

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 08 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Département : Biologie

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

---

### Thème : Evaluation de l'impact des rayons ultraviolets et de l'eau oxygénée sur la qualité microbiologique des eaux d'épuration dans une station locale (Guelma)

---

Présenté par :

- Amri Aymen.
- Bouchemel Yasser.
- Messikh Hibatallah Raounak.

Devant le jury composée de :

Président :	Mr. Athamnia Mouhamed	MCA	Université de Guelma.
Examineur :	Mr. Merzoug Abdelghani	MCB	Université de Guelma.
Encadreur :	Mr. Mokhtari Abdelhamid	MCB	Université de Guelma

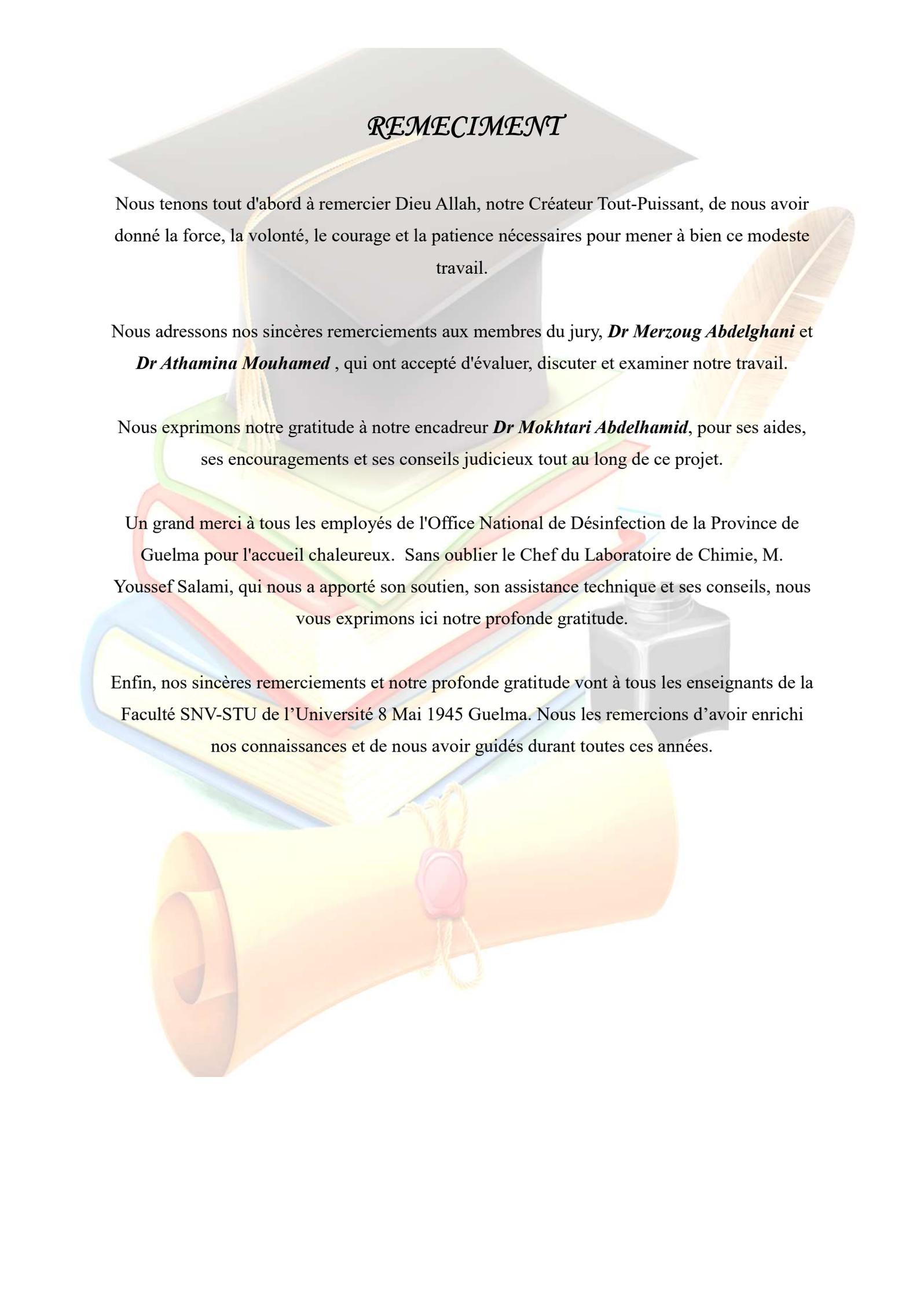
Année universitaire 2023 - 2024

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ

(وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون)

سورة الانباء الاية 30





# REMECIMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu Allah, notre Créateur Tout-Puissant, de nous avoir donné la force, la volonté, le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury, **Dr Merzoug Abdelghani** et **Dr Athamina Mouhamed**, qui ont accepté d'évaluer, discuter et examiner notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à notre encadreur **Dr Mokhtari Abdelhamid**, pour ses aides, ses encouragements et ses conseils judicieux tout au long de ce projet.

Un grand merci à tous les employés de l'Office National de Désinfection de la Province de Guelma pour l'accueil chaleureux. Sans oublier le Chef du Laboratoire de Chimie, M. Youssef Salami, qui nous a apporté son soutien, son assistance technique et ses conseils, nous vous exprimons ici notre profonde gratitude.

Enfin, nos sincères remerciements et notre profonde gratitude vont à tous les enseignants de la Faculté SNV-STU de l'Université 8 Mai 1945 Guelma. Nous les remercions d'avoir enrichi nos connaissances et de nous avoir guidés durant toutes ces années.

## Dédicaces

(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié. **Maman.**

Acelui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, a mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon prince **PaPa.**

À mes sœurs Lina et Renad et à mes frères **Fares** et **Nidal**, qui ont partagé avec moi chaque moment d'émotion lors de la création de cette œuvre.

A tous les membres de ma famille, ma grand-mère « **Manouba** », ma tante « **Zouhra** », mon oncle « Hsan » et mon cousin « **Razzak** », que Dieu prolonge leur vie.

Qui m'a accomagné dans les moments difficiles Et mon amie qui éclaire mon chemin  
« **Amel** ».

À mon amie d'enfance et mon soutien dans le parcours académique  
« **Rayen** ».

À mon directeur, **Dr Abd El Hamid Mokhtari**, pour sa patience, sa diligence et sa réactivité lors de la préparation de cette mémoire.

Sans oublier mon binôme **aymen** et **yasser** pour son soutien moral sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite tous de succès Amira, Yasmine, Assma, Amani, lamiss, samiha, maissa, warda, maissa

**Hibatallah Raounak Messikh**

## *Dédicaces*

À mes plus grands soutiens et sources d'inspiration, je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance infinis.

À ma mère qui a toujours été mon port d'attachement et ma boussole, merci pour ton amour inconditionnel, ton dévouement et inébranlable. Tu as été la lumière qui a éclairé mon chemin dans les moments sombres et tu as toujours cru en moi, même lorsque je doutais.

À mon père qui m'a appris l'importance du travail acharné, de la persévérance et de l'honnêteté, je suis reconnaissante pour tes conseils avisés et ton soutien sans faille. Tu m'as inspiré à viser plus haut et à poursuivre mes rêves. Je te suis infiniment reconnaissante pour ton soutien indéfectible, ta confiance en moi et ton amour.

À mes sœurs **Aya**, **Noussa** et **Nada** et à mon frère **Aymen** et, qui ont partagé avec moi chaque moment d'émotion lors de la création de cette œuvre.

Sans oublier mon binôme **aymen** et **Raounak** pour son soutien moral sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Un tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite tous de succès  
**Ziad . Akrem . Kader . Mohamed ali**

À mon directeur, **Dr Abd El Hamid Mokhtari**, Pour Sa Patience, SA Diligence et sa réactivité LORS DE LA PRÉPARATION de cette mémoire.

**Yasser Bouchmael.**

## *Dédicaces*

À mes plus grands soutiens et sources d'inspiration, je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance infinis.

A ma mère qui a toujours été mon port d'attachement et maboussole, merci pour ton amour inconditionnel, ton devouement et inébranlable. Tu as été la lumière qui a éclairé mon chemin dansles moments sombres et tu as toujours cru en moi, même lorsque jedoutais.

À mon père qui m'a appris l'importance du travail acharné, de lapersévérance et de l'honnêteté, je suis reconnaissante pour tes conseilsavisés et ton soutien sans faille. Tu m'as inspiré à viser plus haut et àpoursuivre mes rêves. Je te suis infiniment reconnaissante pour tonsoutien indéfectible, ta confiance en moi et ton amour.

À mes sœurs **Iman** et **Ghozlane** mon frère **Mahdi** et ,qui ont partagé avec moi chaque moment d'émotion lors dela création de cette œuvre.

Sans oublier mon binôme **yasser** et **Raounak** pour sonsoutien moral sa patience et sacompréhension tout au longde ce projet.

Un tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite nhus de succes **Ziad** .

**Akrem . Kader . Mohamed ali, Rabah.**

À mon directeur, Dr **Abd El Hamid Mokhtari**, Pour Sa Patience, SA Diligence et sa réactivité LORS DE LA PRÉPARATION de cette mémoire.

**Amri Aymen**

## Sommaire

REMECIMENT

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et symboles.

Résumé

Introduction ..... 1

### Partie Bibliographique

1.Définition de l'eau..... 4

2.Propriétés de l'eau..... 4

3.Cycle de l'eau..... 4

4.Contamination de l'eau ..... 5

4.1.La pollution physique et chimique ..... 5

4.1.1.Eléments traces..... 6

4.1.2.Salinité ..... 6

4.1.3.Substances nutritives ..... 6

4.1.3.Les matières en suspension (MES) et la matière organique..... 7

4.2.La pollution microbiologique..... 7

4.2.1.Types de micro-organismes contenus dans les eaux usées..... 7

5.Définition des eaux usées ..... 11

5.1.Réutilisation des eaux usées..... 12

5.2.Chaine d'épuration des eaux usées..... 13

5.2.1.Origines des effluents entrant en station d'épuration ..... 13

5.3.Technologies de traitement des eaux usées dans une station d'épuration..... 14

5.3.1.Prétraitement ..... 15

5.3.2.Traitement primaire .....	17
5.3.3.Traitement secondaire (Traitement biologique) .....	18
5.3.4.Traitements conventionnels des boues activées .....	21
5.3.5.Traitement tertiaire .....	22
5.3.6.Traitements quaternaires (Les procédés de désinfection) .....	24

## **Partie Pratique**

Objectif.....	28
1.Description de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma .....	28
2.Échantillonnage .....	28
3.Protocole expérimental.....	29
3.1.Évaluation de l'efficacité de la désinfection UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> des eaux usées épurées .....	29
3.2.Dilutions décimales des eaux usées .....	29
3.3.Indicateurs de contamination fécale .....	30
3.3.1.Recherche et dénombrement des indicateurs de contamination fécale .....	30
3.3.2.Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux .....	31
3.3.3.Dénombrement des streptocoques fécaux .....	31
3.3.4.Dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs .....	32

## **Résultats et Discussion**

1.Analyse de l'effet de l'eau oxygénée sur la charge microbienne de CT, ST et les ASR dans des échantillons d'eau épurée .....	34
2.Effet de l'eau oxygénée sur les bactéries fécales (CF et SF) dans des échantillons d'eau épurée .....	36
3.Analyse de l'effet combiné du temps d'exposition aux UV et de l'eau oxygénée sur la charge microbienne de CT, ST et les ASR dans des échantillons d'eau épurée .....	37
4.Effet du temps d'exposition aux UV et de l'eau oxygénée sur les bactéries fécales (CF et SF) dans des échantillons d'eau épurée.....	40
Conclusion.....	41
Références Bibliographiques.....	44

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Cycle de l'eau. Ce cycle, entre le ciel et la terre, suit son cours selon cinq étapes. ..	5
<b>Figure 2:</b> Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées.....	15
<b>Figure 3:</b> Dégrillage STEP Guelma.....	16
<b>Figure 4:</b> Dessablage et déshuilage. ....	17
<b>Figure 5:</b> décanteur primaire (STEP Guelma 2024).....	18
<b>Figure 6:</b> Bassin d'aération. ....	20
<b>Figure 7:</b> Ensemble des réactions de réduction de l'azote ( .....	23
<b>Figure 8:</b> Procédure de dilution pour la préparation d'une série de solutions. ....	30
<b>Figure 9:</b> Impact de différents volumes d'eau oxygénée (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) à 30% sur la charge microbienne.....	35
<b>Figure 10:</b> Effet du temps d'exposition des UV et de l'eau oxygénée sur la charge microbienne.....	38

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> L'effet des virus des eaux usées .....	8
<b>Tableau 2:</b> Les bactéries pathogènes dans les eaux usées .....	10
<b>Tableau 3:</b> Les parasites pathogènes dans les eaux usées. ....	11
<b>Tableau 4:</b> Normes de rejet pour l'irrigation (Normes Algériennes). ....	12
<b>Tableau 5:</b> Normes de réutilisation des eaux usées épurées.....	13
<b>Tableau 6:</b> Dénombrement de la charge microbienne sous l'effet de différents volumes d'eau oxygénée à 30%. ....	34
<b>Tableau 7:</b> Impact de différents volumes de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> à 30% sur la charge microbienne des coliformes fécaux et streptocoques fécaux.....	36
<b>Tableau 8:</b> Dénombrement de la charge microbienne sous les effets du temps d'exposition aux UV et à l'eau oxygénée.....	37
<b>Tableau 9:</b> Impact du temps d'exposition au UV et H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> à 30% sur la charge microbienne des coliformes fécaux et streptocoques fécaux.....	40

### Liste des abréviations et symboles.

- **DCO** : Demande chimique en oxygène.
- **DBO** : Demande biochimique en oxygène.
- **JORA** : journal officiel de la république algérienne.
- **VF** : Viande Foie.
- **SP** : Station de Pompage.
- **SM** : Solution Mère.
- **E-coli** : Escherichia coli.
- **ER** : eau du réseau.
- **ET** : eau usée traitée.
- **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène.
- **UV** : Ultraviolet.
- **CF** : Coliformes fécaux.
- **CT** : Coliformes totaux.
- **D/C** : Double concentration.
- **EPA** : Eau peptonée alcaline.
- **NA** : Normes Algériennes.
- **SF** : Streptocoques fécaux.
- **ST** : streptococques totaux.

## Résumé

L'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) à 30% réduit efficacement les coliformes totaux et les streptocoques totaux, mais l'efficacité varie selon le volume. Les coliformes passent de 1100 à 460 cellules/ml avec 1,5 ml, tandis que les streptocoques descendent de 1100 à 210 cellules/ml avec 1,5 ml et à 75 cellules/ml avec 1,8 ml. Les spores de bactéries sulfato-réductrices résistent même à 30%. Le traitement combiné UV +  $H_2O_2$  à 30% varie selon le temps d'exposition. Pour les coliformes totaux, il y a une augmentation de 460 à 1100 cellules/ml entre 5 et 15 minutes, restant stable jusqu'à 30 minutes, puis diminuant à 150 cellules/ml à 45 minutes et 40 cellules/ml à 60 minutes. Les streptocoques totaux diminuent de 210 à 110 cellules/ml à 15 et 30 minutes, mais augmentent à 200 cellules/ml à 45 et 60 minutes. Les coliformes fécaux sont complètement désinfectés à 60 minutes, tandis que les streptocoques fécaux nécessitent plus de temps. Les spores de bactéries anaérobies diminuent de plus de 300 spores/ml à 100 à 30 minutes, 20 spores/ml à 45 minutes, et 10 spores/ml à 60 minutes.

## **Abstract**

Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) at 30% effectively reduces total coliforms and total streptococci, but the effectiveness varies depending on the volume. Coliforms go from 1100 to 460 cells/ml with 1.5 ml, while streptococci go down from 1100 to 210 cells/ml with 1.5 ml and to 75 cells/ml with 1.8 ml. The spores of sulfate-reducing bacteria resist even 30%. The combined UV +  $H_2O_2$  treatment at 30% varies according to the exposure time. For total coliforms, there is an increase from 460 to 1100 cells/ml between 5 and 15 minutes, remaining stable for up to 30 minutes, then decreasing to 150 cells/ml at 45 minutes and 40 cells/ml at 60 minutes. Total streptococci decrease from 210 to 110 cells/ml at 15 and 30 minutes, but increase to 200 cells/ml at 45 and 60 minutes. Fecal coliforms are completely disinfected at 60 minutes, while fecal streptococci require more time. The spores of anaerobic bacteria decrease by more than 300 spores/ml to 100 at 30 minutes, 20 spores/ml at 45 minutes, and 10 spores/ml at 60 minutes.

## ملخص

بيروكسيد الهيدروجين (ثاني أكسيد الكربون) بنسبة 30 % يقلل بشكل فعال من إجمالي القولونيات والمكورات العقدية الكلية ، لكن الفعالية تختلف حسب الحجم. تنتقل القولونيات من 1100 إلى 460 خلية / مل مع 1.5 مل ، بينما تنخفض المكورات العقدية من 1100 إلى 210 خلية/مل مع 1.5 مل وإلى 75 خلية/مل مع 1.8 مل. تقاوم جراثيم البكتيريا المختزلة للكبريتات حتى 30٪. يختلف العلاج المشترك للأشعة فوق البنفسجية + ثاني أكسيد الكربون بنسبة 30 % وفقا لوقت التعرض. بالنسبة للقولون الكلي ، هناك زيادة من 460 إلى 1100 خلية/مل بين 5 و 15 دقيقة ، وتبقى مستقرة لمدة تصل إلى 30 دقيقة ، ثم تنخفض إلى 150 خلية/مل في 45 دقيقة و 40 خلية/مل في 60 دقيقة. ينخفض إجمالي العقديات من 210 إلى 110 خلية / مل في 15 و 30 دقيقة ، ولكن يزيد إلى 200 خلية/مل في 45 و 60 دقيقة. يتم تطهير القولونيات البرازية تماما في 60 دقيقة ، بينما تتطلب المكورات العقدية البرازية مزيدا من الوقت. تنخفض جراثيم البكتيريا اللاهوائية بأكثر من 300 جراثيم/مل إلى 100 في 30 دقيقة ، و 20 جراثيم/مل في 45 دقيقة ، و 10 جراثيم/مل في 60 دقيقة.

# *Introduction*

**L'**Algérie est l'un des pays de la méditerranée touchés par le stress hydrique. Elle est classée dans la catégorie des pays pauvres en cette matière, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé à 1000 m<sup>3</sup> /hab. /an (**Bouchaala et al., 2017**). Du point de vue environnemental, les pressions exercées sur le milieu hydrique s'accroissent dans la mesure où les activités agricoles, industrielles ou urbaines entraînent le déversement de nombreux polluants dans les eaux de surfaces et les eaux souterraines. Ces pollutions, qui peuvent être biologiques ou chimiques, impactent les écosystèmes à des degrés divers, allant jusqu'à menacer la survie d'espèces aquatiques (**Cédat, 2016**). De plus, la contamination des eaux de surface par les micro-organismes provoque de graves maladies (dysenterie, choléra...) qui tuent plusieurs millions de personnes chaque année dont une majorité d'enfants (**Cédat, 2016**).

En Algérie, la nouvelle politique de l'eau accorde une place importante aux ressources non conventionnelles dont font partie les eaux usées épurées (**Chadli et al., 2023**). Durant l'année 2019, les 154 stations d'épuration en exploitation par l'Office National d'Assainissement « ONA » (76 stations à boues activées, 75 stations de lagunage et 03 filtres plantés), ont assuré l'épuration de plus de 253 millions de m<sup>3</sup> d'eaux (**Chadli et al., 2023**). Le but principal de la réutilisation des eaux usées est d'économiser d'importantes quantités d'eau potable qui seraient ainsi destinées pour les besoins de la population en Alimentation d'Eau Potable « AEP » et ainsi permettre de diminuer la pression de mobilisation qui s'exerce sur les nappes, sans pour cela défavoriser les agriculteurs (**Bouzi, 2020**).

Cependant, le développement de la réutilisation des eaux usées traitées doit se faire en suivant une démarche avisée assurant le meilleur équilibre possible des résultats sur les plans sanitaires, environnementaux et économiques (**Bouzi, 2020**). Les processus conventionnels de traitement des eaux usées (prétraitement, traitement primaire et secondaire) permettent une élimination satisfaisante de la charge organique (matières en suspension, demande biochimique en oxygène et demande chimique en oxygène), mais semblent être moins efficaces pour éliminer les micro-organismes pathogènes (**Hassen et al., 2000**).

Les perspectives de réutilisation des eaux usées traitées reposent sur la capacité d'éliminer efficacement les micro-organismes (bactéries, virus, protozoaires...) (**Cédat, 2016**). Dans un contexte global de sécurité sanitaire, l'objectif de cette étude porte sur la recherche de nouveaux substituts pour lutter contre le développement de microorganismes indésirables présents dans les eaux usées épurées issues d'une station d'épuration de la région de Guelma. Cela se fait par la combinaison des effets antimicrobiens des ultraviolets (UV) et de l'eau oxygénée.

Ce mémoire se développe en 3 parties :

- La première est consacrée à une étude bibliographique qui commence par définir l'eau, puis aborde la pollution de l'eau ainsi que ses différents types, la chaîne d'épuration des eaux usées, et enfin, les technologies de traitement des eaux usées utilisées dans une station d'épuration.
- La deuxième partie est consacrée à la présentation des protocoles et méthodes utilisés pour évaluer l'efficacité du temps d'exposition aux doses UV combinées à l'eau oxygénée sur la charge microbienne présente dans les échantillons d'eau épurée.
- Et la troisième partie porte sur les résultats et la discussion, suivis d'une conclusion.

## *Partie Bibliographique*

## **1. Définition de l'eau**

L'eau ou oxyde dihydrogène est définie comme étant un liquide incolore, inodore sans saveur et de pH neutre. L'eau s'allie avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec des oxydes des métaux pour former des acides. Elle est utilisée comme catalyseur dans des nombreuses réactions chimiques importantes (**Perry, 1984**). La molécule d'eau est composée de deux atomes d'hydrogène (de symbole chimique H) et d'un atome d'oxygène (de symbole chimique O) lié par deux liaisons covalentes simples, sa formule chimique est H<sub>2</sub>O. La molécule d'eau présente un moment dipolaire élevé (1,85D), dû à la forte électronégativité de l'atome d'oxygène. Cette polarisation permet d'expliquer pourquoi l'eau conduit le courant électrique et d'autres propriétés remarquables (**Blancher, 1972**).

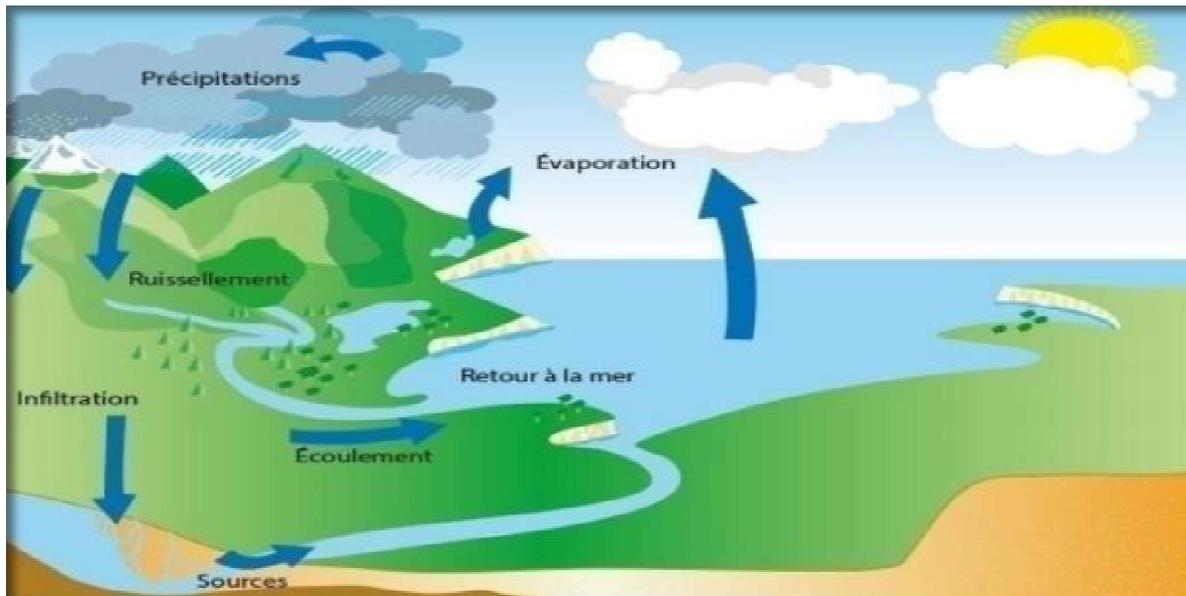
## **2. Propriétés de l'eau**

L'eau est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants. Elle est utilisée comme catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes. Dans la nature sous l'action du soleil, de la pression atmosphérique et de la température, l'eau change d'état. On peut la trouver sous trois formes :

- Etat solide : à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures cristallines régulières.
- Etat gazeux : caractérisé par une absence de forme et de limite physique, il n'y a pas de liaisons entre les molécules, et sont indépendantes les unes des autres.
- Etat liquide : caractérisé par une forme non définie. Les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires (**Sari, 2014**).

## **3. Cycle de l'eau**

Le cycle de l'eau est le résultat des échanges entre les différents réservoirs d'eau : Les océans, les fleuves, les lacs, les glaces, l'atmosphère, etc. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère (**Figure 01**). Elle s'évapore constamment au-dessus des océans, des lacs et des forêts. L'énergie solaire, qui provoque l'évaporation de l'eau permet à l'eau liquide de devenir gazeuse. Le vent transporte l'eau sous forme de vapeur ou sous forme de nuages. La vapeur d'eau qui retourne dans l'atmosphère se condense pour former les nuages qui



**Figure 1:** Cycle de l'eau (CIE, 2013). Ce cycle, entre le ciel et la terre, suit son cours selon cinq étapes (Selhi et Smail, 2004).

Sont transportés dans le ciel par les vents. Lorsque les gouttelettes qui forment les nuages ont atteint un poids suffisant, elles retombent sur la terre sous forme de pluie, de neige ou de grêle sous l'action de phénomènes météorologiques complexes, où interviennent surtout les vents et les différences de températures. L'eau qui ne peut pas s'infiltrer, circule à la surface du sol et se concentre en eau qui rejoint, uniquement par voie de surface, les fleuves et les rivières (Bouziani . 2000).

#### 4. Contamination de l'eau

La pollution des eaux, définie comme étant une dégradation physique, chimique ou biologique provoquée par l'activité humaine, perturbe les conditions de vie et les équilibres aquatiques, en induisant d'importantes nuisances (mauvaise odeur, fermentation, risques sanitaires, etc....., compromettant ainsi leurs utilisations multiples (Ladjet, 2006 ; Ayyach, 2016).

##### 4.1. La pollution physique et chimique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau) (Bouziani, 2000). La pollution physique désigne l'autre type de pollution, telle que la pollution thermique due aux températures élevées, qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution radioactive (Boudjela et al., 2003).

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements polluants organiques et des sels de métaux lourds par les unités industrielles (**Aroua, 1994**). L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines (**Aroua, 1994**). Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse. Les polluants chimiques sont classés en cinq catégories (**Boudjela et al., 2003**). La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon. Ce paramètre donne une estimation de la quantité de polluants présents dans un effluent industriel ou dans des eaux usées (**CEAEQ, 2023**).

#### **4.1.1. Eléments traces**

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques  $\mu\text{g/l}$ ) sont le fer, le zinc, le Cuivre et le Plomb. Les autres métaux (Manganèse, Aluminium, Chrome, Arsenic, Sélénium, Mercure, Cadmium, Molybdène, Nickel, etc...) sont présents à l'état de traces (**Baumont et al., 2009**). Les eaux usées contiennent des composés chimiques toxiques très persistants et qui ont une grande lipophilicité. Parmi ces composés, on peut citer les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien tel que les HAP et les alkyl phénols (**Belgiorno et al., 2007**).

#### **4.1.2. Salinité**

La salinité est un facteur écologique propre aux biotopes aquatiques (mais aussi aux sols) qui caractérise leur teneur en sel (NaCl) et autres sels dissous dans les eaux. Par ailleurs, toute modification intempestive de la salinité due à l'action de l'homme peut présenter un impact redoutable sur les biotopes aquatiques concernés (**Ramade, 2011**).

#### **4.1.3. Substances nutritives**

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (**Hamoda, 2004**). Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes (**Belaid, 2010**).

#### **4.1.3.1. Azote**

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (**Rodier, 2005**).

#### **4.1.3.1. Phosphore**

L'apport journalier de phosphore est d'environ 4 g par habitant. Il est dû essentiellement au métabolisme de l'individu et l'usage de détergent. Les rejets varient d'ailleurs suivant les jours de la semaine (**Ladjel et Bouchefer, 2004**).

#### **4.1.3. Les matières en suspension (MES) et la matière organique**

Les matières en suspension rencontrées dans les eaux (essentiellement superficielles) sont très divers tant par leur nature que leur dimension. Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes, et de produits de dégradation animaux ou végétaux. La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne. Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous-produits de désinfection, odeurs, saveurs, etc... (**Alloune et al., 2013**). Cette pollution organique peut être évaluée par la demande biochimique en oxygène qui est la quantité d'oxygène requise par les bactéries pour stabiliser la matière organique biodégradable dans des conditions aérobies. Elle peut également être définie comme étant la quantité d'oxygène consommée pour assurer, par voie biologique, l'oxydation des matières organiques présentes dans une eau (**Wei, 2000**).

#### **4.2. La pollution microbiologique**

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de microorganismes qui sont responsables de beaucoup de maladies hydriques (**Kpoda et al., Kabré, 2015**). Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. Ces microorganismes sont les bactéries, les champignons, les virus, les protozoaires et les helminthes (**Belaid, 2010**).

#### **4.2.1. Types de micro-organismes contenus dans les eaux usées**

Les eaux usées résultent de la pollution tant physico-chimique que bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité, du fait des activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles (**Richard, 1996**).

#### 4.2.1.1. Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligatoires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux il faut citer *les entérovirus*, *les rotavirus*, *les retrovirus*, *les adénovirus* et *le virus de l'Hépatite A* (**Tableau 01**). Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries (**Belaid, 2010**).

**Tableau 1:** L'effet des virus des eaux usées (**Baumont et al., 2009**).

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Virus de l'hépatite A</i>	Hépatite A		Ingestion
<i>Virus de l'hépatite E</i>			
<i>Rotavirus</i>	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
<i>Virus de Norwalk</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Adénovirus</i>	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Astrovirus</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Calicivirus</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Coronavirus</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
<i>Réovirus</i>	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion

<i>Entérovirus</i>			
<i>Poliovirus</i>	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
<i>Coxsackie A</i>	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
<i>Coxsackie B</i>	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite maladie respiratoire		Ingestion
<i>Echovirus</i>	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion

#### 4.2.1.2. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10<sup>12</sup> bactéries/g. (Asano, 1998). Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées (Tableau 02). Les eaux usées urbaines contiennent environ 10<sup>6</sup> à 10<sup>7</sup> bactéries/100 ml dont la plupart sont *Proteus* et *Entérobactéries*, 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup> *Streptocoques* et 10<sup>2</sup> à 10<sup>3</sup> *Clostridium*s. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10<sup>4</sup> UFC/l. Parmi les plus détectées sont retrouvées, les *Salmonelles*, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux (Belaid, 2010).

**Tableau 2:** Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (Baumont et al, 2009).

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio Choléra</i>	Cholera	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

#### 4.2.1.3. Les protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires (**Tableau 03**). Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voire même plusieurs années (**Campos, 2008**). Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées (**Gennaccaro et al., 2003**). Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardialamblia* et *Cryptospridium parvum*. En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (**Campos, 2008**).

**Tableau 3:** Les parasites pathogènes dans les eaux usées (Baumont et al., 2009).

Organisme : Protozoaires	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre	Voies de contamination Principales
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion

### 5. Définition des eaux usées

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques produite directement ou indirectement par les activités humaines. Les rendant impropres à l'utilisation normale établit. Les eaux usées constituant donc un effluent pollué qui sont rejetées dans les canalisations d'assainissement. Ils regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (les eaux usées des usines) (Ahmed, 2014 ; Gharbi, 2019).

### 5.1. Réutilisation des eaux usées

Dans le cadre de la gestion des eaux usées épurées, un arsenal juridique pour protéger les utilisateurs et gestionnaires, a été mis en place pour une meilleure protection de l'environnement aquatique, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet qui sont données dans le **tableau 4 et 5 (Bouchaala, 2017)**. Ces normes ont pour objectif principal l'élimination des risques sanitaires pour pouvoir procéder à une réutilisation de ces eaux épurés qui dans le cas de l'irrigation est sans restriction (**Bouchaala, 2017**).

**Tableau 4:** Normes de rejet pour l'irrigation (Normes Algériennes) (**Bouzidi,2020**).

Paramètre	unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
Ph	-	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O2/l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100MI

Source : ANRH (ALGER)

**Tableau 5:** Normes de réutilisation des eaux usées épurées (Bouzidi,2020).

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO +(1985)	OMS ++(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4 *		6,5-8,5
CE	ds/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée > 3,0 * Forte restriction		3
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O <sub>2</sub> /l	< 40 **		90
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	<10 **		30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50 **		30
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	< 0,94 **		Non disponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction		Non disponible
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **		Non disponible

## 5.2. Chaîne d'épuration des eaux usées

### 5.2.1. Origines des effluents entrant en station d'épuration

L'effluent entrant en station est dénommé "eaux usées", il peut se composer de quatre types d'effluents différents dont l'importance relative est fonction du site (collectivités, industries, type de réseau, état du réseau, etc...) (Bakiri, 2007).

#### 5.2.1.1. Origine domestique

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères et les eaux de vanne (Bougada et Koreichi , 2020). Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension (Saadi et Lahmar, 2018). Ce type d'eaux usées comprend des suspensions (fèces, sécrétions, muqueuses animales et humaines, résidus alimentaires...), des composés organiques (sucres, protéines, graisses), des composés chimiques (lavants et lessives, huiles) (Dehia, 2022).

### **5.2.1.2. Origine agricole**

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins) (**Bakiri, 2007**). Les eaux issues de terres cultivées chargées d'engrais azotés, nitrates et phosphates conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes superficielles et des cours d'eaux (**Dehia, 2022**).

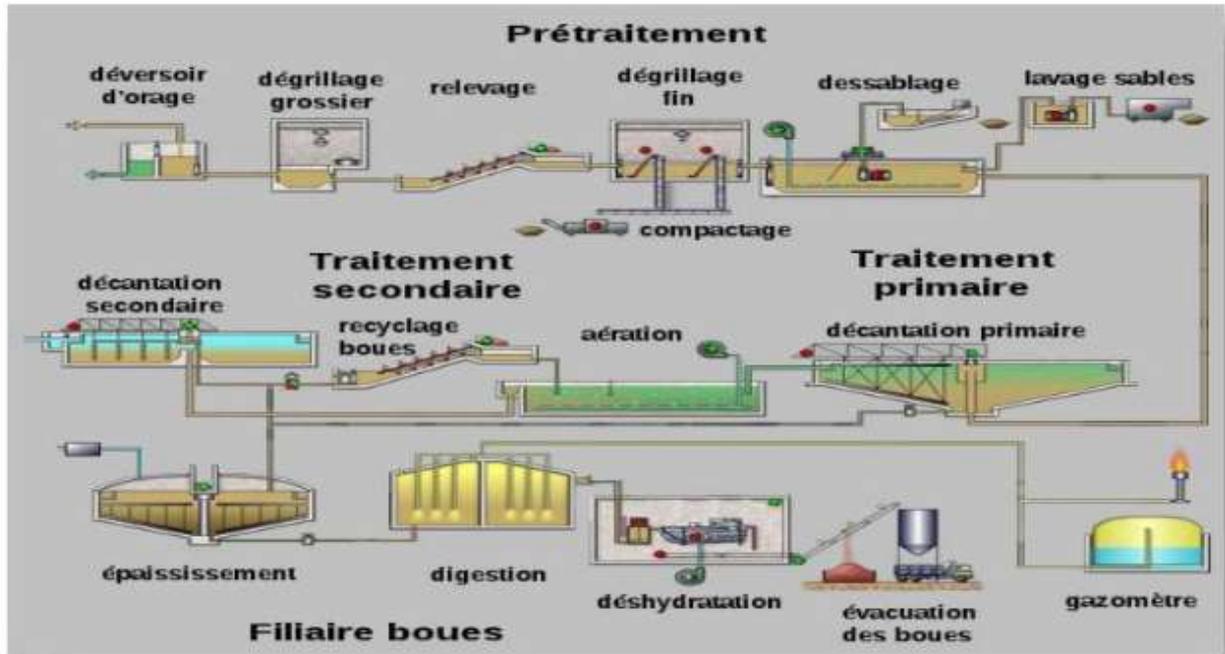
### **5.2.1.3. Origine industrielle**

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées (**Saadi et Lahmar, 2018**). La génération de ce type d'eaux usées est liée aux activités des usines de production et de service ainsi qu'aux processus technologiques qui s'y déroulent (**Dehia, 2022**). La majeure partie de la pollution est causée par les activités des industries minières, métallurgiques, pétrolières, textiles, de l'énergie, de l'électromécanique, de la tannerie, de la cellulose et de l'alimentation (**Dehia, 2022**). En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques.

## **5.3. Technologies de traitement des eaux usées dans une station d'épuration**

Les eaux usées des zones urbaines peuvent subir différents traitements impliquant des processus physiques, chimiques et biologiques. Ces méthodes varient en termes d'efficacité et de coûts, selon les normes de qualité requises pour le milieu environnant. Le traitement des eaux usées implique plusieurs stades (**Figure 02**) :

- Prétraitement (physique) : Dégrillage, Dessablage, Déshuilage-Dégraissage.
- Traitement primaire (physico-chimique) : Coagulation-floculation, Décantation.
- Traitement secondaire (biologique) : Boues activées, Lit bactérien, Lagunage, Disques biologiques.
- Traitement tertiaire
- Traitement quaternaire



**Figure 2:** Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées (Djoudi.R ,2019).

### 5.3.1. Prétraitement

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Le prétraitement consiste en trois étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement (ElHifnawy, 2012). Il comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras (Régis et al., 2010).

### **5.3.1.1. Le dégrillage**

La première étape du prétraitement est le dégrillage qui permet de séparer les déchets solides (papiers et plastiques essentiellement) des eaux usées qui arrivent à la station. Un râteau vient régulièrement débarrasser ceux-ci de la grille. Ces papiers et plastiques sont ensuite collectés pour être envoyés en centre de traitement (**Figure 03**) (Marsault *et al.*, 2013 ; Laabassi, 2016).



**Figure 3:** Dégrillage STEP Guelma.

### **5.3.1.2. Le dessablage**

Pour prévenir les dépôts dans les canalisations, protéger les organes mécaniques (pompes) contre l'abrasion et éviter de perturber les autres étapes de traitement. Les sables, recueillis généralement par raclage en fond de bassin, sont recyclés (**Attab, 2011**).

### **5.3.1.3. Le dégraissage et déshuilage**

C'est une opération destinée à réduire les graisses et huiles non émulsionnées par simple sédimentation physique en surface. Il est évident que les huiles et les graisses présentent de multiples inconvénients dans le traitement biologique ultérieur, tels qu'une mauvaise diffusion de l'oxygène dans le floc bactérien. Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient par la suite (Figure 04) (Metahri, 2012 ; Laabassi, 2016).



**Figure 4:** Dessablage et déshuilage.

### **5.3.2. Traitement primaire**

Si les prétraitements visent à l'élimination des matières solides, des sables, et des matières minérales qu'on peut récupérer par surnage, le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension et constitue une pré-épuration non négligeable quoique insuffisante pour garantir la qualité du rejet en milieu naturel (ElHifnawy, 2012). Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et floculant. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation (Boues physicochimiques) (Moulin et al ; 2012).

### **5.3.2.1. Coagulation/Floculation**

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation (ElHifnawy, 2012).

### **5.3.2.2. La décantation**

C'est la phase de séparation gravitaire des matières insolubles dans l'eau, elle permet d'éliminer environ 70 % des matières en suspension. Celles-ci se déposent au fond du bassin, ce sont les boues primaires. Elles sont ensuite récupérées par raclage du fond du bassin, puis envoyées à l'épaisseur (Figure 05) (Rodier et Legube, 1996).



**Figure 5:** décanteur primaire (STEP Guelma 2024).

### **5.3.3. Traitement secondaire (Traitement biologique)**

Le traitement secondaire a pour objectif principal l'élimination des composés d'origine organique (pollutions carbonées et azotées) (Attab, 2011). Il s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépend des matières organiques « biodégradables » qui constituent pour eux des aliments (Tarmoul, 2007). Deux

familles de procédés sont utilisés pour ce type de traitement : l'une dite lit bactérienne et l'autre boue activée.

Dans le procédé des boues activées les colonies microbiennes se développent au sein même du liquide à épurer, qui doit être constamment agité et surtout abondamment aéré (ce dispositif présente quant à lui des analogies avec l'auto-épuration se déroulant dans les rivières) (**EIHifnawy, 2012**). Celle-ci est réalisée dans le bassin d'aération et dans les bassins annexes (bassin d'anoxie, d'anaérobie,...). La présence de ces derniers dépend du type de traitement recherché (C, N, P) (**Canler, 2002**).

#### **5.3.3.1. La voie anaérobie**

Ce processus est réalisé par l'intervention des micro-organismes anaérobies tels que les bactéries, les protozoaires et quelques champignons anaérobies (**Effebi, 2009**). Les bactéries anaérobies en particulier, les bactéries méthanogènes qui conduisent, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO<sub>2</sub> (**Tarmoul, 2007**). Il se fait par quatre étapes différentes, l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogénèse et la méthanogénèse (**Effebi, 2009**). L'étape de dénitrification en vue de l'élimination biologique de l'azote, contenu dans les eaux usées urbaines, en azote gazeux est réalisée dans les bassins d'anoxie.

#### **5.3.3.2. La voie aérobie**

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer (**Moulin et al., 2012**). Il est nécessaire de fournir aux bactéries épuratrices des conditions physicochimique approprié pour commencer leurs activités :

- une température idéale est de 22 °C,
- un pH de 7.3 jusqu'à 8,
- et de l'oxygène dissous grâce à des turbines d'aération.

Ce type de traitement fait appel aux bactéries aérobies qui se développent en présence d'oxygène. La dégradation des polluants est effectuée par des réactions d'oxydation dans un milieu aéré appelé bassin d'aération (**Figure 07**) (**Bakiri, 2014**). La voie aérobie peut se réaliser par des traitements « conventionnels » ou par des traitements « extensifs ».



**Figure 6:** Bassin d'aération.

### 5.3.3.3. Clarification

La clarification permet de séparer par décantation l'eau épurée des boues secondaires issues du traitement biologique. Cette décantation se fait dans des ouvrages spéciaux, le plus souvent circulaires, appelés clarificateurs ou décanteurs secondaires (**Figure 06**). Une partie des boues secondaires est évacuée en aval vers le traitement des boues ; l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation. Dans la plupart des cas, l'effluent peut être rejeté dans le milieu naturel après la clarification. Le rejet se fait par un canal équipé de capteurs de mesure pour l'auto surveillance de la station (**Kardache, 2015**).



**Figure 06 :** Clarificateur (STEP Guelma 2024).

#### **5.3.4. Traitements conventionnels des boues activées**

Le procédé dit à « boues activées » est basé sur une culture bactériologiquement très active mélangée avec des eaux usées, qui permet la dégradation aérobie de la matière organique, dans le bassin d'aération. La biomasse ainsi formée constituant la phase solide est éliminée par décantation dans le décanteur secondaire (Bakiri, 2014). Il serait simpliste de croire que les boues urbaines ou industrielles sont toutes de nature identique. Il faut au contraire prendre conscience de l'extrême diversité de ces boues et de leur hétérogénéité de composition en fonction de leur origine (Koller, 2009). La composition d'une boue produite dans une station d'épuration dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés de traitement auxquels elle a été soumise. On pourra distinguer ainsi

##### **5.3.4.1. Les boues de prétraitement (boues primaires)**

Les boues primaires se forment par le dépôt des matières décantables contenues dans les eaux usées non traitées ; les boues fraîches sont conduites par un racleur dans une trémie à boues d'où elles peuvent être retirées avec une teneur en eau d'environ 90-95 %. Aux boues primaires, on ajoute d'habitude les boues flottantes, dans la mesure où elles ne sont pas trop huileuses et ne doivent donc pas être traitées séparément (Pernin, 2003).

##### **5.3.4.2. Les boues de l'épuration biologique (boues secondaires)**

Les boues secondaires résultent de l'activité vitale des micro-organismes. Les boues ont une structure floculée et sont séparées dans des décanteurs secondaires (clarificateur). Dans les bassins de boues activées, la plus grande partie est recirculée dans les bassins comme boues de retour et seules les boues en excès sont évacuées (Koller, 2009). Les boues en excès sont le plus souvent réintroduites dans les eaux usées en tête de station, et se sépareront avec les boues primaires des décanteurs primaires. Cette méthode fait diminuer la teneur élevée en eau des boues biologiques (Koller, 2009). Le mélange de boues primaires et de boues activées s'appelle boues mixtes. Il faut noter que ces boues biologiques auront une composition différente en fonction de la nature du substrat dégradé, de la charge de fonctionnement du réacteur biologique, du traitement de stabilisation (aérobie ou anaérobie) éventuellement pratiqué (Koller, 2009).

##### **5.3.4.3. Les boues de traitement physico- chimiques (les boues tertiaires)**

Les boues tertiaires renferment la quasi-totalité de la pollution particulaire et colloïdale enlevée à l'eau (dans les décanteurs placés en aval), ainsi que les quantités de réactifs ajoutés qui se retrouvent dans les boues sous forme d'hydroxydes métalliques ou de précipités minéraux (Carbonate, phosphate, etc) (Koller, 2009). Ce traitement tertiaire a pour principal objectif un rôle d'affinage du traitement. Il s'avère obligatoire derrière une boue activée

lorsque les niveaux de rejets demandés sont très contraignants comme une teneur en matière en suspension (MES) inférieur à 20 mg MES/l, une teneur en phosphore inférieure à 1 mg /l et une concentration en DCO inférieure à 60 mg/l. Elles sont le plus souvent obtenues par l'ajout de réactifs chimiques elles sont aussi le plus souvent plus difficiles à déshydrater (**Canler et al., 2013**).

### **5.3.5. Traitement tertiaire**

On entend par "traitement tertiaire", tout traitement physique, chimique ou biologique qui vient compléter les traitements primaire et secondaire. Les traitements tertiaires possibles sont nombreux et peuvent, dans certains cas, constituer une chaîne plus ou moins complexe; tout dépend de l'usage qu'on fera de l'eau traitée. Dans le cas des rejets en rivière, ils se limitent, au plus, à la désinfection, à la déphosphatation et à la dénitrification (**ElHifnawy, 2012**). Lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieux particulièrement sensibles, tels que les lacs, étangs et rivières souffrant de phénomène d'eutrophisation, un traitement tertiaire est réalisé afin d'éliminer l'azote et le phosphore. Selon la directive européenne, toutes les stations de plus de 10 000 équivalents habitants doivent être munies d'un traitement tertiaire (N et P) (**Vandermeersh, 2006**).

#### **5.3.5.1. Azote**

Dans les eaux usées, l'azote est essentiellement présent sous forme organique et ammoniacale. Outre l'assimilation de l'azote par les bactéries qui n'agit que faiblement sur sa réduction, l'abattement de l'assimilation de l'azote par les bactéries qui n'agit que faiblement sur sa réduction, se réalise en deux phases successives :

##### **5.3.5.1.1. Nitrification en milieu oxygéné**

La nitrification consiste en la transformation de l'ammoniaque en nitrate, elle est réalisée de façon biologique par les bactéries nitrifiantes. Or, ces bactéries ont une faible croissance, le temps de rétention des eaux dans le bassin d'aération doit donc être assez long. La nitrification ne se produit donc pas dans le traitement secondaire, mais bien par un traitement aérobie tertiaire, plus long (**Degrémont, 2001**).

##### **5.3.5.1.2. Dénitrification en milieu pauvre en oxygène**

Le nitrate ainsi produit est éliminé par la dénitrification biologique. La dénitrification est le processus par lequel les bactéries dénitrifiantes anaérobies convertissent le nitrate en azote gazeux (N<sub>2</sub>). Cette réaction est réalisée par le fait que, en absence d'oxygène, ces bactéries sont capables d'utiliser immédiatement l'oxygène des nitrates comme un oxydant. Le donneur d'électrons sera de préférence du carbone organique. La source de substrat carboné est donc très importante. En pratique, cette étape sera réalisée grâce à un bassin

tertiaire anaérobie. Dans certains cas, les quantités de carbone organique apportées par l'effluent peuvent être insuffisantes pour obtenir une dénitrification poussée (Degrémont, 2001). L'ensemble des réactions de réduction de l'azote est schématisé dans la figure 7.

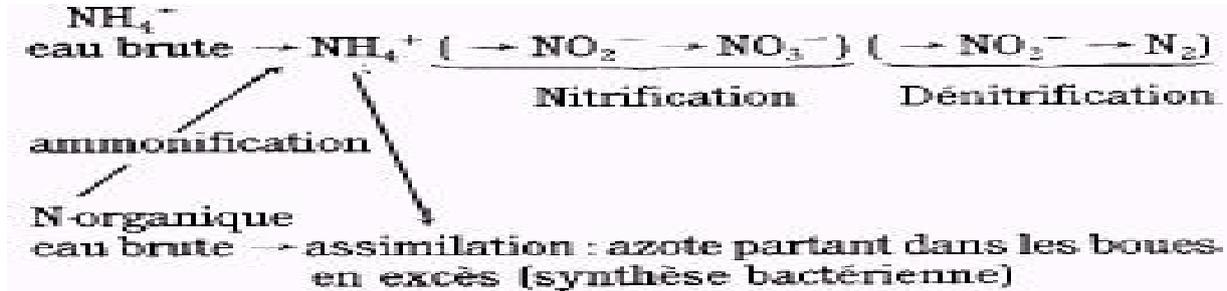
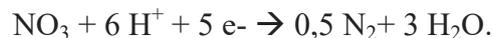


Figure 7: Ensemble des réactions de réduction de l'azote (Degremont , 2001).

En pratique, les stations d'épuration réalisent le processus complet ou non selon le cas. Ainsi, uniquement une phase de nitrification à pour but de produire un effluent contenant exclusivement de l'azote sous forme de nitrate, cette forme d'azote ne consommera donc plus d'oxygène lorsqu'il sera rejeté en milieu naturel, contrairement à l'ammoniaque. Cette étape comporte 2 sous-étapes : la Nitritation qui est une oxydation de NH<sub>4</sub> en NO<sub>2</sub> par les bactéries du genre *Nitrosomonas*. Et la Nitratation qui est une oxydation de NO<sub>2</sub> en NO<sub>3</sub> par les bactéries du genre *Nitrobacter*. La réaction globale simplifiée de la nitrification s'écrit de façon suivante :



Par contre, au court d'une phase de nitrification suivie d'une dénitrification l'effluent obtenu ne contient presque plus d'azote, le processus complet ayant été réalisé. La réaction de dénitrification est la suivante :



### 5.3.5.2. Phosphore

Comme cité précédemment, le phosphore est un élément important dans les phénomènes d'eutrophisation des lacs, étangs et rivières. Or, une grande source de phosphore provient de l'eau urbaine. Il est donc primordial dans certains cas d'assurer un traitement tertiaire de déphosphatation (Degrémont, 2001). Il existe différentes façon d'éliminer le phosphore des eaux : biologiquement ou chimiquement.

#### 5.3.5.2.1. Biologiquement

Le principe de la déphosphatation biologique consiste en une accumulation de phosphore dans la biomasse microbienne, essentiellement par les bactéries accumulatrices de poly-phosphate (poly-P), En vue de réaliser des réserves d'énergie ou des réserves en

phosphore. Cette déphosphatation demande une alternance de séquences anaérobies/aérobies : l'alternance de ces séquences a pour but de modifier l'équilibre enzymatique régulant la synthèse du poly-P en phase anaérobie (**Degrémont, 2001**).

Dans la phase anaérobie des bactéries céto-gènes anaérobies facultatives, utilisent le carbone organique mis à leur disposition pour produire de l'acétate. Ces micro-organismes vont accumuler progressivement du phosphore jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10 à 11 % de leur poids sec. Dans la phase aérobie l'acétate produit est réutilisé par des bactéries du groupe *Acinetobacter/Moraxella*. Ce sont des bactéries aérobies strictes qui ne peuvent utiliser qu'une gamme de substrats plutôt limitée.

#### **5.3.5.2.2. Chimiquement**

La précipitation du phosphore par voie chimique se réalise de la même manière que celle dans le cas du traitement primaire physico-chimique : Potentiel hydrogène, température, salinité, oxygène dissous, matières en suspension, matières oxydables (demande chimique en oxygène, demande biochimique en oxygène, carbone organique dissous...) formes de l'azote (organique, ammonium, nitrites, nitrates) et du phosphore (phosphore total, orthophosphates), anions et cations majeurs dits naturels, éléments toxiques minéraux (métaux) et organiques (**Allali, 2014**).

#### **5.3.6. Traitements quaternaires (Les procédés de désinfection)**

La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies. On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma (**Maref, 2019**).

##### **5.3.6.1. Désinfection par le chlore**

Le chlore est utilisé dans le traitement des eaux comme désinfectant pour détruire les microorganismes pathogènes. C'est le désinfectant qui, traditionnellement, a reçu le plus grand nombre d'applications. Les produits chimiques les plus utilisés pour obtenir une désinfection des eaux par le chlore sont : Le Chlore gazeux  $\text{Cl}_2$ , les hypochlorites de sodium,  $\text{NaOCl}$ , les hypochlorites de calcium,  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , les monochloramines,  $\text{NH}_2\text{Cl}$ , et le dioxyde de chlore,  $\text{ClO}_2$ . Aux doses habituelles il demeure inefficace contre les kystes amibiens et les œufs de certains parasites intestinaux. Il a également plusieurs rôles, secondaires mais importants comme oxydant pour l'élimination du Fe et du Mn, l'élimination des mauvais goûts et des mauvaises odeurs et l'élimination de l'azote ammoniacal. Toutefois, le chlore

peut réagir avec la matière organique d'origine naturelle présentes dans l'eau, pour former des substances d'odeur désagréable (chlorophénols) ou cancérigènes telles que les trihalométhanes (THM). On les appelle les sous-produits de la chloration.

#### **5.3.6.2. Désinfection par l'ozone**

L'ozone est un gaz extrêmement instable et un oxydant très puissant. Il n'a pas de pouvoir rémanent et donc ne dispense pas d'un ajout de chlore sur le réseau pour une action bactériostatique. L'ozone est certainement l'oxydant le plus efficace sur les virus, le fer et le manganèse. Il ne donne pas de gout à l'eau, Contrairement au chlore, qui oxyde fortement les matières organiques. Pour obtenir un effet désinfectant, les dosages recommandés sont de 2 à 4 g/l avec des durées de contact de 8 minutes. L'inconvénient majeur de l'ozone est son instabilité qui laisse l'eau sans protection contre les développements des bactéries et autres micro-organismes (**Bernard et al., 2015**).

#### **5.3.6.3. Désinfection par le rayonnement UV**

L'irradiation par une dose suffisante de rayonnement UV permet la destruction des bactéries, virus, germes, levures, champignons, algues, etc. les rayonnements UV ont la propriété d'agir directement sur les chaînes d'ADN des cellules et d'interrompre le processus de vie et de reproduction des micro-organismes. Comme pour l'ozone, elle n'est pas caractérisée par un effet rémanent. Chacun de ces produits possède un pouvoir désinfectant différent que l'on peut classer dans cet ordre : UV > Ozone > Chlore (**Kebane, kahina.2021**). Le paramètre le plus pertinent dans l'efficacité des traitements UV est la dose, l'énergie reçue par unité de surface. Cette énergie est le produit de l'irradiance (unité : mW/cm<sup>2</sup>) par le temps d'exposition (unité : seconde) et elle s'exprime en mWs/cm<sup>2</sup> (microwatt seconde/cm<sup>2</sup>). La variation d'un de ces 2 facteurs influe sur l'efficacité de la désinfection. Le choix de la longueur d'onde est primordial dans un traitement UV (**Perrot, 1995 ; Hassen, 2000**). La dose d'UV demandée pour l'abattement d'un pathogène donné est influencée par la qualité de l'influent. Afin de réaliser une désinfection adéquate, l'eau doit être perméable aux rayons UV, cette perméabilité est affectée notamment par les différents constituants de l'influent. En effet, ceux-ci absorbent l'énergie UV émise par les lampes et diminuent donc la transmission des rayonnements (**Moreno, 1997 ; Hassen, 2000**).



# *Partie Pratique*

## **Objectif**

L'objectif central de cette étude est d'évaluer l'impact des traitements UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sur l'inactivation de la flore bactérienne présente dans les eaux usées épurées d'une station de la région de Guelma. Une attention particulière est portée à l'étude de l'influence du temps d'exposition à une dose d'UV et de la concentration en oxydant le peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sur l'efficacité de la diminution de la charge bactérienne des eaux usées traitées par la station d'épuration. L'évaluation de cette efficacité reposera sur des techniques de microbiologie générale, incluant le dénombrement des micro-organismes indicateurs de contamination fécale tels que, les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques totaux, les streptocoques fécaux et les bactéries sulfato-réductrices.

### **1. Description de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma**

Le site de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma a été implanté à la sortie de l'agglomération, aux abords de l'Oued Seybouse sur la RN21 menant à Annaba, couvrant une superficie de 7 hectares. La capacité maximale pour laquelle la station d'épuration a été conçue est de 200 000 équivalents habitants (EqH), correspondant à un volume de 43 000 m<sup>3</sup>/jour collectés par deux stations de relevage (pompage) situées à la périphérie de la ville. La station est entièrement pilotée et gérée informatiquement. Après traitement, l'objectif est de garantir un rejet respectant un taux maximal de 90 mg/l de DCO (demande chimique en oxygène), 30 mg/l pour la DBO (demande biochimique en oxygène) et 30 mg/l pour les MES (matières en suspension produites par les rejets urbains et industriels) [2].

### **2. Échantillonnage**

L'échantillonnage à la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Guelma a été réalisé avec rigueur et précision. Plusieurs prélèvements ont été effectués à un endroit spécifique au sein de la STEP. Le prélèvement a été réalisé à la sortie de la STEP, en aval du bassin de clarification, après que l'eau usée a été traitée.

Lors du prélèvement d'échantillons d'eau usée traité pour des analyses bactériologiques, l'utilisation de flacons stériles en verre de 250 ml est recommandée. Chaque flacon doit être étiqueté avec les informations suivantes telles que la date et l'heure du prélèvement, le point de prélèvement de l'eau et l'origine de l'eau.

Il est impératif d'analyser les échantillons rapidement après le prélèvement pour éviter toute altération de la teneur initiale en microorganismes. Ils doivent être transportés dans une enceinte réfrigérée à environ 4°C dans un délai maximum de 8 heures avant l'analyse. De plus, le délai entre le prélèvement et le début de l'analyse ne doit pas dépasser 24 heures. En

cas de besoin, le reste du prélèvement non utilisé peut être conservé au réfrigérateur pour d'autres éventuelles vérifications, notamment pour des lectures bactériologiques ultérieures.

### **3. Protocole expérimental**

#### **3.1. Évaluation de l'efficacité de la désinfection UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> des eaux usées épurées**

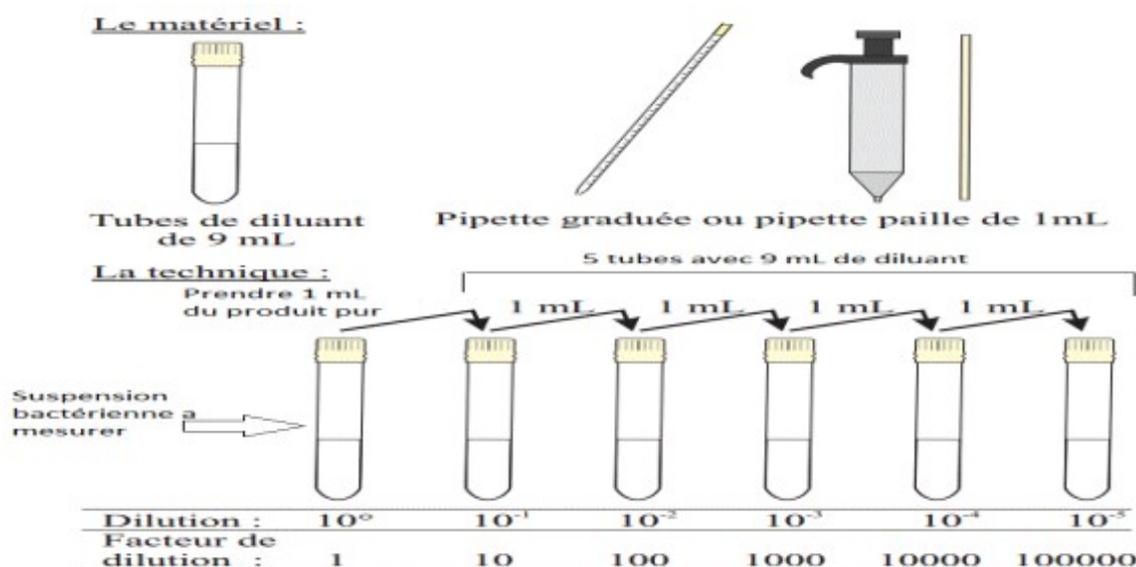
L'appareil de laboratoire est équipé d'une lampe UV émettant à une longueur d'onde de 254 nm, permettant le traitement des échantillons. Les essais ont été réalisés pour évaluer l'effet antimicrobien combiné de l'UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sur des échantillons de 15 ml d'eau usée épurée, contenus dans des tubes, à une distance de traitement de 12 cm, et pour cinq durées de traitement différentes (5 minutes, 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes et 60 minutes). Le peroxyde d'hydrogène a été ajouté à une concentration de 300 mg/L.

#### **3.2. Dilutions décimales des eaux usées**

L'analyse microbiologique des échantillons a été réalisée dès réception au laboratoire, afin d'éviter toute modification éventuelle de la concentration microbienne initiale. Une série de dilutions dans de l'eau distillée stérile est réalisée. Seules les dilutions 10<sup>-1</sup> et 10<sup>-4</sup> sont utilisées pour le dénombrement des coliformes totaux (CT), les indicateurs de contamination fécale (CF et SF) et les anaérobies sulfite-réducteurs.

Après avoir agité soigneusement l'échantillon pour assurer une suspension homogène de bactéries, 1 ml de l'échantillon a été prélevé et introduit dans un premier tube, constituant ainsi la dilution 10<sup>-1</sup>. En utilisant une nouvelle pipette stérile, 1 ml de cette dilution a été transféré dans un deuxième tube pour obtenir la dilution 10<sup>-2</sup>, et ainsi de suite pour les dilutions suivantes (**Figure 8**). Les solutions ont été homogénéisées par vortex pour une meilleure extraction de la microflore.

Le choix du nombre de dilutions est basé sur la charge microbienne de l'eau à analyser. Pour effectuer les dilutions, 1 ml de l'échantillon d'eau est introduit aseptiquement dans un tube à essai contenant 9 ml d'eau distillée stérile, ce qui constitue la dilution initiale de 1/10. Ce processus est répété avec chaque dilution jusqu'à obtenir la dilution optimale, en fonction du niveau de pollution de l'eau à analyser.



**Figure 8:** Procédure de dilution pour la préparation d'une série de solutions.

### 3.3. Indicateurs de contamination fécale

Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau) [3]. On définit comme suit le groupe des CT, toute bactérie anaérobie facultative, en forme de bâtonnet, non sporulée et gram- négative qui fermente le lactose et produit du gaz et de l'acide dans les 48 heures à 35 °C. Ce groupe comprend des membres des genres *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter* (Santé Canada, 2006).

Les coliformes thermotolérants (fécaux) comprennent les CT capables de produire du gaz dans les 24 heures à 44,5 °C. Les CF sont des micro-organismes indicateurs d'une pollution d'origine fécale humaine ou animale. Ils sont généralement en nombre inférieur aux CT et indiquent qu'il y a contamination récente ou constante (CEAEQ, 2014).

Le terme "Streptocoques fécaux" désigne les Streptocoques généralement présents dans les fèces de l'homme et des animaux. Ils se présentent sous forme de cocci, Gram+, formant des chaînettes, dépourvus de catalase mais possédant la substance antigénique caractéristique du groupe 'D' de Lancefield, c'est-à-dire : *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus durans* ; *Streptococcus bovis* ; *Streptococcus equinus* (OMS, 1994).

#### 3.3.1. Recherche et dénombrement des indicateurs de contamination fécale

La recherche et le dénombrement des CT, CF et des SF ont été effectués selon la méthode de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP). Les résultats de dénombrement sont déterminés à partir de la table de Mac Grady

(Rodier, 2009). Cette méthode repose sur une estimation statistique du nombre de microorganismes présents dans l'eau, basée sur le principe de vraisemblance. Elle consiste à observer les réponses positives obtenues pour une ou plusieurs dilutions successives de la suspension bactérienne originale, permettant ainsi d'établir une densité bactérienne.

### **3.3.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux**

Le dénombrement des CT dont les CF se réalise en deux étapes : une recherche des CT par un test présomptif et celle d'*E. coli* par un test confirmatif.

La recherche présumée des CT sur milieu BCPL nécessite l'ensemencement de tubes avec 1 ml de chaque dilution d'eau à analyser et munis d'une cloche du Durham. Après une incubation de 24 à 48 heures à 37°C, une culture positive, caractérisée par un dégagement de gaz, est indicative de la présence de coliformes totaux. Les tubes positifs se manifestent par un trouble accompagné d'un virage du violet au jaune et un dégagement de gaz dans la cloche. Le dénombrement des coliformes totaux par 100 ml se fait en comptant le nombre de tubes positifs selon la table de Mac Grady, qui fournit le NPP. Ce trouble microbien et le virage au jaune sont dus à la fermentation du lactose dans le milieu.

La recherche confirmatoire des CF, notamment *E. coli*, implique l'utilisation du test de Mackenzie pour les tubes positifs. Ce test consiste à ensemencer une eau peptonée et un tube de BCPL avec cloche, puis à incuber pendant 48 heures à 44°C. La présence de gaz dans le BCPL et la production d'indole par les coliformes thermotolérants peut orienter vers *E. coli*, identifiable par l'apparition d'un anneau rouge ou rose à la surface du tube après l'addition du réactif de Kovacs. Pour l'expression des résultats, le dénombrement d' *E. coli* suit la même méthode que celui des coliformes totaux sur la table de Mac Grady (NPP).

### **3.3.3. Dénombrement des streptocoques fécaux**

Les streptocoques fécaux sont dénombrés en milieu liquide à l'aide de deux bouillons de culture, le milieu de Rothe et le milieu Eva-Litsky. Cette méthode repose sur deux tests successifs : un test de présomption suivi d'un test de confirmation (Abouelouafa, 2002). Les entérocoques sont dénombrés de manière présomptive sur le milieu de Rothe simple concentration (Rothe S/C) à 37°C pendant 24 heures. Après l'incubation, les tubes présentant un trouble microbien sont considérés comme positifs. Les résultats de dénombrement sont exprimés en nombre de germes pour 100 ml d'échantillon selon la table de Mac Grady.

À partir des tubes de Rothe positifs présentant à la fois un trouble microbien et un virage du milieu, on prélève successivement quelques gouttes de chacun avec une pipette pasteur pour les transvaser dans des tubes contenant 10 ml de milieu Litsky. L'incubation des tubes se fait à

44°C pendant 24 à 48 heures. La présence de streptocoques fécaux est confirmée par l'apparition d'un trouble microbien. Parfois, la culture s'agglomère au fond du tube, fixant le colorant et formant une pastille violette de signification identique au trouble.

#### **3.3.4. Dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs**

Les ASR, bactéries Gram positif, se développent sur gélose viande foie (VF) en 24 à 48 heures, formant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), produisant du sulfure de fer de couleur noire. Leur présence sous forme de spores indique souvent une contamination ancienne (**Eddabra., 2011**). Ces spores, d'origine fécale, sont ubiquistes, révélant souvent des infiltrations telluriques (**Figarella et al., 2001**).

La méthode de dénombrement implique le chauffage à 80°C pendant 10 minutes des tubes contenant 1 ml d'échantillon, suivi d'un refroidissement rapide pour éliminer les formes végétatives des bactéries sulfite réductrices. Ensuite, 20 gouttes de sulfite de sodium, 4 gouttes de sulfate de fer et 20 ml de gélose VF sont ajoutés, selon **Attab (2011)**.

Pour détecter les *Clostridium* Sulfite réducteurs, les formes végétatives sont éliminées par chauffage à 80°C, puis l'échantillon est incorporé à un milieu VF fondu avec du sulfite de sodium et de l'alun de fer. Après incubation à 37°C pendant 48 heures, les colonies entourées d'un halo noir sont potentiellement issues de bactéries anaérobies sporulées sulfite-réductrices. Ce processus inclut le transfert de 10 ml d'eau à analyser dans un tube stérile, chauffé puis incubé à 37°C pendant 48 heures. La lecture se fait après solidification et incubation, avec une première lecture recommandée après 24 heures pour éviter une saturation du tube (**Rejsek, 2002**).

## *Résultats et Discussion*

**1. Analyse de l'effet de l'eau oxygénée sur la charge microbienne de CT, ST et les ASR dans des échantillons d'eau épurée**

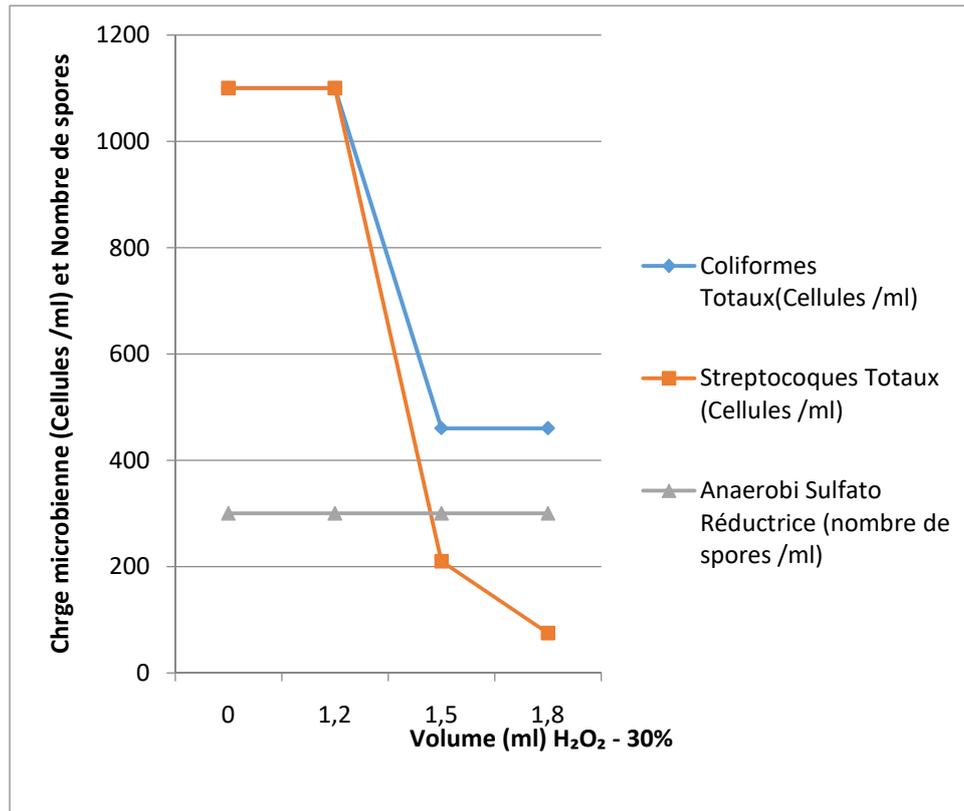
Le tableau ci-dessus montre l'évolution de la charge microbienne des coliformes totaux (CT), des streptocoques totaux (ST) et du nombre de spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices (ASR) sous l'effet de différents volumes d'eau oxygénée à 30%. L'eau oxygénée est un agent oxydant puissant, doté d'une structure chimique comportant des électrons non appariés, ce qui la rend extrêmement réactive. Cette réactivité lui permet de causer des dommages aux macromolécules cellulaires, telles que les protéines, les lipides et les acides nucléiques (Abdollahi et Hosseini, 2014).

**Tableau 6:** Dénombrement de la charge microbienne sous l'effet de différents volumes d'eau oxygénée à 30%.

Concentration en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> - 30%	Coliformes Totaux (Cellules /ml)	Streptocoques Totaux (Cellules /ml)	Anaérobies Sulfato Réductrices (spores /ml)
0	>1100	>1100	-
1,2	>1100	>1100	>300
1,5	460	210	>300
1,8	460	75	>300

Initialement, la charge microbienne des coliformes totaux (CT) est d'environ 1100 cellules/ml (Figure 11). Avec l'augmentation du volume d'eau oxygénée, on observe une diminution progressive de cette charge. Pour un volume de 1,5 ml de la solution d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30%, la charge microbienne diminue à environ 460 cellules/ml et reste stable par la suite. Cela indique que l'eau oxygénée réduit efficacement la population de coliformes totaux, bien qu'une certaine population résiduelle persiste même aux concentrations les plus élevées testées.

Le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> agit comme un oxydant en produisant des radicaux libres hydroxyles (•OH) qui attaquent les composants cellulaires essentiels, y compris les lipides, les protéines et l'ADN (McDonnell et Russell, 1999). Les radicaux hydroxyles (•OH) oxydent les groupes thiol présents dans les enzymes et les protéines. Ces groupes thiol sont cruciaux pour la fonction des protéines, et leur oxydation peut entraîner l'inactivation des enzymes et des protéines (Russell, 2003). Cependant, d'autres effets sont également connus, y compris la dissociation des ribosomes 70S en sous-unités ribosomiques, perturbant ainsi la synthèse protéique. Il peut induire des changements à la surface des cellules, ce qui peut affecter l'intégrité et la fonction cellulaire (Russell, 2003).



**Figure 9:** Impact de différents volumes d'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) à 30% sur la charge microbienne.

La charge initiale des streptocoques totaux (ST) est également d'environ 1100 cellules/ml. Cependant, contrairement aux coliformes totaux, les streptocoques totaux montrent une diminution rapide et drastique de leur charge microbienne. À un volume de 1,5 ml de la solution d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30%, la charge chute à environ 210 cellules/ml et continue de diminuer pour atteindre 75 à un volume de 1,8 ml. Cela suggère que les streptocoques totaux sont très sensibles à l'eau oxygénée, et qu'une concentration qui correspond à ce volume de 1,8 ml est suffisante pour éliminer une grande partie de celle-ci. En général, on observe une plus grande activité contre les bactéries Gram-positives que contre les bactéries Gram-négatives. Cependant, la présence de catalase ou d'autres peroxydases chez ces organismes peut augmenter leur tolérance à des concentrations plus faibles de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (McDonnell et Russell, 1999).

La charge initiale des spores de bactéries sulfato-réducteurs anaérobies (ASR) est d'environ 300 spores/ml. Contrairement aux CT et ST, la charge des ASR reste constante à travers toutes les concentrations d'eau oxygénée testées. Cela montre que les spores d'ASR sont résistantes à l'eau oxygénée dans les conditions testées, et que l'augmentation de la concentration de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> n'a pas d'effet observable sur leur nombre. Des concentrations plus

élevées de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (de 10 à 30 %) et des temps de contact plus longs sont nécessaires pour une activité sporicide (McDonnell et Russell, 1999).

## 2. Effet de l'eau oxygénée sur les bactéries fécales (CF et SF) dans des échantillons d'eau épurée

Le tableau ci-dessous montre l'impact de différents volumes de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30% sur la charge microbienne des coliformes fécaux (CF) et des streptocoques fécaux (SF) variant selon la durée du traitement.

**Tableau 7:** Impact de différents volumes de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30% sur la charge microbienne des coliformes fécaux et streptocoques fécaux.

Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> à 30% (mL)	CF : BCPL/E.P	SF : Roth/Litsky	Charge microbienne	Interprétation générale
1.2 ml	+++	+++	Élevée pour CF et SF	Présence très élevée de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux. Désinfection insuffisante pour les deux types de bactéries.
1.5 ml	++-	+++	Moyenne pour CF, élevée pour SF	Réduction partielle des coliformes fécaux, mais présence encore élevée de streptocoques fécaux. La désinfection est insuffisante pour les streptocoques fécaux.
1.8 ml	++-	+++	Moyenne pour CF, élevée pour SF	Réduction partielle des coliformes fécaux, mais présence encore élevée de streptocoques fécaux. La désinfection est insuffisante pour les streptocoques fécaux.

Le traitement avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30% montre une efficacité variable en fonction du volume utilisé. Un volume de 1.2 ml est insuffisant pour réduire de manière significative la charge microbienne des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux. En augmentant le volume à 1.5 ml et 1.8 ml, on observe une réduction partielle des coliformes fécaux, mais les streptocoques fécaux restent largement présents. Pour une désinfection optimale, il pourrait être nécessaire d'augmenter encore le volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ou d'explorer des méthodes de traitement combinées pour cibler efficacement les deux types de bactéries.

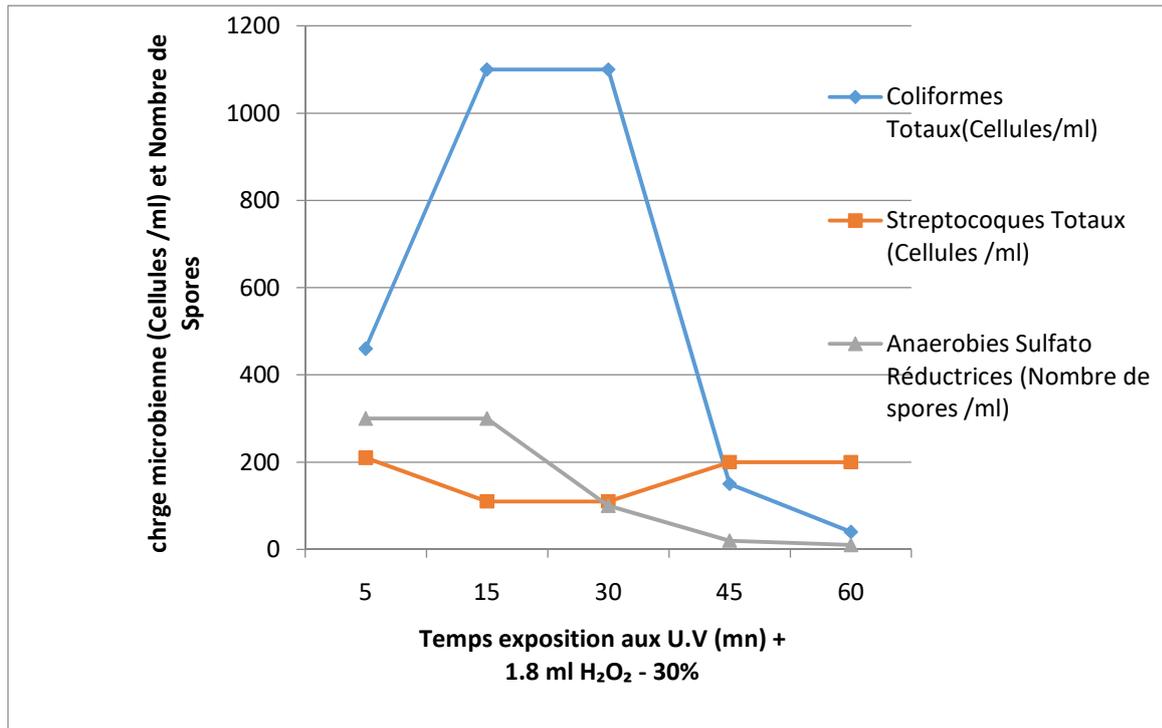
**3. Analyse de l'effet combiné du temps d'exposition aux UV et de l'eau oxygénée sur la charge microbienne de CT, ST et les ASR dans des échantillons d'eau épurée**

Le tableau ci-dessus montre l'évolution de la charge microbienne des coliformes totaux (CT), des streptocoques totaux (ST) et du nombre de spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices (ASR) sous l'effet du temps d'exposition aux UV associé à l'eau oxygénée. Le spectre UVC, en particulier la plage de 250–270 nm, est fortement absorbée par les acides nucléiques d'un micro-organisme et constitue donc la gamme de longueurs d'onde la plus létale pour les micro-organismes. Cette plage, avec un pic germicide à 262 nm, est connue sous le nom de spectre germicide (Dai et al., 2012).

**Tableau 8:** Dénombrement de la charge microbienne sous les effets du temps d'exposition aux UV et à l'eau oxygénée.

<b>Temps exposition UV (mn) + 1,8 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-30%</b>	<b>Coliformes Totaux (cellules/ml)</b>	<b>Streptocoques Totaux (Cellules/ml)</b>	<b>Anaérobies Sulfato Réductrices (Nombre de spores)</b>
5	460	210	>300
15	1100	110	>300
30	1100	110	100
45	150	200	20
60	40	200	10

Pour les coliformes totaux (CT), on observe initialement une augmentation significative de leur nombre, passant de 460 Cellules/ml à 5 minutes à 1100 Cellules/ml à 15 minutes (Figure12). Ce nombre reste stable à 1100 Cellules/ml jusqu'à 30 minutes. L'augmentation initiale du nombre de coliformes totaux (CT) après une exposition aux UV de 5 à 15 minutes, ainsi que la stabilité de ce nombre jusqu'à 30 minutes peut être due à divers facteurs.



**Figure 10:** Effet du temps d'exposition des UV et de l'eau oxygénée sur la charge microbienne.

L'effet combiné des UV et de l'eau oxygénée peut entraîner une réponse de stress chez les bactéries, activant leurs mécanismes de défense et de réparation (Harm, 1980; Davies, 2003). Certaines bactéries ont des mécanismes de réparation de l'ADN qui peuvent être activés après une exposition initiale aux UV. Ces mécanismes peuvent réparer les dommages causés par les UV, permettant aux bactéries de survivre et de se multiplier temporairement (Jiang et al., 2009; Cadet et al., 2005). De plus, les effets létaux des UV peuvent nécessiter un certain temps pour se manifester pleinement. Il se peut que les bactéries endommagées par les UV ne meurent pas immédiatement, mais continuent à être détectées pendant une période de temps avant de succomber aux dommages infligés.

Après cette période de 30 minutes, une diminution spectaculaire est notée, atteignant 150 Cellules/ml à 45 minutes et seulement 40 Cellules/ml à 60 minutes. Cela indique que l'exposition aux UV provoque une réduction de manière significative leur nombre après une exposition prolongée, démontrant un effet d'inactivation microbienne retardé mais efficace. Le mécanisme d'inactivation des micro-organismes par les UVC consiste à endommager le matériel génétique (Dai et al., 2012). Les radiations UV induisent deux des lésions d'ADN les plus abondantes, mutagènes et cytotoxiques, à savoir les dimères de pyrimidine cyclobutane (CPDs) et les photoproduits 6-4 (6-4PPs) (Sinha et Häder, 2002). La dimérisation des

molécules de pyrimidine. En particulier, la thymine (qui se trouve uniquement dans l'ADN) produit des dimères de cyclobutane. Ces CPDs causent une distorsion dans la structure de l'ADN. Cette distorsion peut entraîner des dysfonctionnements lors de la réplication cellulaire et conduire à la mort de la cellule. Et, si la réplication a lieu, elle produit souvent un défaut qui empêche le micro-organisme d'être viable (**Dai et al., 2012**).

En ce qui concerne les streptocoques totaux (ST), leur nombre diminue de 210 Cellules/ml à 5 minutes à 110 Cellules/ml à 15 et 30 minutes. Cependant, après 30 minutes, le nombre augmente de nouveau pour atteindre 200 Cellules/ml à 45 et 60 minutes. Cela suggère que l'exposition aux UV a un effet complexe sur ces bactéries, causant initialement une diminution, mais suivi d'une résurgence, ce qui pourrait indiquer une résistance ou une adaptation des streptocoques à l'exposition prolongée aux UV ou à l'hétérogénéité de l'échantillon utilisé. Ce phénomène peut s'expliquer par plusieurs mécanismes biologiques. Les streptocoques, comme de nombreuses autres bactéries, possèdent des mécanismes de réparation de l'ADN qui peuvent être activés après une exposition aux UV. La photoréactivation, avec l'aide de l'enzyme photolyase, est l'un des mécanismes de réparation les plus importants et les plus fréquents chez une variété d'organismes. La réparation par excision, qui peut être distinguée en réparation par excision de base (BER) et en réparation par excision de nucléotides (NER), joue également un rôle important dans la réparation de l'ADN chez plusieurs organismes grâce à l'aide de nombreuses glycosylases et polymérases, respectivement (**Sinha et Häder, 2002**).

Pour les spores de bactéries anaérobies (SAR), leur nombre est supérieur à 300 spores aux premières mesures de 5 et 15 minutes. Par la suite, une diminution constante est observée : 100 spores à 30 minutes, 20 spores à 45 minutes, et enfin 10 spores à 60 minutes. Cela démontre que le traitement aux UV combiné à l'eau oxygéné est très efficace contre les spores de bactéries anaérobies, avec une réduction continue du nombre de spores au fil du temps.

**4. Effet du temps d'exposition aux UV et de l'eau oxygénée sur les bactéries fécales (CF et SF) dans des échantillons d'eau épurée**

Le tableau ci-dessous montre l'impact du temps d'exposition aux UV et au H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30% sur la charge microbienne des coliformes fécaux (CF) et des streptocoques fécaux (SF) variant selon la durée du traitement.

**Tableau 9:** Impact du temps d'exposition au UV et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30% sur la charge microbienne des coliformes fécaux et streptocoques fécaux.

Temps d'exposition (UV + 1.8 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	CF : BCPL/E.P	SF : Roth/Litsky	Charge microbienne	Interprétation générale
5 minutes	+--	+--	Faible pour CF et SF	Désinfection partielle, faible présence de bactéries
15 minutes	---	+++	Élevée pour SF	Désinfection efficace pour CF, présence élevée de SF
30 minutes	++-	+--	Moyenne pour CF, faible pour SF	Réduction partielle des CF, faible présence de SF
45 minutes	+--	+--	Faible pour CF et SF	Désinfection partielle, faible présence de bactéries
60 minutes	---	+--	Faible pour SF	Désinfection efficace pour CF, faible présence de SF

Le traitement combiné UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30% montre une efficacité variable en fonction du temps d'exposition. Une exposition prolongée tend à réduire la charge microbienne. La désinfection des coliformes fécaux est complète à 15 et 60 minutes, tandis que les streptocoques fécaux montrent une résistance plus élevée, nécessitant des temps d'exposition prolongés pour une réduction significative. Pour une désinfection optimale, un ajustement du temps d'exposition ou des traitements supplémentaires pourraient être nécessaires.

# *Conclusion*

Cette étude porte sur la recherche de nouveaux substituts pour lutter contre le développement de microorganismes indésirables présents dans les eaux usées épurées issues d'une station d'épuration de la région de Guelma. Cela se fait par la combinaison des effets antimicrobiens des ultraviolets (UV) et de l'eau oxygénée.

L'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) à 30% se révèle très efficace pour réduire la charge microbienne des coliformes totaux et des streptocoques fécaux, mais son efficacité varie considérablement selon le volume appliqué. Pour les coliformes totaux, la charge diminue de 1100 cellules/ml à environ 400 cellules/ml avec 1,5 ml de solution, et reste stable par la suite. Les streptocoques totaux, initialement à 1100 cellules/ml, voient leur charge chuter à environ 210 cellules/ml avec 1,2 ml de  $H_2O_2$ , pour atteindre 75 cellule/ml à 1,8 ml, illustrant une sensibilité élevée à l'eau oxygénée.

Le traitement à 30% montre également que 1,2 ml est insuffisant pour réduire significativement la charge microbienne des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, et qu'augmenter le volume à 1,5 ml et 1,8 ml entraîne une réduction partielle des coliformes, tandis que les streptocoques fécaux restent largement présents.

Cependant, les spores de bactéries sulfato-réductrices anaérobies, avec une charge initiale de 300 spores/ml, demeurent résistantes à toutes les concentrations testées, même à 30%, nécessitant des volumes plus élevés et des temps de contact prolongés pour une élimination efficace.

Pour le traitement combiné UV +  $H_2O_2$  à 30% est variable en fonction du temps d'exposition. Pour les coliformes totaux (CT), on observe une augmentation initiale de leur nombre, passant de 460 cellules/ml à 5 minutes à 1100 cellules/ml à 15 minutes, avant de rester stable jusqu'à 30 minutes. Cette augmentation pourrait être due à une réponse de stress aux UV, activant des mécanismes de réparation de l'ADN. Après 30 minutes, une diminution importante est notée, atteignant 150 cellules/ml à 45 minutes et seulement 40 cellules/ml à 60 minutes, illustrant un effet d'inactivation retardé mais efficace des UV. Les UV induisent des lésions majeures de l'ADN, notamment des dimères de pyrimidine cyclobutane (CPDs) et des photoproduits 6-4 (6-4PPs), perturbant la structure de l'ADN et empêchant la réplication cellulaire.

Pour les streptocoques totaux (ST), le nombre diminue de 210 cellules/ml à 5 minutes à 110 cellules/ml à 15 et 30 minutes, mais augmente de nouveau après 30 minutes, atteignant 200 cellules/ml à 45 et 60 minutes. Ce comportement complexe pourrait indiquer une résistance ou adaptation des streptocoques aux UV, via des mécanismes de réparation de l'ADN tels que la photoréactivation et la réparation par excision (BER et NER).

La désinfection des coliformes fécaux est complète à 15 et 60 minutes, tandis que les streptocoques fécaux montrent une résistance plus élevée, nécessitant des temps d'exposition prolongés pour une réduction significative. Pour une désinfection optimale, un ajustement du temps d'exposition ou l'ajout de traitements complémentaires pourrait être nécessaire.

Pour les spores de bactéries anaérobies (ASR), le nombre initial de spores, supérieur à 300 spores/ml, diminue continuellement : 100 spores/ml à 30 minutes, 20 spores/ml à 45 minutes, et 10 spores/ml à 60 minutes. Ce déclin démontre l'efficacité remarquable du traitement aux UV combiné à l'eau oxygénée, qui réduit significativement le nombre de spores au fil du temps.

## *Références Bibliographiques*

- **Abdennaceur Hassen, Meryem Mahrouk, Hadda Ouzari, Mohamed Cherif, Abdellatif Boudabous et Jean Jacques Damelin court.** 2000. UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. *Bioresource Technology*. 74 , 141-150.
- **Abdollahi, M. and Hosseini, A.** 2014. Hydrogen Peroxide. *Encyclopedia of Toxicology*, Volume 2.
- **Abouelouafa, M., Berrichi, A., El Halouani, H. and Kharboua, M.** (2002) Effets de la réutilisation des eaux usées brutes de la ville d'Oujda sur quelques paramètres agronomiques et bactériologiques. *Actes Inst. Agron. Vet*, 22, 153-160.
- **Alloune M et al.,** (2013). Contrôle de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de la région de Bordj Bou Arreridj, Mémoire de Master. 4-7-8-10 p.
- **Amina Chadli , Hachemi Benhasseini , Nadjia Fertout Mouri et Hamid Aguiar.** 2023. La réutilisation des eaux usées, une alternative durable pour la gestion des ressources en eau de la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie). *Geo-Eco-Trop*, 46, 2 :301-313.
- **Aroua A.** (1994). L'homme et son milieu. Edition société national. Alger, 73-85p.
- **Asano T.** (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library*, 10ème édition, CRC Press, London, 1475p.
- **Attab, S.** 2011. Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par bouesactivées de la STEP Haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local. [Mémoire de Magistère]. [Ourgla] : Université Kasdi Merbah. 39;42.
- **Bakiri, Z.** 2014. Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : Expérimentation et modélisation. Diplôme de Magister. Département de Génie des Procédés. Université Ferhat Abbas-Sétif – Algérie.
- **Bouchaala Laid, Charchar Nabil et Gherib Abde.** 2017. Ressources hydriques: traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. Division Biotechnologies et Environnement, Centre de Recherche en Biotchnologies (C.R.Bt), Constantine, Algérie.
- **Bougada Amina et Koreichi Belkis.** 2020. Exploration des différentes étapes de l'épuration biologique des eaux usées et mesure de la charge organique ; Cas station de Oued Athmania. Mémoire. Département de biologie appliquée. Université des Frères Mentouri Constantine 1– Algérie.

- **Bouzidi Youssouf.** 2020. Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie. Diplôme de Master. Département de Génie Civil & Hydraulique. Université de Guelma Algérie.
- **Baumont S., Camard J. P. et Lefranc A.** (2009). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, École nationale supérieure agronomique de Toulouse (ENSAT), 222p.
- **Belaid N.** (2010). Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, thèse de doctorat, Université de Limoges, 236p.
- **Belgiorno V., Luigi R., Despo Fatta Claudio D. R., Giusy L., Anastasia N., Vincenzo N. and Sureyya M.** (2007). Review on endocrine disrupting emerging compounds in urban wastewater : occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. *Desalination*, 215 : 166–176.
- **Blancher G.** (1972). Abrégé de médecine préventive et d'hygiène. Editeur : Paris : Masson ; Année de publication : 1972 . p 176.
- **Boudeal , Djouid H.** (2003). Pollution de l'Oued Boussellem par les eaux usées urbaines et industrielles et impact de leur utilisation dans l'irrigation. Thèse ing, des écosystèmes universitaires, Stif. 6-13p.
- **Bouziati M.** (2000). L'eau, de la pénurie à la maladie. Ed. Khaldoun. Algérie. 195p.
- **Bruno Cédric.** 2016. Evaluation du procédé UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pour la désinfection et l'élimination des micropolluants en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées en petites stations d'épuration. Thèse de Doctorat. Université Lyon.
- **Cadet J., Douki T. & Ravanat J. L.** 2005. Oxidatively generated base damage to cellular DNA. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(1), 9-21.
- **Campos C.** (2008). New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. *Desalination*, 218, 34–42.
- **Dai, T., Vrahas, M. S., Murray C. K. et Hamblin M. R.** 2012. Ultraviolet C irradiation: an alternative antimicrobial approach to localized infections? *Expert Review of Anti infective Therapy*, 10(2), 185-195.
- **Davies, M. J.** 2003. Singlet oxygen-mediated damage to proteins and its consequences. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 305(3), 761-770.

- **Direction générale de la coordination scientifique et du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.** 2023. Détermination de la demande chimique en oxygène : Méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Méthode d'analyse. MA. 315 – DCO 1.1
- **Eddabra Rkia.** 2011. Evaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des stations d'épuration du grand Agadir : Isolement, Caractérisation moléculaire et Antibiorésistance des espèces du genre vibrio. Diplôme de Docteur en Microbiologie. Université IBN ZOHR. Agadir-Maroc.
- **Figarella Jean, Leyral Guy et Terret Michèle.**2001. Microbiologie: générale et appliquée. Éditeur Cachan : J. Lanore. ISBN : 2-86268-280-2.
- **Gennaccaro A.L., McLaughlin M.R., Quintero-Betancourt W., Huffman D.E. and Rose J.B.** (2003). Infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in final reclaimed effluent. Application. Environment. Microbiology. 69, 4983–4984
- **Hamoda M.F.** (2004). Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. Desalination, 165, 31-41
- **Harm, W.** 1980. Biological Effects of Ultraviolet Radiation. Cambridge University Press.
- **Hassen A, Mahrouk M, Ouzari H, Cherif M, Boudabous A, Damelincourt JJ.** UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in laboratory UV device. Bioresource Technology 2000; 74: 141-
- **Hatem.** (2008). Traitement des eaux usées urbaines, les procédés Biologiques d'épuration. thèse. Université Virtuelle de Tunis.
- **Jiang C., Schmelzer K. R. & Wood P.** 2009. DNA repair and mutagenesis in bacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 73(4), 737-756.
- **Kardache. L.** 2015. valorisation énergétique des boues de la station d'épuration d Boumerdes, Mémoire fin d'étude. Université M'HAMED BOUGERA BOUMERDES
- **Ladjel, F. et Bouchefer, S.** 2004. Exploitation, d'une station d'épuration à boues activées Niveau II. Thème. CFMA (centre aux métiers de l'assainissement). Boumerdes. 90p.

- **Laid Bouchaala, Nabil Charchar et Abde Elfettah Gherib.** 2017. Ressources hydriques: traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. Centre de Recherche en Biotechnologies (C.R.Bt), Constantine.
- **McDonnell G. & Russell A. D.** 1999. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147-179.
- **Mouloudji Sarah-Hind et Dehia Haroun.** 2022. Traitement des eaux usées industrielles – Cas de la station de NAFTAL. Diplôme de Master. Spécialité : Génie des procédés de l’environnement. Université Mira de Bejaia – Algérie.
- **Metahri M.S.** 2012. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées; par des procédés mixte.
- **Moulin.** 2012. Traitement des eaux usées • Nsikak Benson. (2008). *Encyclopedia of Global Warming ar Climate Change*. Ed. S. Philander. Vol 3. Thousand Oaks. CA: Sac Publications Inc.3:813-817
- **Perry J.** (1984). *Microbiologie: cours et question de révision*. Edition Dunod. Paris. • Purified wastewater : health risks and feasibility in Île-de-France, École nationale supérieure agronomic de Toulouse (ENSAT), 222p.
- **Ramade F.** 2011. Introduction à l'écochimie, les substances chimique et l'écosphère a l'Homme. Edition. Lavoisire. Paris. 828p.
- **Régis.B, Marc.S, Béchir S.** (2010), Guide technique de l'assainissement (collecte épuration-conception-exploitation), 4ème édition
- **Richard C.** (1996)- Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Ed. Scientifiques et médicale Elsevier. Paris.
- **Rodier J.** (2005) : L'analyse de l'eau, Eaux résiduaires, Eaux de mer. 8ème édition. Dunod. Paris, p .1383 ,1479.
- **Rodier J., Legube B.**1996. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires. eau de mer». 8ème édition. DUNOD. paris.
- **Rejsek Franck.** (2002) Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Scéren (CRDP AQUITAINE). Coll. Biologie technique. Sciences et techniques de l'environnement. 360p.
- **Russell, A. D.** 2003. Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 52(5), 750-763.

- **Selhi S. et Smail T.** (2004). Physico-chemical analysis of drinking water from the city of Bejaia. Engineering dissertation. Abderrahmane Mira Bejaia University. Process engineering specialty. 93p.
- **Sinha R. P. & Häder D.-P.** 2002. UV-induced DNA damage and repair: a review. Photochemical & Photobiological Sciences, 1(4), 225-236.
- **Saadi Mohamed et Lahmar Fares Alaa Eddine.** 2018. Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de GUELMA. Département Hydraulique. Diplôme de Master. Université Badji Mokhtar- Annaba – Algérie.
- **Tarmoul F.** 2007. - Détermination de la pollution résiduelle d'une station
- **Youssef Bouzidi.** 2020. Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie. Mémoire de Master. Hydraulique et technique des eaux. Université 8 Mai de Guelma.
- **Santé Canada.** 2006. Les coliformes totaux. Préparé par Le Comité fédéral provincial-territorial sur l'eau potable Du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. Ottawa (Ontario).
- **Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.** 2014. Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants (fécaux) et confirmation à l'espèce Escherichia coli : méthode par filtration sur membrane. Gouvernement du Québec.

#### **Sites web**

- [2]:<https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/la-station-d-epuration-de-guelma-operationnelle-88490-Articles-0-15688-1.html>.
- [3] : <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-totaux>.