoins de la STEP de Saïda.



Figure IV.6 L'installation de traitement tertiaire de la STEP de Bechar

IV.3.3.1 Le procédé tertiaire proposé pour la STEP de Saida

Le schéma de traitement tertiaire retenu pour notre étude comprend deux étapes successives :

- Filtration mécanique sur disques, destinée à réduire les matières en suspension (MES) et à améliorer la transmissivité UV de l'eau ;
- Désinfection par rayonnement ultraviolet (UV), visant l'inactivation microbologique (coliformes fécaux, virus, protozoaires), pour permettre la réutilisation sécurisée des eaux usées traitées.

IV.3.3.2 Dimensionnement de l'installation

1. Dimensionnement de la filtration sur disque

La filtration mécanique constitue une étape essentielle avant la désinfection UV. Elle permet de réduire la turbidité et la matière en suspension (MES) pour améliorer la transmission des UV (UVT), condition indispensable à une désinfection efficace. **L'Objectif est de Réduire des MES en amont de la désinfection UV, avec une efficacité de filtration jusqu'à 10 microns**, ce qui permet d'atteindre une concentration en MES ≤ 10 mg/L.

- Débit de pointe à traiter

$$Q_{\text{Max}} = 1332,35 \text{ m}^3/\text{h} = 370 \text{ l/s}$$

- Nombre de modules nécessaires

Chaque filtre à disques de 10 μm a une capacité nominale de traitement de 100 à 150 m^3/h (en fonction du fabricant et de la qualité de l'eau en entrée).

$$N_{de\ module} = \frac{Q_T}{Q_{sp}} = \frac{1332}{120} = 11,1\ modules$$



Nombre de filtres à prévoir : 12 unités (incluant une redondance pour maintenance)

Il est proposé d'utiliser des modules de filtration multicanaux, dotés d'un système de nettoyage automatique (par rétrolavage à pression inversée ou par rotation), afin d'assurer un fonctionnement en continu sans interruption du flux hydraulique.

2. Dimensionnement de la désinfection UV

La réduction des germes pathogènes à une limite de 100 coliformes fécaux / 100 mL (moyenne sur 30 jours) conformément aux recommandations de l'OMS (Annexe 8).

Les paramètres de base utilisés pour le dimensionnement :

- Débit de pointe : 1332,35 m³/h
- Transmission UV (UVT à 254 nm) : ≥ 65 %
- MES ≤ 10 mg/L
- Dose UV validée : 26 mJ/cm²

➤ Nombre de modules UV requis

Chaque module UV peut traiter en moyenne 45 à 50 L/s sous les conditions de conception fixées.

$$N_{modules} = \frac{370}{46} = 8$$

Donc, 8 modules UV immergés, garantissant une dose ≥ 26 mJ/cm² même en condition de vieillissement et d'encrassement :

- Facteur de vieillissement : 0,98 → perte de 2 % d'intensité liée à la durée de vie des lampes,
- Facteur d'encrassement : 0,95 → perte de 5 % liée aux dépôts sur les manchons.

Les facteurs de vieillissement (0,98) et d'encrassement (0,95) utilisés dans le dimensionnement du système UV sont des valeurs indicatives généralement fournies par le fabricant de l'équipement, afin de garantir une dose UV efficace tout au long du fonctionnement, en tenant compte de la dégradation des lampes et de l'encrassement des manchons en quartz.

➤ La dose corrigée reste suffisante :

Lors du dimensionnement d'un système de désinfection UV, on calcule une dose nominale (ou théorique) que l'eau devrait recevoir pour garantir l'inactivation des micro-organismes.

Cependant, dans les conditions réelles d'exploitation, certains facteurs peuvent réduire l'efficacité de la désinfection, notamment :

- Le vieillissement des lampes UV (baisse de puissance avec le temps),
- L'encrassement des manchons en quartz (dépôts qui réduisent la transmission du rayonnement UV).

Pour atteindre une concentration ≤ 100 coliformes fécaux / 100 mL, la dose UV minimale recommandée se situe généralement entre 20 et 30 mJ/cm².

La dose UV nominale de 26 mJ/cm² est généralement choisie en fonction des exigences sanitaires à atteindre, en particulier pour la réduction des germes pathogènes comme *Escherichia coli*, les coliformes fécaux, ou les virus, dans un objectif de réutilisation sécurisée des eaux usées traitées.

$$\text{Dose effective} = 26 \text{ mJ/cm}^2 \times 0,98 \times 0,95 \approx 24,2 \text{ mJ/cm}^2$$

Cette dose reste supérieure à la valeur minimale recommandée pour l'inactivation de coliformes et virus entériques.

Tableau IV.3 Dose UV minimale requise pour l'inactivation microbiologique selon les recommandations internationales

Cible microbienne	Dose UV minimale recommandée (mJ/cm ²)
<i>Escherichia coli</i> , coliformes fécaux	20–30 mJ/cm ² (OMS, EPA)
Entérovirus (plus résistants)	≥ 30–40 mJ/cm ²
Réutilisation pour irrigation de cultures crues (OMS)	≥ 20 mJ/cm ²

D'après le tableau IV.3, 24,2 mJ/cm² est suffisante pour inactiver les coliformes fécaux et respecter la limite de 100 UFC/100 mL fixée par l'OMS pour la réutilisation en irrigation de cultures consommées crues.

IV.3.3 Schéma fonctionnel et fonctionnement global

L'eau sortant du traitement secondaire est dirigée vers les filtres à disques, puis immédiatement vers le canal UV. L'installation est conçue pour fonctionner automatiquement et en continu, avec une régulation adaptée à la variation des débits.

Schéma d'installation recommandé

1. Sortie traitement secondaire (boues activées)
2. Chambre de régulation hydraulique
3. Filtration sur disques 10 µm (en parallèle, avec collecteurs entrée/sortie)

4. Débitmètre / capteur UVT en ligne
5. Réacteur UV (8 modules immergés environ)
6. Canal de sortie ou réseau de réutilisation

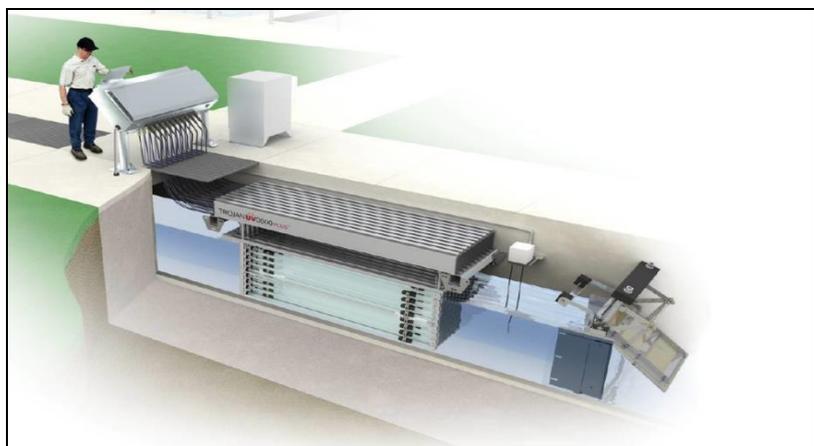


Figure IV.7 : L'installation des UV proposé pour la STEP de Saida

IV.3.3.4 Validation des essais biologiques de la désinfection par UV

Dans le cadre du traitement tertiaire des eaux usées, la désinfection par rayonnement ultraviolet (UV) constitue une étape cruciale visant à réduire la charge microbologique résiduelle, en particulier en vue d'une réutilisation dans des applications sensibles (irrigation, usage urbain, etc.). Afin de garantir l'efficacité de ce procédé, il est indispensable de procéder à une validation des essais biologiques.

Cette validation repose sur la mise en œuvre d'essais expérimentaux visant à évaluer la performance microbologique réelle du traitement UV. Elle consiste à comparer la concentration en micro-organismes indicateurs (notamment *Escherichia coli*, coliformes fécaux, entérocoques intestinaux) en amont et en aval du système de désinfection, à l'aide de méthodes d'analyse microbiologique

Elle comprend généralement :

1. Prélèvements d'échantillons avant et après désinfection UV.
2. Analyse microbiologique en laboratoire selon des méthodes standardisées.
3. Calcul du rendement d'abattement : log-réduction des germes cibles.
4. Comparaison aux exigences réglementaires ou aux objectifs de qualité fixés.

Par exemple :

Si une eau contient 10^4 E. coli/100 mL en entrée UV, et 10^1 en sortie, on observe une réduction de 3 logs (soit 99,9 %).

IV. 4 Conclusion

Ce chapitre a permis de caractériser la qualité des eaux épurées à la sortie du traitement secondaire de la STEP de Saïda, en mettant en évidence la nécessité d'un traitement tertiaire adapté, en particulier en vue d'une réutilisation dans des usages non potables. À partir des données collectées et des exigences sanitaires liées à la réutilisation, une proposition de conception d'un procédé tertiaire combinant une filtration sur disques et une désinfection par rayonnement ultraviolet (UV) a été élaborée.

Ce procédé vise à assurer une qualité microbiologique compatible avec les normes internationales, notamment celles recommandées par l'OMS pour les usages agricoles et urbains. Bien que la validation expérimentale par des essais biologiques n'ait pas pu être réalisée dans le cadre de ce travail, la conception repose sur des données techniques fiables, des études de cas similaires et des performances documentées dans la littérature scientifique.

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion Générale

Ce travail a permis d'évaluer de manière détaillée les performances de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Saïda, en s'appuyant sur des analyses physico-chimiques et bactériologiques, dans le but de déterminer la qualité des eaux traitées et leur aptitude à être rejetées ou réutilisées.

Les analyses ont montré une bonne efficacité du système de traitement biologique :

- MES : réduction de 11 991,08 kg/j à 728,98 kg/j → abattement > 93 %
- DBO₅ : réduction de 11 844,03 kg/j à 813,65 kg/j → abattement > 93 %
- DCO : réduction de 22 643 kg/j à 948,21 kg/j → abattement > 95 %
- Le débit journalier traité atteint 30 366,25 m³/j, dépassant légèrement la capacité nominale (30 000 m³/j), ce qui témoigne d'un fonctionnement en limite de charge.

Dans ce contexte, une extension ou une réhabilitation de la STEP s'impose comme une priorité urgente, afin de garantir la conformité durable des rejets, de préserver la qualité de l'oued, récepteur naturel, et de permettre une réutilisation sécurisée des eaux épurées, notamment dans un contexte de stress hydrique croissant dans la région de Saïda.

Une telle démarche permettrait non seulement d'améliorer la résilience du système, mais aussi de soutenir des stratégies de développement durable intégrant la réutilisation des eaux usées dans l'irrigation ou certains usages industriels.

Les résultats bactériologiques montrent une non-conformité aux normes de qualité bactériologique :

- Coliformes totaux : 1100 UFC/100 mL (norme : < 100)
- Streptocoques fécaux : 1100 UFC/100 mL (norme : < 100)
- E. coli : présence détectée (norme : absence)

Cela indique une contamination fécale persistante malgré le traitement secondaire, rendant l'eau impropre à une réutilisation sécurisée sans traitement complémentaire.

Au vu des résultats obtenus, l'intégration d'un traitement tertiaire est une urgence. En effet, même si les performances physico-chimiques sont globalement satisfaisantes, l'absence de traitement désinfectant laisse persister une charge microbienne significative, incompatible avec les exigences d'une réutilisation agricole ou industrielle, et dangereuse pour le milieu récepteur (oued).

Traitement tertiaire proposé : Filtration sur disques + désinfection UV

- Filtration sur disques : permet de piéger les particules résiduelles et de réduire la turbidité de l'eau. Cette étape améliore la transparence de l'effluent et optimise l'efficacité de la désinfection.
- Désinfection par rayons UV : technologie sans ajout de produits chimiques, elle inactive les micro-organismes (bactéries, virus, parasites) en altérant leur ADN. Elle est efficace contre E. coli, entérocoques, coliformes, et constitue une solution adaptée aux exigences de la réutilisation en irrigation ou pour certains usages industriels.

Ce traitement combiné permettrait :

Conclusion Générale

- De garantir une eau épurée conforme aux normes sanitaires de réutilisation,
- De protéger efficacement l'oued contre la pollution microbiologique,
- De valoriser les eaux usées traitées dans un contexte de stress hydrique croissant à Saïda.

Pour conclure, bien que la STEP de Saïda assure une bonne performance en termes de traitement organique, les limites actuelles du système imposent une réhabilitation urgente, incluant un traitement tertiaire complet. Une telle amélioration s'inscrit dans une stratégie durable de gestion des ressources hydriques, et ouvre des perspectives concrètes vers la réutilisation maîtrisée des eaux usées épurées, au service de l'environnement et du développement local.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

AERM, (2012). Procédés d'épuration (fiche 3) : le Lit Bactérien. Agence de l'Eau RhinMeuse. http://www.eau-rhin-meuse.fr/tlch/procedes_epuration/F03_lit_bacterien.pdf

AFNOR. (2011). *Qualité de l'eau – Guide général pour la préservation et le traitement des échantillons.* Norme NF EN ISO 5667. Paris: AFNOR.

Altmeyer, N., Abadia, G., Schmitt, S., & Leprince, A. (1990). Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. Fiche médico-technique, n°34, pp.373- 388.

AMORCE, (2012). Boues de station d'épuration : Techniques de traitement, valorisation et élimination. Note, Série Technique DT 51, France, 36 p. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/amorce_boues_de_step_techniques_de_traitement_val_orisation_et_elimination_2012.pdf

Asano, T. (1998). *Wastewater reclamation and reuse.* Boca Raton, New York: Lewis Publishers.

Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications.* McGraw-Hill.

Ayers, R.S. (1977). Quality of water for irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), pp.135–154.

Bassompierre, C. (2007). Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), France, pp. 25-42.

Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A. and Franconi, A. (2004). *Réutilisation des eaux usées, risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France.* Rapport ORS, 220 p.

Benkaddour, B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Université de Perpignan. France.

Benyahya, M., Bohatier, J., Laveran, H., Senaud, J. and Ettayebi, M. (1998). Les virus des eaux usées et leur élimination au cours des traitements. *L'année Biologique*, 37(2), pp.95–105.

Boeglin, J. C. (1998). Traitements biologiques des eaux résiduaires. Edition Techniques de l'ingénieur, TRN : FR9900649, France, 457 p.

Boutin, C., Héduit, A. and Helmer, J.M. (2009). *Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT).* Rapport final. ONEMA & Cemagref, 100 p.

Brice BOURBON, Guillaume LAPALUS, Vincent LE DAHERON, Claire LOUVET, Julie MARAIS, Mélanie PAGES. (2015). fichier ressource rapport bibliographique traitements tertires.pdf

Références Bibliographiques

- Cardot, C. (2010).** *Les traitements de l'eau pour l'ingénieur : procédés physico-chimiques et biologiques*. Paris : Ellipses.
- Cauchi, A., Hyvrard, S., Nakache, F., Schwartzbrod, L., Zagury, M., Baron, C., Carre, C., Courtois, N., Denis, P., Dernat, F., Larbaigt, A., Derangere, D., Martigne, A. and Seguret, N. (1996).** Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 2, pp.81–118.
- Cauchi, H., Nakache, S. D., Zagury, B., Carré, C., Denis, D., Larbaigt, D., & Martigne, S. (1996).** "Dossier: la réutilisation des eaux usées après épuration". *Techniques, Sciences et Méthodes*, n°2, pp.81-118.
- Chapra, S.C. (2008).** *Surface water-quality modeling*. Long Grove, IL: Waveland Press.
- Condom, N., & Declercq, R. (2016).** Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole en zone périurbaine de pays en développement : pratiques, défis et solutions opérationnelles. Rapport ECOFILAE, 63 p.
- Crook, J., MacDonald, J.A. and Trussell, R.R. (1999).** Potable use of reclaimed water. *Journal of the American Water Works Association*, 91(8), pp.40–49.
- Degrémont, (2005).** Memento Technique de l'Eau. France : Lavoisier SAS, 1748 p.
- Deshayes, M. (2007).** Guide pour l'établissement des plans d'assurance de la qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lot séparés'', Projet de fin d'étude, INSA, Strasbourg, France, 112 p.
- Devaux, I. (1999).** *Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Djeddi, H. (2007).** *Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines*. Thèse de Magister, Université de Mentouri, Constantine, Algérie.
- Downward, S. R., & Taylor, R. (2007).** An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, southeast Spain. *Journal of environmental management*, vol. 82, n°2, pp.277-289.
- DUNGLAS, J. (2014).** *La réutilisation des eaux usées*. Académie d'Agriculture de France.
- Ecosse, D. (2001).** *Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde*. Mémoire de DESS, Université d'Amiens.
- Effebi, K. R. (2009).** Lagunage anaérobie : Modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie. Thèse de Doctorat Université de Liège, pp.7-9.

Références Bibliographiques

Faby, J.A., & Brissaud, F. (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'eau (OI Eau), 76 p.

FAO. (2003). *Agricultural use of reclaimed water: Guidelines*. Rome: Food and Agriculture Organization.

Franck, R. (2002). *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques*. Bordeaux : CRDP Aquitaine.

Gaid, A. (1984). *Épuration biologique des eaux usées urbaines*. Alger : OPU.

Gaid, A. (1993). Traitement des eaux usées urbaines. Techniques de l'Ingénieur, C5 – 220 -2, 30 p.

Generet, O., Bodart, O., Andre, N., Colmant, S., Bellino, D., Vonnecke, L., Van Hooydonk, D., Laffineur, L., & Daum concept, B. (2005). Etude d'incidences sur l'environnement relative à unedemande de permis unique, AIDE S.C.R.L. Station d'épuration d'eaux résiduaires urbaines de Liège -Sclessin, Projet N°: 05.0258, Belgique, 82 p.

INRS, (2004). Le traitement des eaux usées. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Poin des connaissances ED 5026, paris, France, 4 p.

JORA (2006). Normes des rejets d'effluents liquides indutriels. Journal officiel de la république algérienne (JORA) N°23 du Avril 2006 .Décret exécutif N°06-141 du 19 Avril

JORA (2012). *Décret exécutif n°06-141 fixant les conditions de rejet des effluents liquides*. Journal Officiel de la République Algérienne.

Koller, E. (2004). *Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues*. Paris: Dunod.

Lazarova, V. and Brissaud, F. (2007). Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 299, pp.29–39.

Lazarova, V., & Bahri, A. (2005). *Water Reuse for Irrigation*. CRC Press.

Lazarova, V., Gaïd, A., Rodriguez-Gonzales, J. and Alday Ansola, J. (2003). L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 9, pp.64–85.

Le byaric, R. (2009). Caractérisation, Traitabilité et valorisation des refus de dégrillage des stations d'épurations. Thèse Doctorat, Institut National des Sciences appliquées, Lyon, France, 190 p.

Linha d'Água. (2024). *Mode d'emploi LINHA D'AGUA*. Document technique interne.

Lunn, M. (2001). The deliberate indirect wastewater reuse scheme at Essex & Suffolk Water. *Colloque de Noirmoutier*, 4 p.

Références Bibliographiques

Meslem, T. (2024). *Réutilisation des eaux usées épurées et traitements tertiaires*. pp.40–261.

Metahri, M. S. (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes: cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou. Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie, 148 p.

Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). New York : McGraw-Hill.

Ministère des Affaires Sociales et de la Santé. (2014). *Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts*. *Journal Officiel de la République Française*, n°153, 4 juillet, 9 p.

Ministère des Ressources en Eau (2020). *Rapport national sur les ressources en eau*.

Ministère des Ressources en Eau (2021). *Programme national de réutilisation des eaux usées traitées*.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture FAO (2017). *AQUASTAT Global Database on Water Resources*. Food and Agriculture Organization.

Pasquini, L. (2013). Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration. Thèse Doctorat, Université de Lorraine, France, 298p

Ramade, F. (1998). *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*. Paris : Ediscience.

Ramade, F. (2000). *Dictionnaire encyclopédique des polluants : de l'environnement à l'homme*. Paris : Ediscience.

Rodier, J., Legube, B. and Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (9e éd.). Paris : Dunod.

Roland, V. (2010). *Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie* (3e éd.). Paris: Lavoisier.

Rouamba, J., E. Nikiema, S. Rouamba and F. De Charles Ouedraogo (2016). Accès à l'eau potable et risques sanitaires en zone périphérique d'Ouagadougou, Burkina Faso. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique* 64: 211.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science* (5th ed.). New York : McGraw-Hill.

Schwartzbrod, L. (2000). *Virus humains et santé publique : Conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture et conchyliculture*. Nancy: Centre collaborateur OMS.

Références Bibliographiques

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Toze, S. (2006). Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 147–159.

WHO (1971). ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. 1973. La réutilisation des effluents: méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection sanitaire. (Série de Rapports Techniques, n° 517). Genève: Organisation Mondiale de la Santé.

WHO (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater – Volume

WHO. (2012). *Guide OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux résiduaires*. Genève : Organisation Mondiale de la Santé, 225 p.

WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). Geneva : WHO Press. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

WHO. (2018). *Sanitation safety planning: Manual for safe use of wastewater*. Geneva : WHO.

World Health Organization WHO (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. World Health Organization.

Zairi, S. (2024). *Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées : Cas de la station d'épuration de Saïda*. Thèse de doctorat, Université de Mascara.

Zhu, J., Huang, X. and Wang, X. (2020). Advances in wastewater treatment technologies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), pp.4877–4891. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06879-7>

LES ANNEXES

Les Annexes

ANNEXE 1 Les spécifications Des eaux Usées épurées utilisées à des fins d'irrigation

Paramètres	Concentration maximale admissible	
Groups De cultures	Paramètres microbiologique	
	Coliforms Fécaux (CFU /100 ml) (Moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (Œufs /l) (Moyenne arithmétique)
❖ Irrigation non restrictive ❖ Culture des produits pouvant être consommés crus	100	Absence
❖ Légumes qui ne sont pas consommés que cuits ❖ Légumes destinés à la conserverie ou a transformation non alimentaire	250	0 .1
❖ Arabes fruitiers ⁽¹⁾ ❖ Cultures et arbustes fourragers ⁽²⁾ ❖ Cultures céréalières ❖ Cultures industrielles ⁽³⁾ ❖ Arabes forestier ❖ Plantes florales et ornementales ⁽⁴⁾	Seuil recommandé 100	1
Les cultures du groupe précédent (CFU/ 100ml) utilisant l'irrigation localisée ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée

paramètres microbiologique (JORA ,2012)

⁽¹⁾ L'irrigation doit s'arrêter deux avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol l'irrigation par aspersion est à éviter.

⁽²⁾ Le pâturage direct est indirect et il est recommandé de cesser l'irrigation ou moins une semaine avant la coupe.

⁽³⁾ Pour les cultures industrielles et arabe forstiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

⁽⁴⁾ Une directive plus stricte (200 coliformes fécaux par 100 ml) est justement pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'Hotels .

⁽⁵⁾ Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

⁽⁶⁾ A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maitrise la gestion de l'irrigation localisée

Les Annexes

Physique	Ph	[6.5 – 8.5
	MES	30 mg/l
	CE	3 ds/m
	Infiltration le SAR=0-3 CE	0.2 ds/m
	3-6	0.3 ds/m
	6-12	0.5 ds/m
Chimique	12-20	1.3 ds/m
	20-40	
	DBO5	30 mg/l
	DCO	90 mg/l
	Chlorure (Cl)	10 meq/l
Eléments Toxiques	Azote (NO ₃ -N)	30 mg/l
	Bicarbonate (HCO ₃)	8.5 meq/l
	Aluminium	20
	Arsenic	2
	Béryllium	0.5
	Bore	2
	Cadmium	0.05
	Chrome	1
	Cobalt	5
	Cuivre	5
	Cyanures	0.5
	Fluor	15
	Fer	20
	Phénols	0.002
	Plomb	10
	Lithium	2.5
	Manganèse	10
	Mercure	0.01
	Molybdène	0.05
	Nickel	2
Sélénium	0.02	
Vanadium	1	
Zinc	10	

ANNEXE 2 Les spécifications Des eaux épurées utilisées a des fins d'irrigation paramètre physico-chimique (JORA, 2012)

ANNEXE 3 Protocole expérimental des analyses physico-chimiques

Pour évaluer la performance de la station d'épuration (STEP) de Saïda, des analyses physico-chimiques régulières des effluents ont été menées. Ces analyses ont porté sur des paramètres clés tels que le pH, la température (T°), les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO5). Le protocole expérimental suivi est détaillé ci-dessous :

1. Prélèvement d'eau

Le prélèvement d'échantillons d'eau est une étape cruciale pour obtenir des résultats représentatifs. Les points de prélèvement incluent l'eau d'entrée (brute), l'eau de sortie (traitée), ainsi que les bassins d'aération. Deux méthodes de prélèvement ont été employées :

A. Prélèvements automatiques

Des échantillonneurs automatiques ont été utilisés pour collecter des échantillons composites sur une période de 24 heures. Toutes les 15 minutes, un volume de 100 mL d'eau est prélevé, permettant de constituer un échantillon moyen d'un litre. Ces prélèvements sont effectués à l'entrée de la station (E), où l'eau est brute et n'a subi aucun traitement, et à la sortie (S), juste avant son rejet dans l'Oued Saïda. Cette méthode assure une représentativité des variations de débit et de concentration sur une journée entière.

B. Prélèvements manuels

Les prélèvements manuels exigent un choix judicieux des points d'échantillonnage pour garantir la représentativité des échantillons. Ces points sont sélectionnés en fonction des objectifs de l'analyse et des substances à caractériser. Idéalement, les échantillons sont prélevés là où la turbulence est suffisante pour assurer l'homogénéité de l'effluent. Dans les canaux ouverts, le prélèvement s'effectue au centre et à une profondeur garantissant la prise d'échantillons même en conditions de débit minimal. Les différents échantillons collectés manuellement lors de la journée (avec un intervalle d'environ 4 heures entre chaque prélèvement) sont ensuite mélangés pour former un échantillon moyen représentatif pour l'analyse.

2. Le potentiel hydrogène (pH)

La mesure du **potentiel hydrogène (pH)** a été réalisée à l'aide d'un **pH-mètre**. Le protocole suivant a été scrupuleusement respecté pour garantir la précision des résultats :

- **Étalonnage** : L'appareil a été étalonné en trois points de calibration précis, utilisant des solutions tampons de pH 4,01, 7,0 et 9,21.
- **Préparation de l'électrode** : avant chaque mesure, l'électrode a été soigneusement rincée à l'eau distillée.
- **Démarrage de la mesure** : la mesure a été initiée en appuyant sur le bouton d'analyse de l'échantillon.
- **Lecture** : la valeur du pH a été lue une fois que les chiffres affichés sur l'appareil se sont stabilisés.
- **Nettoyage et stockage** : après chaque utilisation, l'électrode a de nouveau été lavée à l'eau distillée et replacée dans sa solution d'électrolyte de KCl pour sa conservation.

Les Annexes

3. La température (T°)

La température des échantillons a été mesurée à l'aide d'un thermomètre dont la plage de mesure est comprise entre 0 et 30°C. Pour ce faire, le thermomètre a été plongé directement dans un bécher de 100 mL contenant l'échantillon. La lecture de la température, exprimée en degrés Celsius (°C), a été effectuée après la stabilisation de l'affichage du thermomètre.

4. Les matières en suspension (MES)

La détermination de la concentration en matières en suspension (MES) est cruciale pour évaluer la charge polluante de l'eau. Cette analyse repose sur la filtration d'un volume connu d'échantillon et la pesée des résidus solides.

A. Équipements utilisés

Pour cette analyse, les équipements suivants sont nécessaires :

- **Pompe à vide** : crée la dépression nécessaire à la filtration rapide.
- **Unité de filtration** : dispositif supportant le filtre et permettant la mise sous vide.
- **Filtres en microfibres de verre** : supports poreux retenant les particules en suspension.
- **Balance de précision électronique** : permet des mesures de masse au milligramme près (ou mieux).
- **Pince** : utilisée pour manipuler délicatement les filtres.
- **Étuve** : pour le séchage des filtres à température constante.
- **Dessiccateur** : pour refroidir et stocker les filtres à l'abri de l'humidité.
- **Éprouvette graduée** : pour mesurer le volume exact de l'échantillon.

B. Protocole expérimental

Le protocole suivant doit être rigoureusement respecté pour la mesure de MES :

- **Préposée du filtre** : peser avec précision le filtre en microfibres de verre, préalablement séché et refroidi, et noter cette masse comme P0.
- **Mise en place du filtre** : placer le filtre sur l'entonnoir de l'unité de filtration, en veillant à ce que la face lisse soit orientée vers le bas.
- **Homogénéisation de l'échantillon** : agiter vigoureusement le flacon contenant l'échantillon d'eau pour s'assurer d'une répartition homogène des matières en suspension.
- **Mesure du volume** : verser un volume précis de 50 mL de l'échantillon agité dans une éprouvette graduée.
- **Filtration sous vide** : filtrer l'échantillon en appliquant une dépression à l'aide de la pompe à vide.
- **Séchage initial** : cesser la filtration sous vide une fois que le filtre est pratiquement sec.

Les Annexes

- **Retrait du filtre** : retirer délicatement le papier filtre de l'unité de filtration à l'aide d'une pince à extrémité plate.
- **Positionnement pour le séchage** : placer le filtre sur un support de séchage (par exemple, une capsule de pesée propre).
- **Séchage à l'étuve** : sécher le filtre dans une étuve à une température de 105 °C pendant deux heures afin d'éliminer toute l'humidité.
- **Refroidissement** : transférer la capsule contenant le filtre dans un dessiccateur et laisser refroidir à température ambiante pour éviter l'absorption d'humidité.
- **Post-pesée et calcul** : peser le filtre sec avec les résidus et noter cette masse comme P1. Calculer ensuite la concentration de MES en utilisant la formule suivante :

$$1. \text{ [MES] mg/l} = \frac{P_1 - P_0}{V * 1000}$$

Où :

P1 = masse du filtre avec les matières en suspension (en grammes)

P0 = masse du filtre vide (en grammes)

V = volume de l'échantillon filtré (en millilitres)

5. Demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO5)

La demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO5) est un paramètre essentiel pour évaluer la quantité de matière organique biodégradable présente dans un échantillon d'eau. La mesure de la DBO5 a été effectuée en suivant une méthode respirométrique standardisée.

A. Équipements utilisés

Les équipements suivants ont été employés pour la détermination de la DBO5 :

- **Têtes mesureuses (OXYTOP)** : dispositifs de mesure de pression pour quantifier la consommation d'oxygène.
- **Ampoules de mesure marron** : flacons opaques spécifiques pour l'incubation, évitant l'interférence de la lumière.
- **Agitateurs magnétiques** : assurent l'homogénéisation continue du milieu durant l'incubation.
- **Pastilles de NaOH (hydroxyde de sodium) ou lentilles de KOH (hydroxyde de potassium)** : utilisées pour absorber le dioxyde de carbone (CO2) produit par la respiration microbienne.
- **Armoire thermostatique** : maintient une température constante de 20°C pour l'incubation.

B. Protocole expérimental

Le protocole suivant a été respecté pour la réalisation de cette analyse :

Les Annexes

- **Préparation des échantillons** : deux flacons ont été préparés : le premier avec 97 mL d'eau usée (brute) et le second avec 365 mL d'eau épurée (traitée).
 - **Homogénéisation** : un barreau magnétique a été placé dans chaque flacon pour assurer une agitation constante et l'homogénéisation du milieu interne durant l'incubation.
 - **Activation bactérienne** : du gel nutriment DBO a été ajouté à chaque flacon pour activer et stimuler la croissance des populations bactériennes responsables de la dégradation de la matière organique.
 - **Absorption du CO₂** : un gramme d'hydroxyde de potassium (KOH) a été placé dans les bouchons hermétiques de chaque flacon. Le KOH agit comme un absorbant de CO₂, garantissant que la baisse de pression mesurée est uniquement due à la consommation d'oxygène.
 - **Mise en place des têtes OXYTOP et réglage** : les têtes OXYTOP ont été vissées hermétiquement sur les flacons. Les plages de mesure ont été réglées à [0-600] mg/L pour les échantillons d'eau usée (charge élevée) et à [0-90] mg/L pour les échantillons d'eau épurée (charge plus faible).
1. **Incubation** : les flacons ont été placés dans l'armoire thermostatique, sur les agitateurs magnétiques. L'incubation s'est déroulée pendant cinq jours à une température constante de 20°C, dans un environnement sombre pour éviter toute photosynthèse par des micro-organismes, ce qui fausserait les résultats en produisant de l'oxygène.
 2. **Lecture des résultats** : la valeur finale de la DBO₅ est celle affichée sur la tête OXYTOP à la fin de la période d'incubation de cinq jours, représentant la consommation d'oxygène par les micro-organismes.

6. Demande chimique en oxygène (DCO)

Le test de la **demande chimique en oxygène (DCO)** est une méthode de quantification de la matière organique présente dans l'eau, qu'elle soit biodégradable ou non. Il s'agit d'une oxydation chimique forte, réalisée en milieu acide et à haute température, en utilisant du bichromate de potassium, de l'acide sulfurique et du sulfate de mercure comme réactifs.

A. Équipements utilisés

Pour l'analyse de la DCO, les équipements suivants sont nécessaires :

- **Kits pour DCO** : des kits commerciaux pré-dosés sont utilisés pour la commodité et la précision. Spécifiquement, le **LCK 314** (moins concentré) est réservé aux eaux de sortie (moins chargées), tandis que le **LCK 514** (plus concentré) est adapté aux eaux d'entrée (plus chargées).

Les Annexes

- **Pipette graduée de 2 mL** : Permet de prélever avec précision le volume d'échantillon requis.
- **Réacteur DCO** : un bloc chauffant permettant de soumettre les échantillons à la température et au temps de réaction nécessaires.
- **Spectrophotomètre** : appareil de mesure colorimétrique qui détermine la concentration de DCO en fonction de l'intensité de la couleur développée.

B. Protocole expérimental

La procédure expérimentale pour la détermination de la DCO se déroule comme suit :

- **Préparation du spectrophotomètre** : allumer le spectrophotomètre pour son calibrage automatique.
- **Préparation des échantillons** : prélever 2 mL de chaque échantillon (eau d'entrée et eau de sortie) à l'aide de la pipette graduée.
- **Introduction de l'échantillon dans le kit** : Ouvrir délicatement le bouchon du kit DCO adéquat (LCK 314 ou LCK 514) et y introduire l'échantillon.
- **Homogénéisation** : refermer soigneusement le kit et mélanger doucement. Une réaction thermique immédiate est souvent observée.
- **Incubation dans le réacteur** : placer les kits préparés dans le réacteur DCO.
- **Programmation du réacteur** : programmer le réacteur DCO pour une digestion à 148°C pendant deux heures.
- **Refroidissement et lecture** : après la période de digestion, laisser les kits refroidir. Ensuite, lire la valeur de la DCO au spectrophotomètre.
- **Lecture par code-barres** : la valeur finale est généralement affichée automatiquement par le spectrophotomètre grâce au code-barres imprimé sur le kit, qui contient les informations d'étalonnage.

Les Annexes

Annexe 4 Les résultats des analyses physico-chimiques de STEP SAIDA

Paramètre	Unité	Janvier		Février		Mars		Avril	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Couleur	/	Gris noitaire	Jaune très clair						
Odeur	/	Désagréable	Sans	Désagréable	Sans	Désagréable	Sans	Désagréable	Sans
EC	Us/cm	2370	2200	2343	1883	2343	1883	2232	2103
Débit	M ³ /j	31532	29955	32562	30892	32562	30892	31850	30256
T° (eau)	C°	12.9	11.7	16.9	15.7	16.9	15.7	15.9	15
Ph	/	7.69	7.90	7.70	8.11	7.70	8.11	7.71	8.07
O ₂ dissout	mg/l	0.10	1.43	0.17	1.51	0.17	1.51	0.15	1.50
MES	mg/l	399.86	28.66	466.66	17.77	466.66	17.77	202.33	19
DBO ₅	mg/l	416	34.20	500	29	500	29	246.67	16.33
DCO	mg/l	850	30.20	927	30.60	927	30.60	347	25
NNO ⁻³	mg/l	1.677	0.70	2.440	0.74	2.440	0.74	0.663	0.72
NNO ⁻²	mg/l	0.184	0.304	1.495	1.033	1.495	1.033	0.116	0.416
P _t	mg/l	7.35	1.31	5.980	1.190	5.980	1.190		
PO ₄ ⁻³	mg/l	6.51	0.35					4.00	1.18
Taux épuratoire		93.68		95.69		92.26		92.85	

Les Annexes

Annexe 5 Caractéristiques des ouvrages de prétraitement de la STEP de Saida

Ouvrage	Description	Les caractéristiques
Déversoir d'orage	Un déversoir d'orage installé à l'amont de la STEP déverse le surplus de débit admissible dans le by-pass général de la STEP vers l'Oued.	Longueur 20 m
		Largeur 20 m
		Hauteur 2.5 m
		Volume total 1000 m ₃
piège à sable	Un piège à sable est un bassin spécial pour le traitement mécanique des eaux usées. Il sert à la séparation de particules plus grosses dans le domaine de prétraitement	
Dégrillage	Il consiste à faire passer les eaux usées à travers des grilles dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.	Grille grossière manuelle
		Nombre de grille 01
		Largeur de la grille 1500 mm
		Longueur de la grille 6000 mm
		Grille fine automatique
		Nombre de grille 02
		Largeur de la grille 1000 mm
		Nombre de barreaux 33
		Séparation entre barreaux 20 mm
dessablage-déshuilage	Les opérations dessablage et déshuilage sont combinées dans le même ouvrage, elles consistent à séparer de l'effluent brut les sables et les graviers par décantation, et elles permettent aussi d'éliminer les huiles et les graisses par flottation.	Nombre des unités 02
		Largeur du dessableur 03 m
		Largeur du déshuileur 01 m
		Longueur totale 18 m
		Hauteur totale 5 m
		Hauteur de l'eau 4 m
		Volume utile total 242.9 m ₃
station de relevage	Une station de relevage, de 4 pompes immergées de marque ABS et de 42kg de poids chacune, est utilisée pour amener l'eau qui a subit le traitement physique au bassin d'aération pour le traitement biologique.	

Les Annexes

Annexe 6 Caractéristiques des ouvrages biologiques dans la STEP de Saida

Ouvrage	Description	Les caractéristiques
Bassin d'aération	Dans ce type de traitement, les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.	Unité 02
		Forme rectangulaire
		Longueur 66 m
		Largeur 44 m
		Profondeur totale 5 m
		Hauteur béton 5.60 m
		Hauteur eau 4.5 m
		Volume utile unitaire 13.068m ₃
		Volume utile total 26.136 m ₃
Décanteur secondaire ou clarificateur	c'est un bassin cylindro-conique, où s'effectue la séparation boues-liquide par décantation sous l'effet de gravité.	Nombre 02
		Diamètre 43 m
		Surface unitaire 1.452 m ₂
		Volume unitaire 3.50 m
		Hauteur d'eau 5.0827 m ₃
bassin de chloration (stérilisation)	C'est le processus complémentaire des eaux traitées, particulièrement dans le cas où l'on veut utiliser cette eau pour l'irrigation. La stérilisation est effectuée par le chlore gazeux.	Longueur 30 m
		Largeur 12 m
		Hauteur totale 4 m
		Hauteur utile 3.5 m
		Volume 1.260 m ₃
Epaississeur des boues	L'épaississement c'est la première étape de traitement des boues qui sert à la réduction de leur volume pour qu'elle soit ensuite pompée vers les lits de séchage.	Nombre 01
		Diamètre 16 m
		Hauteur 4 m
		Surface 201.1 m
		Volume 804.25 m ₃
Lits de séchage	Les boues épaissies sont ensuite retirées de l'épaississeur et acheminées vers les lits de séchage	Nombre total des lits 20
		Longueur 30
		Largeur 15
		La surface totale à mettre en œuvre 9000m ₂
		La production annuelle des boues 83.865m ₃ /an

Les Annexes

Annexe 7 Résultats de l'enquête administrative des services agricoles de la wolaya de Saida (DSA., 2017)

Désignation	Organismes sollicités				
	DSA	DREW	ONTA	ANRH	HCDS
Eau de surface					
Barrages					
Nombre	/	/	/	/	/
Capacité (Hm ³)	/	/	/	/	/
Petits barrages et retenues collinaires					
Nombre	/	/	/	/	/
Capacité (Hm ³)	/	/	/	/	/
Fils d'eau					
Nombre	/	/	/	/	/
Eau souterraine					
Nombre de points d'eau	2523	2523	/	/	/
forages	1606	1606	/	Aucune réponse	47
puits	902	902	/	Aucune réponse	/
sources	15	15	/	/	/
Surface agricole					
Superficie Agricole Totale (SAT) en ha	511 348	344 050	/	/	/
Superficie Agricole Utile (SAU) en ha	308 206	307 013	/	/	/
Superficie en irrigué (ha)	22 278	22 278	/	/	/
Type de cultures irriguées (ha)					
Maraîchères	6 777	6 777	/	/	/
Arboricultures	6 863	6 863	/	/	/
Céréales	7 128	7 128	/	/	/

Les Annexes

Fourrages	1 510	1 510	/	/	/
Superficie irriguée par mode d'irrigation (ha)					
Gravitaire	7 174	7 174		/	/
Aspersion	12 502	12 502	/	/	/
Goutte à Goutte	2 602	2 602	/	/	/

Les Annexes

Annexe 9 Valeurs microbiologiques recommandées (coliformes fécaux) (OMS., 2006)

Type d'utilisation	Objectif sanitaire OMS	Limite recommandée (coliformes fécaux / 100 mL)
Irrigation des cultures consommées crues	Protection élevée des consommateurs	≤ 100 UFC / 100 mL (moyenne géométrique sur 30 jours)
Irrigation des cultures industrielles, fourragères ou céréalières	Exposition indirecte	Pas de limite stricte (traitement minimal requis)
Espaces publics, parcs, zones urbaines	Protection des travailleurs et du public	≤ 1000 UFC / 100 mL (moyenne géométrique)
Irrigation localisée (non en contact avec les parties comestibles)	Réduction des risques de contact direct	≤ 1000 UFC / 100 mL