

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 مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY TAHAR, Saïda



كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Etude de la qualité physico-chimique et bactériologie des eaux épurées issues de la station d'épuration de la ville de Saïda

Présenté par :

▪ M : lakehal maroua

Soutenu le : 01/06/2023

Devant le jury composé de :

Président

Examineur

Examineur

Rapporteur

Mr. Kefifa Abdelkrim

Mr. Kahloula Khaled

Mr. Loth Mustapha

Mr. Saïdi Abdelmoumene

Pr Université UMTS

MCA Université UMTS

MAA Université UMTS

MCB Université UMTS

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

J'exprime d'abord mes profonds remerciements à Allah le tout puissant, merci de m'avoir accordé le force et la patience d'aller jusqu'au bout de mon rêve et le bonheur d'archiver ce travail.

Je remercie mon père, mon Soutien, et ma mère, la lumière de mes yeux, et mes frères pour leur soutien constant.

Ce mémoire n'aurait pas pu avoir lieu sans un encadrement de grand qualité celui de Mr. Saidi pour avoir proposé et dirigé ce sujet de mémoire et pour son appui scientifique, sa disponibilité et son encouragement durant la préparation de mon projet de fin d'étude. Je le remercie également pour son aide précieuse et continuelle pendant l'élaboration de ce travail.

Mes grands remerciements aussi aux membres de jury qui ont pris la peine d'évaluer mon travail.

Je remercie Mr. Souyaha et M. Benfatima .

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon cœur, mon amour, le bonheur et la joie de ma vie, mon chère père qui ma appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice, ses conseils et ses encouragement.

A l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie chère mère qui ma apporté son appui durant toutes mes années d'études, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donnée confiance, courage et sécurité.

A mes chers sœurs Fatima, Amina, Fatiha, Sara, et aussi a mon frère Abdelkader.

A ma petite princesse Ferdaousse Nour Elyakine.

Résumé

L'eau, ressource naturelle indispensable à la vie, est de plus en plus convoitée de par le monde est aussi devenue, de manière directe ou induite, la première cause de plusieurs maladies, de mortalité et un enjeu planétaire potentiellement source de conflits au monde.

La présente étude porte sur le suivi et la caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux épurées de la station d'épuration de la ville de Saida, afin de savoir s'il y a une possibilité pour une éventuelle réutilisation de ces eaux à des fins agricoles, industrielles ou autre.

Les résultats obtenus révèlent une efficacité de dégradation de la pollution carbonée (MES de 21 mg/l, DBO₅ de 13 mg/l et DCO de 46 mg/l) par rapport aux normes Algériennes avec un taux d'abattement de cette pollution de 92 % pour la MES, 96 % pour la DBO₅ et 92 % pour la DCO. Les résultats bactériologiques confirment la présence de divers germes indicatrices de contamination fécale et en germes pathogènes tels que les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques fécaux et les clostridium sulfite-réducteurs en nombre important.

Mots clés : L'eau, qualité physico-chimique, bactériologique, eau épurée, pollution.

Abstract

Water, a natural resource essential to life, and increasingly coveted around the world and also become, directly or indirectly, the cause of several diseases, mortality and a planetary issue potentially source of conflict in the world.

The present study concerns the follow-up and the characterization of the physico-chemical and bacteriological quality of the purified waters of the wastewater treatment plant of the city of Saïda, in order to know if there is a possibility for a possible reuse of its waters at agricultural purposes, industrial or otherwise.

The résultats obtained reveal an efficiency of degradation of carbon pollution (21mg/l for ss, 13mg/l for BOD and 46mg/l for COD) compared to Algerian standards with a pollution reduction rate of 92% for ss, 96% for BOD and 92% for COD. The bacteriological results confirm the presence of various germs indicative of faecal contamination and pathogenic germs such as total and faecal coliforms, faecal streptococci and sulfite-reducing clostridia in significant numbers.

Key words : The water, physico-chemical qualité, bacteriological, purified water, pollution.

ملخص

الماء، وهو مورد طبيعي ضروري للحياة، ويزداد الطلب عليه في جميع أنحاء العالم وأصبح أيضاً، بشكل مباشر أو غير مباشر، سبباً للعديد من الأمراض والوفيات و قضية كوكبية يحتمل أن تكون مصدراً للصراع في العالم تتعلق الدراسة الحالية بمتابعة وتوصيف الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه النقية لمحطة تنقية مدينة سعيدة، وذلك لمعرفة ما إذا كانت هناك امكانية لاعادة استخدام مياهها في هذه المنطقة. أغراض زراعية، صناعية أو غير ذلك.

النتائج التي تم الحصول عليها تكشف عن كفاءة تحلل التلوث الكربوني (21مغ/ل من نظام التنفيذ التصنيعي، 13مغ/ل من طلب الأكسجين البيوكيميائي و46مغ/ل من طلب الأكسجين الكيميائي) مقارنة بالمعايير الجزائرية مع معدل خفض لهذا التلوث (فيما يخص نظام التنفيذ التصنيعي، 96 % بالنسبة لطلب الأكسجين البيوكيميائي و 92 % بالنسبة لطلب الأكسجين الكيميائي). تؤكد النتائج البكتريولوجية وجود العديد من الجراثيم التي تشير إلى تلوث البراز و الجراثيم المسببة للأمراض مثل القولونيات البرازية و الكلية، والمكورات العقدية البرازية و المطثيات المقلصة للكبريت بأعداد كبيرة.

الكلمات المفتاحية: الماء، الجودة الفيزيوكيميائية، البكتريولوجية، الماء المقطر، التلوث

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Nom de tableau	Numéro de la page
01	données socioéconomiques de la Wilaya de Saida	21
02	Les caractéristiques techniques de la STEP	24
03	normes de rejet de l'O.M.S, appliquées en Algérie.	32
04	Dénombrement des Coliforme totaux (UFC/100ml	65
05	Dénombrement des coliforme fécaux (UFC/100ml)	66
06	Dénombrement des streptocoques (UFC/100ml)	66
07	Dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs (UFC/100ml	67

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre de la figure	Numéro de la page
Partie bibliographique		
01	Bassin biologie	13
02	Schéma d'une lagune naturelle	18
03	Coupe schématique du procédé de phytoépuration	19
04	Situation géographique de la zone d'étude	20
05	Moyenne mensuelle de la précipitation (2000-2018).	22
06	Répartition des températures moyennes, maximales et minimale 2000 à 2018.	22
07	La Station d'épuration à boues activées	23
08	les étapes de traitement des eaux usées dans la STEP de Saida	28
Partie expérimentale		
09	Prélèvement des échantillons d'eau épurée	33
10	PH mètre	38
11	l'oxymètre du bassin biologique	39
12	Unité de filtration	40
13	Balance de précision	40
14	Etuve 105c°	40
15	D.B.O mètre	42
16	flacon à D.B.O avec oxytope	42
17	spectrophotomètre DR 3900	43
18	Réactif DCO	44
19	Bloc Chauffant	44
20	Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau	48
21	Recherche et dénombrement coliformes fécaux dans l'eau	49
22	Recherche et dénombrement streptocoques fécaux dans l'eau	51
23	Recherche et dénombrement Clostridium sulfito-réducteurs dans l'eau	53
24	variations des valeurs de la température de l'eau usée à l'entrée et la sortie de la STEP	55

25	variations des valeurs du pH de l'eau usée à l'entrée et la sortie de la STEP	56
26	variations des valeurs de la conductivité de l'eau usée et épurée	57
27	Variation des teneurs en MES de l'eau brute et épurée	58
28	variations de la DBO5 de l'eau brute et traitée	59
29	variations de la DCO de l'eau brute et traitée	60
30	variations des taux d'oxygène dissous dans les eaux brutes et épurées de la STEP	61
31	variations des teneurs en nitrites à l'entrée et la sortie de la STEP	62
32	variations des teneurs en nitrate à l'entrée et la sortie de la STEP	63
33	variations des teneurs en PO_4^{3-} à l'entrée et la sortie de la STEP	64

Abréviation

STEP : Station de traitement et d'épuration,

DBO : Demande biologique en oxygène,

DCO : Demande chimique en oxygène

ONM : Office Nationale de météo.

MES : Matière en suspension.

pH : Potentielle acido-basique.

Eq/Hab : équivalent par habitant.

To : Température.

Co : Degrés Celsius.

% : Pourcent.

Mm : Millimètre.

Mg : Milligramme.

Km: kilomètre.

M/h/an : Mètre cube par habitant par ans.

MO : Matière organique.

ONA : Office national d'assainissement.

PCA : Plate Count Agar.

BCPL : Bromo-Cresol Pourpre Lactose.

D/C : Double concentration .

S/C : Simple concetration.

Table de Matière

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figure	1
Abréviation.....	1
Introduction.....	01

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les eaux usées

1 Définition.....	03
2 Origine des eaux usées.....	03
2-1 Origine domestiques.....	03
2-2 Origine agricole.....	03
2-3 Origine industrielle.....	04
2-4 Eaux ruissellement.....	04
3 Caractéristiques des eaux usées	04
3-1 Paramètres physiques.....	04
- Température.....	04
- Matières en suspension (M.E.S).....	05
3-2 Paramètres chimiques.....	05
- Le potentiel hydrogène (PH).....	05
- L'oxygène dissous (O ₂).....	05
- La demande chimique en oxygène (DCO).....	05
- La demande biochimique en oxygène (DBO).....	05
- La conductivité.....	06
- L'azote.....	06
- L'azote ammoniacal.....	06
- Les nitrates.....	06

-les nitrites.....	07
- Le phosphore.....	07
- Les métaux lourds.....	07
3-3 Paramètres Organoleptique.....	07
- La turbidité.....	07
- Couleur et odeur.....	08
3-4 Paramètres bactériologique (indices de contamination fécale).....	08
- Les germes totaux.....	08
- coliformes totaux.....	08
- coliformes fécaux.....	09
- Stréptocoques fécaux.....	09
4 Les procédés de traitements des eaux usées	09
- Etapes des processus d'épuration.....	09
1-Prétraitements	10
a :dégrillage	10
b:dessablage	10
c:dégraissage-déshuilage.....	10
2-Traitement primaire.....	11
a:traitement physico-chimiques	11
b:coagulation-floculation.....	11
c:décantation.....	12
d : filtration.....	12
3-traitement secondaire (biologique).....	12
a :traitement anaérobies.....	13
b :traitement aérobies	14
c :boues activées.....	14
d :lits bactériens	14
e :biofiltration.....	15

4-traitement tertiaires.....	15
a :élimination de l'azote.....	15
b :élimination du phosphore.....	16
c :désinfection.....	16
- Traitement des eaux usées par lagunage.....	17
1-lagunage naturel.....	17
2-lagunage aéré.....	18
- Phyto épuration.....	18

Chapitre II :Présentation de la STEP de Saida

1 Présentation de la wilaya de Saida.....	20
1-1 Localisation.....	20
1-2 Structure de la population.....	21
1-3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	21
1-4 Le réseau hydrographique.....	22
2 Présentation de la station d'épuration de la ville de Saida.....	23
2-1 Situation géographique de la station par rapport à la ville de saida	23
3 Historique de la STEP.....	24
4 Les caractéristiques technique de la STEP.....	24
I :traitement des eaux.....	24
II :traitement des boues.....	27
5 Fonctionnement de la STEP Saida	29
6 L'impact de la STEP.....	29
7 Procédé d'épuration de la STEP Saida.....	29
a :caractéristique du procédé	30
a .1 paramètres de fonctionnement.....	30
-la charge massique.....	30
-charge volumique.....	30
-age des boues.....	31

-indice et mohlman.....	31
-besoin en oxygène.....	31
8 Les objectifs épuratoires de la STEP de Saida	31

Chapitre III : Matériel et méthode

- Échantillonnage de l'eau	33
1 Le choix du prélèvement en cas de prélèvement manuel	34
2 Type d'échantillonnage.....	34
-échantillonnage instantané.....	34
-échantillonnage composé.....	34
3 Identification des échantillons	35
4 Transport des échantillons.....	35
- Matériels utilisés.....	36
- Protocoles d'analyses physico-chimiques effectuées.....	37
1. Température.....	37
2 .Potentiel hydrogène.....	38
3. L'oxygéné dissous.....	38
4. Les matières en suspension	39
-Dosage des matières en suspension M.E.S.....	40
5. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	41
6. Dosage spectroscopique.....	43
7. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	44
8. Dosage des nitrites.....	45
9. Dosage des nitrates.....	46
10.Dosage de phosphore.....	46
- Protocole d'Analyses bactériologiques.....	47
1. Recherche et dénombrement des germes totaux.....	47
2. Recherche et dénombrement des coliforme en milieu liquides (méthode NNP)	48
3. Recherche des streptocoques fécaux en milieu liquide.....	50

4. Recherche et dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs.....	52
--	----

Chapitre IV : Résultats et discussion

1 Résultats des analyses des paramètres physicochimiques	54
1-1 La température	54
1-2 Le pH.....	55
1-3 La conductivité.....	56
1-4 Matière en suspension (MES).....	57
1-5 La demande biologique en oxygène (DBO5).....	58
1-6 La Demande chimique en oxygène (DCO).....	59
1-7 Oxygène dissous (O ₂).....	60
1-8 Les nitrites (NO ₂ .).....	61
1-9 les nitrates (NO ₃).....	62
1-10 Ortho phosphates (PO ₄ ³⁻).....	63
2 Résultats des analyses des paramètres bactériologique.....	64
2-1 Les coliformes totaux	64
2-2 Les coliformes fécaux	65
2-3 Recherche des streptocoques	66
2-4 Clostridium sulfito-réducteurs	66
Conclusion.....	68

Référence bibliographique

Annexe

Introduction

Introduction :

L'eau est une ressource limitée et précieuse, tous les êtres vivants (animale ou végétales) ont besoin d'eau pour exister par ce que c'est l'un des 5 éléments indispensables à la vie (**Anonyme, 2011**), elle nous permet de boire, de nous laver, de cuisiner, d'irriguer nos cultures, de produire de l'électricité et bien d'autre choses encore (**Anonyme, 2023**), l'ensemble de ces activités humaines produit des eaux usées.

Les eaux usées regroupent les eaux résiduaires domestiques (les eaux de vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). Elles constituent donc un effluent pollué, et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout vers le milieu naturel (**Zeghoud, , 2014**)

En Algérie, la plus part des régions du pays se trouvent dans un climat aride à semi-aride, avec un déficit hydrique considérable, les ressources en eau existantes sont menacées par une pollution causée par les rejets d'eaux urbaines et industrielles dans les milieux récepteurs. Ces rejets peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menacent la qualité de l'environnement dans son ensemble (**Degréant, 2005**). Le traitement de ces rejets s'avère indispensable afin de lutter contre leurs effets nocifs. Différentes techniques de traitement sont utilisées qu'elles soient biologiques (lagunage naturel ou aéré, boues activées ou lits bactériens), physicochimiques (la coagulation-floculation, la précipitation ou l'oxydation) ou membranaires (l'osmose inverse, la nanofiltration ou l'électrodialyse) (**Edeline, 1997 ; Degréant, 2005**).

Le traitement de l'eau usée a pour objectif de réduire le niveau de contamination en divers éléments, pour la rendre respectueuses des milieux récepteurs ou facilement réutilisable en agriculture ou en industrie. Différentes méthodes sont utilisées dans le domaine de l'épuration, telles que la méthode à boues activées. Dans le traitement par boues activées, l'élimination de la charge polluante organique est assurée par les communautés de microorganismes de l'eau et des sédiments appelées biomasse épuratrice composées d'algues, de bactéries et de parasites, ce procédé de traitement des eaux usées se déroule généralement en plusieurs étapes à savoir : le dégrillage, dessablage-dégraissage, traitement biologique, décantation/clarification, traitement des boues (**ONA, 2023**).

Introduction :

La wilaya de Saida est exposée à l'instar des autres régions du pays au problème de la pollution hydrique, liée à l'activité humaine en particulier l'utilisation domestique.

L'objectif de ce travail, c'est l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux épurées issues de la station d'épuration de la ville de Saida, afin de savoir l'impact de la réutilisation de ces eaux et sa valorisation dans le domaine agricole ou industriel.

Notre travail est subdivisé en quatre chapitres à savoir :

- Le premier chapitre : dans ce chapitre nous allons présenter une synthèse bibliographique sur les eaux usées ;
- le deuxième chapitre sera consacré à une présentation de la ville de Saida et la station d'épuration de Saida ;
- Le matériel utilisé et la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail dans le troisième chapitre ;
- Dans le dernier chapitre nous allons exposer les résultats de notre étude et l'interprétation de ces résultats ;

En fin, une conclusion générale.

Chapitre I
Synthèse
bibliographique sur
les eaux usées

L'eau après usage subira une modification défavorable de ces propriétés causé par l'activité humaine quel que soit la nature de ses activités (domestique, industriel ou agricole.) (Mezhoud , 2019) les rendant impropre à l'utilisation. L'objectif de ce chapitre est de donner une idée sur les eaux usées et leurs caractéristiques.

1. Définition:

Une eau est dite usée ou polluée une fois qu'elle perd ces caractéristiques physiques chimiques et organoleptiques (**Audic et Esser , 2006**). Ce sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. (**Rejsek , 2002**).selon (**Grosclaude , 1999**) une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.

2. Origine des eaux usées:

On distingue quatre catégories des eaux usées :

2.1 Origine domestiques : elles sont issues des habitations. Elles comprennent

* Les eaux ménagères: qui sont évacuées par les cuisines et les salles de bain elles sont polluée par des détergents, les lessives et des graisses.

*Les eaux des vannes: qui proviennent des sanitaires (W.C), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme (**Rejsek, 2002**)

2.2 Origine agricole : les eaux d'origine agricoles sont constituées essentiellement des eaux de drainage des champs agricoles et des rejets de lavage des fermes d'élevage Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole et qui peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

* Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation).

* Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,..) (**Gros Claude, 1999**)

2.3. Origine industrielle : ce sont les déchets liquides résultants selon les activités exercées de l'extraction ou de la transformation de matières premières en produits industriels. (**Ben Slimane , 2001**) Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir (**Rodier , 2005**)

- * Des graisses (industries agroalimentaires).
- * Des hydrocarbures (raffineries).
- * Des métaux (métallurgie).
- * Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries).
- * De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- * Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

2.4. Eaux de ruissellement : Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes.

- * Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces, sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.
- * La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (**Rodriguez et Garcia , 2004**)

3. Caractéristiques des eaux usées:

3.1. Paramètres Physiques

-Température : elle joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des Sels et des gaz. Comme elle détermine le taux et la vitesse des réactions de dégradation, elle permet également de corriger les paramètres d'analyse (conductivité- PH- O₂) dont les valeurs sont liées à la température (**Rejsek, 2002**).

L'augmentation de la température diminue la solubilité des gaz ce phénomène est important dans le cas de l'O₂ ce qui implique une insuffisance de la réserve en O₂ (**Gaid, 1984**)

-Matières en suspension (MES) : On appelle matière en suspension les très fines particules qui ne sont pas dissoutes dans l'eau qui donnent un aspect trouble à l'eau et qui s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique.

3.2. Paramètres chimiques :

- Le potentiel Hydrogène (pH) : ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau le PH est le reflet de la concentration d'une eau en ions H⁺il traduit la balance entre acide et base. Son rôle est capital pour la croissance des micro-organismes, cette croissance sera directement affectée lorsque le PH est inférieur à 5 ou supérieure à 8 (**Hamadani , 2002**)

Ce paramètre doit être mesuré sur le train par un ph mètre ou par colorimètre (**Olivier , 1995**)Dont sa valeur optimum est entre 7 et 8.5.

-L'Oxygène Dissous (O₂) : C'est un paramètre important dans l'évaluation de la qualité des eaux. Il est dissous dans l'eau suite au contact entre l'air et l'eau ou grâce à la photosynthèse des plantes aquatiques, la présence d'O₂ dans l'eau est indispensable pour les êtres vivants aérobie sa concentration dépend de nombreux facteurs dont la température de l'eau, la pénétration de la lumière, la salinité, comme elle est en fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en O₂ par l'activité des organismes aquatique et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

-La demande Chimique en Oxygène (DCO) : Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie chimique toutes les substances oxydable trouve dans l'eau la mesure de la DCO se fait par oxydation au dichromate de potassium.

-La demande Biologique en Oxygène (DBO) : La DBO est l'un des paramètres les plus importants et utile indiquant la force organique des eaux usées. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques(MO) biodégradables d'une eau (**Rejsek, 2002**). La mesure la plus couramment réalisé est celle de la DBO₅ correspond à la demande biochimique en oxygène après 5 jours d'incubation de l'échantillon à une température 20°C.

- **La conductivité** : La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle traduit le degré de minéralisation globale. Comme elle nous renseigne aussi sur le taux de salinité. Ce paramètre est dû à la présence des ions dans le milieu qui sont mobile dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions et de leur concentration (**Rejsek, 2002**). Pour la États-Unis elle dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée, du régime alimentaire de la population ainsi que des activités industrielles.

-**L'azote** : L'azote présent dans l'eau usée se trouve sous forme organique ou minéral.

L'azote organique (constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée) dont leur concentration est souvent plus faible que celle de l'azote minérale (ammoniacque-nitrite-nitrate) qui constitue la majeure partie de l'azote totale (**Rodier, 2005**).

L'azote ammoniacal : L'ammoniacque constitue un des maillons du cycle de l'azote.

Dans son état primitif, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH_4^+). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes : $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (**Rejsek, 2002**)

Les nitrates : Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant dont sa nature joue un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. Ces dernières années la teneur en nitrates est en augmentation, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/ (**Mezhoud , 2019**) , dans certaines régions égale à 2 mg/l/an. Cette augmentation a plusieurs origines :

- Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage. Cette source représente les 2/3 de l'apport en nitrates dans le milieu naturel ;
- Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas totale et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel.
- Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. Cette source représente 1/9 des apports. **(Rejsek, 2002)**

Les nitrites : L'azote nitreux (NO₂) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et se transforment rapidement en nitrates. Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, sa présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau, ils sont dosés suivant la méthode colorimétrique.

-Le Phosphore : Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivante. Les composés phosphorés ont deux origines, le métabolisme humain et les détergents. Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions ortho phosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates avec des molécules organiques. Les ortho phosphates correspondent au groupement PO, ces phosphates sont fixés facilement par le sol, leur présence dans les eaux est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par lessivage. **(Dr.Rachid Salghi s.d.)**

- Les métaux lourds : Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Ils englobent l'ensemble des métaux lourds dont certains sont essentiels pour l'organisme vivant telle que le cuivre, le zinc, le chrome... en petite quantité alors que d'autres ont souvent un effet toxique, même à l'état de traces comme le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium. Leur présence, est nuisible pour l'activité des micro-organismes, donc perturbe le processus d'épuration biologique.

3.3 .Paramètres Organoleptique :

-La Turbidité : C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines (argiles, limons, microorganismes.) Une faible part de la turbidité

peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre ou bien un spectrophotomètre (**Bontoux , 1993**)

-Couleur et odeur : Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement. (**Rejsek, 2002**).

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. (**Mezhoud , 2019**)

3.4. Paramètres bactériologique (Indices de contamination fécale) :

Ils proviennent essentiellement des matières fécales qui contiennent majoritairement une flore anaérobie (10⁹-10¹⁰ bactéries /g fèces) détruite à l'air, et une flore aérobie – anaérobie facultative (10⁶ – 10⁷ bactéries / g fèces).

La présence de ces microorganismes dans les eaux usées et les boues résiduaires nécessite des règles sanitaires lors de leur traitement et de leur élimination. En particulier, lorsque le rejet se fait à proximité d'une zone conchylicole, d'une zone de baignade ou d'une prise d'eau potable, il est nécessaire d'effectuer une désinfection (**Rejsek, 2002**).

-Les germes totaux :

Ce paramètre permet de mesurer les conditions sanitaires de la distribution et résiduel de désinfection, une concentration très importante en germes totaux peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique, par contre une faible valeur est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution. (**Nani, Touil , 2021**)

- Coliformes totaux :

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels, les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes, cependant l'absence de ces derniers ne signifie pas nécessairement, que l'eau ne présente pas un risque pathogène. (**Nani et Touil , 2021**)

-Coliformes fécaux :

Ils sont capables de se développer à 44°C, et permettent d'estimer le risque épidémiologique dans l'eau et devrait en tout logique tenir compte de la présence plus aux moins important de germes pathogènes. La principale bactérie fécale est *Escherichia coli*. (Nani et Touil , 2021)

-Streptocoques fécaux :

Ce groupe n'est généralement pas considéré comme pathogène, tout fois leur recherche associée celle des *coliformes fécaux* consiste un bon indice de contamination fécale car les *streptocoques* étaient un meilleur témoin que les *coliformes fécaux* pour des pathologies infectieuses. (Nani et Touil , 2021)

4. Les procédés de traitements des eaux usées :

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et/ou biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution dissoute. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. (Memento , 1989).Les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages, sont concernés par ce troisième niveau de traitement. Les traitements tertiaires peuvent, également, comprendre des traitements de désinfection. (Ademe , 2005)

- Etapes du processus d'épuration :

Le processus d'épuration des eaux usées comprend plusieurs étapes : (Berne et Cordonier , 1991).

*Prétraitements et traitement primaire.

* Traitement secondaire.

*Traitement tertiaire.

* Traitement des boues résiduelles.

1. Prétraitements :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs (**Degremont , 1978**)⁷⁸Ces prétraitements constituent une première étape très importante pour assurer un traitement efficace des eaux usées. Trois types principaux peuvent être distingués :

a. Dégrillage :

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses transportées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution. Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les ordures ménagères (**Degremont, 1978**).

b. Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les étapes des traitements suivants. (**Degremont, 1978**).

c. Dégraissage – Déshuilage :

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Cette opération consiste à récupérer grâce à des racleurs, les graisses domestiques ou industrielles qui se trouvent à la surface des eaux usées naturellement ou par flottation (injection de fines bulles d'air). 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 ensuite (**Degremont, Gaid in Noureddine , 2017**)

2. Traitement primaire :

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension que ce traitement va permettre d'éliminer en partie. La nature (organique ou minérale), les dimensions (particules grossières non piégées lors des étapes de prétraitements, finement dispersées ou à l'état colloïdal) et la densité de ces particules sont très variables. Le traitement primaire correspond à une étape gravitaire qui permet d'isoler par décantation les particules décantables. Les eaux vont traverser les bassins décanteurs à faible vitesse pour que les matières en suspension puissent sédimenter, le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques, avec filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation- floculation : (**Cardot , 1999**)

a. Traitements physico-chimiques :

Le traitement physico-chimique va permettre d'agglomérer les particules (coagulation –floculation) par adjonction d'agent flocculant (chlorure de fer,...). Ces amas de particules ainsi formés seront séparés de l'eau par décantation dans des clarificateurs (de taille généralement supérieure à 50µm). Ce traitement peut être effectué préalablement aux traitements biologiques et s'intègre dans ce cas dans les étapes du traitement primaire.

b. Coagulation – floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

La coagulation a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire provoquer la neutralisation de leurs charges électriques superficielles et faciliter l'agglomération de ces particules, pour former un flocon volumineux décantable, appelé flocc.

La floculation a pour objectif 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 peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration (**Desjardins, 1990**).

c. Décantation :

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les stations d'épuration et de traitement des eaux (**Desjardins, 1990**). Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules (**Vilagines , 2003**)

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les boues "primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage. L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable (**Degremont, 1978**).

d. Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension, en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs (**Desjardins , 1990**)

3-Traitement secondaire (Biologique) :

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent leur nourriture (**Vilagines, 2003**) :

L'épuration biologique a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable contenue dans l'eau usée (décantée ou non), en la transformant en matières en suspension : micro-

organismes et leurs déchets, plus facilement récupérables. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène).

La biomasse utilisée dans le traitement des eaux usées constitue un écosystème très simplifié, ne faisant appel qu'à des microorganismes. Elle peut être, soit libre, c'est-à-dire intimement mêlée au milieu aqueux à épurer (boues activées), soit fixée ; elle est alors accrochée sur un support solide à la surface duquel percole l'eau à traiter (lit bactérien, biofiltre). (Gaid, Ademe, safewater.org in Noureddine , 2017)



Figure 01 :Bassin biologique (Source : Benfatima et Becharef,2022)

a. Traitements anaérobies :

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO₂.

Ce type de fermentation est appelé digestion. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante de la température, qui doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevée, Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, tels que les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols. Ce système est davantage utilisé pour le traitement des effluents urbains, que pour le traitement des effluents industriels généralement toxiques pour les bactéries (Vilagines, 2003).

b. Traitements aérobies :

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène. Le traitement consiste à dégrader les impuretés grâce à l'action d'une biomasse épuratrice, à laquelle doit être fourni l'oxygène nécessaire à son développement.

Si la culture est en suspension dans un bassin aéré, il s'agit du procédé à boues activées. Dans le procédé de type lit bactérien par contre, la culture est fixée ou retenue sur un support solide. D'autres processus sont aussi utilisés (tel que les disques biologiques, ...).

c. Boues activées :

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu (OMS ,1979). Ce type de traitement implique l'aération du bassin des eaux usées afin d'assurer les conditions adéquates (O₂) pour le développement des micro-organismes qui s'agglomèrent et forment le floc bactérien. Cette étape a pour but d'éliminer la charge carbonée par une épuration biologique de l'eau usée. C'est un procédé mettant en œuvre un réacteur aérobie à biomasse en suspension. Les matières organiques polluantes vont être captées par ces flocons et former des boues activées qui sont brassées et assurent l'épuration des eaux usées dans le bassin. A l'aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) permet l'isolation des boues. Pour conserver un stock constant et suffisant de bactéries dans le bassin de boues activées, une partie des boues extraites du clarificateur est renvoyée en tête de bassin. L'autre partie est évacuée du circuit et dirigée vers les unités de traitement des boues. (Degremont, 1978).

d. Lits bactériens :

Le principe de ce procédé (appelé aussi filtre bactérien ou filtre percolateur), consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. L'aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée.

Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'au micro-organisme assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des

bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gaz. Une étape de séparation liquide-biomasse est assurée par un dispositif de clarification.

Comme pour les boues activées, une partie de ces boues sert à réensemencer les bassins biologiques tandis que le reste est transféré vers la filière boue. (Gaid, Ademe, Safewater.org in Noureddine , 2017)

e. Biofiltration :

Cette technique est surtout utilisée pour le traitement des eaux urbaines lorsque se pose un problème d'encombrement. Elle utilise comme support un matériau granulaire qui assure d'une part, la rétention des matières en suspension par filtration et d'autre part, la fixation d'une biomasse épuratrice. L'air est insufflé par le bas ; l'eau peut être introduite par courant ascendant ou descendant suivant la technique utilisée. Les micro-organismes adhèrent à chaque grain sous la forme d'un film biologique épurateur ou biofilm.

4. Traitements tertiaires :

Les traitements tertiaires regroupent tous les traitements complémentaires, visant à affiner la qualité de l'effluent, ayant subi les traitements physiques, physico-chimiques et biologiques.

Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige (Degremont, 1978) : Le traitement le plus utilisé afin de réduire les matières en suspension et la pollution organique biodégradable, est la filtration tertiaire qui, selon la nature du matériau utilisé, permet de réaliser une épuration essentiellement physique ou biologique. Pour fixer les matières carbonées dissoutes non biodégradables (par exemple les détergents), le moyen le plus utilisé est l'adsorption sur charbon actif. Les traitements tertiaires englobent, principalement, l'élimination de l'azote, du phosphore et la désinfection, mais aussi le traitement des odeurs. Parmi les différentes techniques de traitements tertiaires, la déphosphatation est celle qui est principalement utilisée dans la majorité des stations d'épuration.

a. Elimination de l'azote :

Les stations d'épuration classiques, prévues pour éliminer les matières carbonées, n'éliminent que des quantités réduites d'azote présent dans les eaux usées. Pour satisfaire

aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place. L'élimination de l'azote est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de "nitrification-dénitrification".

Les procédés physiques et physico-chimiques d'élimination de l'azote (électrodialyse, résines échangeuses d'ions, "strippage" de l'ammoniaque) ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de coût (**Bechac et Boutil , 1987**)

b. Elimination du phosphore :

Les techniques de déphosphatation qui sont généralement appliquées font appel à des réactions de précipitation (procédés physico-chimiques) ou à des micro-organismes épurateurs qui assurent une sur-élimination du phosphore (procédés biologiques).

La déphosphatation chimique se fait grâce à l'utilisation de réactifs (tels que les sels de fer et d'aluminium ou la chaux) qui donnent naissance à des précipités ou complexes insolubles séparés de l'eau par des techniques de séparation solide-liquide. La déphosphatation biologique repose sur un transfert de phosphore de la phase liquide (eaux usées à épurer) vers la phase solide (boues) par stockage intracellulaire. Cette accumulation conduit à la formation de granules de polyphosphates (poly-P) et entraîne un enrichissement progressif de la boue en phosphore jusqu'à des teneurs très importantes. Il est alors aisé d'assurer l'élimination du phosphore de l'eau par simple soutirage des boues en excès après une étape de décantation. (**Satin et Selmi , 1999**)

c. Désinfection :

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. C'est pourquoi, la désinfection de l'eau s'impose. La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies ; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

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 (Cl_2), le dioxyde de chlore (ClO_2), l'ozone (O_3), le brome (Br_2), l'iode (I_2) et le permanganate de potassium ($KMnO_4$).

On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ultrasons, ultraviolets (UV) ou rayon gamma (**Desjardins, 1990**).

Il y a aussi la désinfection par l'ozone

- Traitement des eaux usées par lagunage :

Le lagunage est un procédé d'épuration des eaux usées qui consiste en un lent écoulement de l'eau dans un ou plusieurs réservoirs peu profonds (la profondeur des lagunes varie de 0,5 à 1,5 m) où prolifèrent des bactéries et autres organismes vivants au détriment des matières organiques et des sels minéraux contenus dans les eaux.

L'apport d'oxygène se fait par échange avec l'atmosphère ou par photosynthèse des algues de surface qui se forment et fournissent de l'oxygène nécessaire au développement des bactéries qui vont dégrader cette matière organique selon les processus de fermentation aérobie.

Le temps de séjour dans les réservoirs est élevé (3 à 30 jours voire plus) ce qui entraîne une diminution du nombre d'agents pathogènes (bactéries, virus, parasites...). Le lagunage permet également l'élimination de la pollution microbienne, ce qui est un avantage par rapport aux autres techniques d'épuration. Les boues vont se concentrer sur le fond des lagunes (bassins de terre), intervenir dans la biologie du système et ne devront pas être évacuées avant 5 ou 10 ans. (**Valiron , 1983**).

Le procédé permet d'obtenir des rendements d'élimination de la pollution de l'ordre de 70 à 80% et un très bon abattement de la pollution bactériologique (**Chaib , 2004**).

1. Lagunage naturel :

Le lagunage naturel peut être utilisé en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée (par exemple pour la désinfection).

Les lagunes naturelles sont nommées étangs de stabilisation (**Koller , 2004**) que l'on classe en fonction des filières de développement des bactéries en trois catégories : anaérobies, aérobies ou facultatifs (mixtes). Le lagunage naturel peut être utilisé, en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire, pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée. (**Degremont, 1978**).

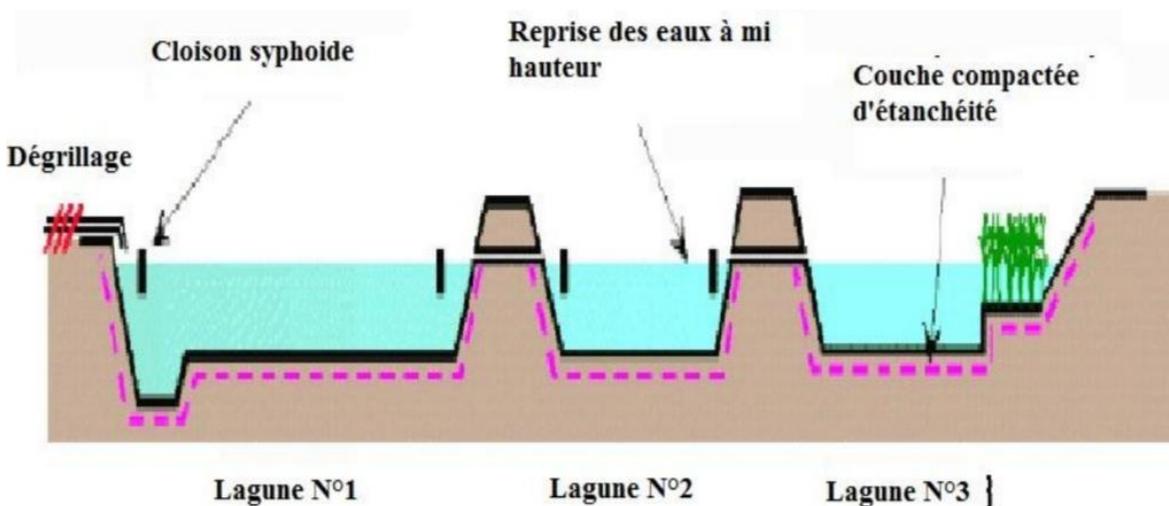


Figure 02 : Schéma d'une lagune naturelle (source :Noureddine,2017)

2 .Lagunage aéré :

Ce sont de vastes bassins, constituant un dispositif très proche du procédé à boues activées à faible charge. On y effectue une épuration biologique bactérienne comme celle qui se pratique naturellement dans les étangs, en apportant de l'extérieur par insufflation d'air ou oxygénation au moyen d'aérateurs de surface, l'oxygène nécessaire au maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices. Bien que théoriquement elle ne s'impose pas, une recirculation de l'eau traitée et parfois des boues biologiques en tête de lagune est souvent pratiquée. Elle permet d'améliorer le mélange complet et d'assurer une meilleure répartition de la biomasse. Il est rare, en raison de la concentration relativement élevée en matières en suspension, que l'on puisse rejeter directement l'effluent traité à l'exutoire sans décantation finale (Koller, 2004).

- Phytoépuration :

La phytoremediation ou phytoépuration des eaux usées est une technologie qui s'adapte aux contextes climatiques, géologiques et socio-économiques. C'est un procédé d'épuration écologique, propre et non polluant qui repose sur des écosystèmes, dans lesquels les végétaux ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables, prennent une place importante (Noureddine , 2017)

La phytoremediation est réalisée grâce à des bassins successifs, étanches, remplis de graviers et plantés de diverses espèces aquatiques, appelés macrophytes, (roseaux, joncs, iris, phragmites, massette, salicaire). Ces macrophytes ont un rôle de structuration et d'aération du massif, tout en servant de support aux bactéries qui font l'essentiel du travail.

Les graviers de granulométrie croissante en évoluant vers la profondeur, permettent la filtration mécanique des eaux usées. Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes, ce qui améliore les performances des organismes épurateurs.

Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie (10 % environ) des sels minéraux, nitrates et phosphates, issus de la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées. La plupart des macrophytes sont capables d'assimiler les métaux lourds, toujours présents dans les eaux usées et nocifs pour l'environnement (Allouche et al in Nouredine , 2017)

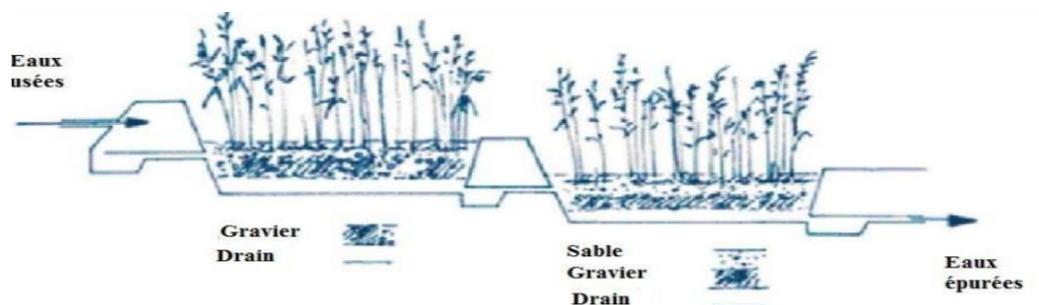


Figure 03 : Coupe schématique du procédé de phytoépuration (source : Nouredine,2017)

Chapitre II

Présentation de la STEP de Saida

1- Présentation de la wilaya de Saida :

1-1-localisation :

La wilaya est située dans l'ouest algérien et elle s'étend sur une superficie de 7562km². La wilaya de Saïda est délimitée depuis le découpage administratif de 1985, comme suit :

- ✓ Au nord par la wilaya de Mascara.
- ✓ À l'ouest par la wilaya de Sidi-Bel Abbés.
- ✓ Au sud par la wilaya d'El-Bayadh.
- ✓ À l'est par la wilaya de Tiaret.

La population totale de la wilaya est estimée à 350 766 habitants, soit une densité de 200 habitants par Km².

D'une altitude de 750 m, latitude de 34°52 N ,et longitude de 00° et 09°.



Figure 04 : Situation géographique de la zone d'étude (source : DPSP, 2012)

1-2-Structure de la Population

La population totale de la wilaya est estimée à 350 766 habitants, soit une densité de 200 habitants par Km².

Tableau 01 : données socioéconomiques de la Wilaya de Saida (DPSP, 2012)

DESIGNATION	Données
Total population	350 766
Population active	151 180
Taux d'activité	25 %
Population active occupée	252 280
Taux de chômage	16 %

1-3-Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

Le climat Le facteur climatique est toujours important dans n'importe quelle étude, il constitue un élément déterminant dans le développement. Les données utilisées sont celle de la de stations météorologique de Rebahia (Saida).

Située dans l'étage semi-aride, le climat dans la région de Saïda est sec et chaud en été et froid en hiver. La zone d'étude reçoit en moyenne une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 348 mm ; la période pluvieuse s'étale généralement du mois de septembre à au mois de mai soit 9 mois avec un maximum au printemps et en hiver. Les mois les plus arrosés avec 69 % de la tranche pluviométrique sont les mois d'octobre (52.3mm) et novembre (56.3 mm). Les minima sont enregistrés en été où sévit la sécheresse estivale caractéristique essentielle du climat méditerranéen (ONM, 2018).

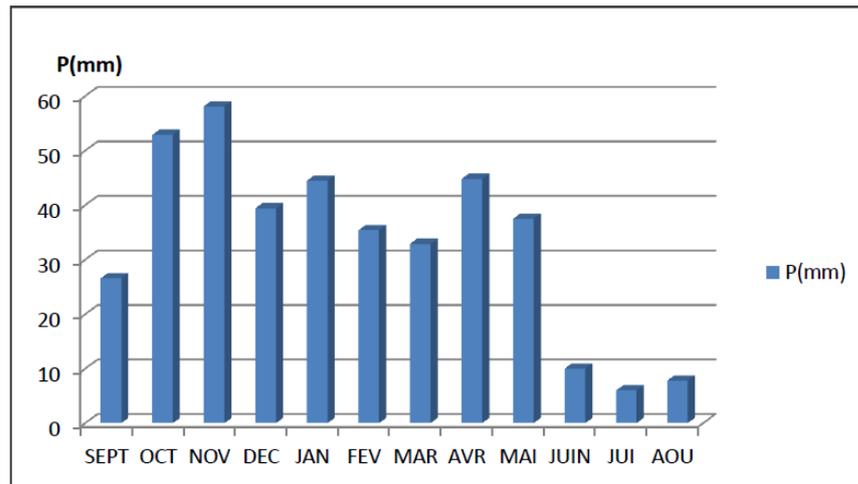


Figure 05 : Moyenne mensuelle de la précipitation (2000-2018).

Pour la même période d’observation (2000-2018), la température minimale enregistrée en mois de janvier est avec 3°C (figure 06) et celle du mois le plus chaud est observée au mois de juillet avec de 36°C. La température moyenne annuelle est située autour de 15° avec une amplitude moyenne de 22° C (ONM, 2018).

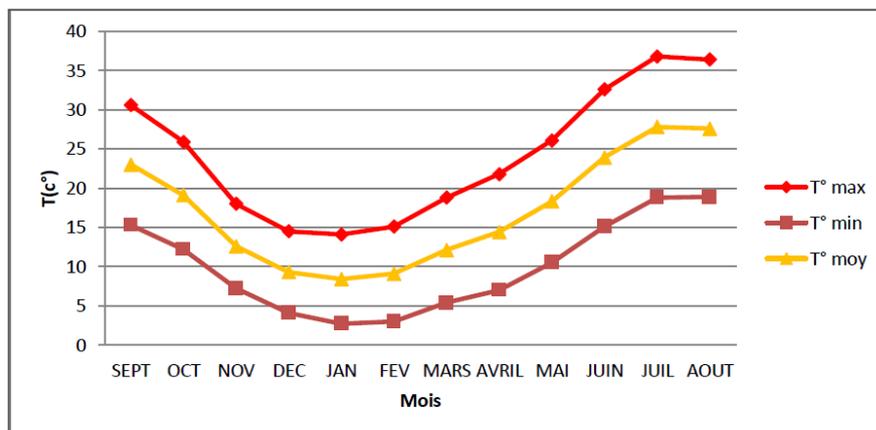


Figure 06 : Répartition des températures moyennes, maximales et minimale 2000 à 2018.

1-4- Le réseau hydrographique:

La majorité des oueds drainent le bassin de l’oued de Saida les importants sont (ONA, 2023)

-L’oued tebouda qui prend sa source à Ain Beida a environ 3 Km au sud

D’Ain El Hadj

- L'oued Saida qui constitue le plongement de l'oued tebouda.
- L'oued Rebahia qui prend sa source à Ain Zerga.
- L'oued Massil qui prend sa source à Ain Mettiouia.

2- Présentation de la station d'épuration de la ville de Saida :

2-1 Situation géographique de la station par rapport à la ville de Saida :

Les eaux usées de la ville de Saida sont dirigées vers un exutoire qui est la station d'épuration, située en aval de la ville.

La station d'épuration est implantée dans la partie nord-ouest de la ville à proximité de l'oued Saida qui constitue le milieu récepteur des eaux épurées.

Le choix de ce site est d'après une étude géologique qui a montré la nature du sol pour éviter tout tassement des ouvrages et l'existence des couches argileuses pour éviter tout contact par infiltration vers la nappa souterraine.

L'épuration des eaux avant leur rejet dans le milieu naturel devient ainsi une nécessité, il faut protéger la nature, d'où la mise en service de la station d'épuration de Saida qui devra épurer ces eaux urbaines et industrielles. (ONA, 2023).



Figure 07 : La Station d'épuration à boues activées (Google Earth, 2023)

3- Historique de la STEP :

L'expansion économique de ces dernières années et le phénomène de concentration urbaine et industrielle, ont provoqué un énorme accroissement de la pollution.

Les eaux usées étaient alors directement rejetées dans le milieu naturel (l'oued) sans traitement au préalable, mais l'importance des rejets conduit à une pollution du milieu naturel et provoque des déséquilibres et des nuisances. (ONA, 2023)

La réalisation de la station d'épuration de la ville de Saida a été assurée par l'entreprise espagnole COMSA, l'achèvement des travaux La mise en service de la STEP en 2010. La STEP a été transférée à l'ONA le 01/01/2012, le traitement biologique de la station de la ville de Saida est un procédé à boues activées à faible charge.

4- Les caractéristiques technique de la STEP

Tableau 02 : Les caractéristiques techniques de la STEP

Procédé d'épuration	Boue activée à faible charge
Capacité en (Eq/hab)	150000
Débit nominal en (m ³ /j)	30000
Lieu de rejet	Oued SAIDA
Type de réseau	Unitaire
Nature des eaux brutes	Domestiques

Le traitement se fait selon le procédé suivant (ONA, 2023) :

I-Traitement des Eaux :

Déversoir d'orage : 01

Longueur	: 20m
Largeur	: 20m
Hauteur	: 2,5m
Volume total	: 1.000m ³
Temps de rétention a débit maximum	: 24min

A-PRETRAITEMENT

Les eaux usées véhiculent des matières en suspension très hétérogènes et souvent volumineuses. On entend par « prétraitement » une série d'opérations qui a pour but d'éliminer la partie la plus visible de la pollution et la plus gênante sur le plan de l'exploitation des ouvrages. Ils ont un rôle déterminant sur le plan de l'exploitation de la station d'épuration et se compose de:

1- Bassin de relevage :

4 pompes –immergées

Marque : ABS

Poids : 42Kg

1 - Dégrilleur :

✓ **Le dégrillage:** Passage de l'eau à travers des barreaux plus ou moins espacés.

- Grilles grossières: espacement entre barreaux: 60-100mm.

- Grilles fines: espacement entre barreaux: 10-25mm.

✓ **Dégrilleur grossier manuel : 01**

Largeur : 1 .500mm

Longueur : 6 .000mm

✓ **Dégrilleurs fin automatique :**

Nombre de canaux de dégrillage fin : 0 2

Largeur de la grille : 1.000mm.

Largeur nette de passage : 660mm

Séparation entre barreaux : 10mm

Nombre de barreaux : 33

Séparation entre barreaux : 20m

2- Dessableur - Déshuileur : 02 Unité

✓ **Le dessablage:** Extraction par sédimentation des graviers, sables et particules minérales, ayant une taille de 0,2 à 2 mm.

✓ **Le dégraissage-déshuilage:** combiné avec le dessablage, vise la séparation des produits de densité légèrement inférieure à l'eau par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles d'air. Nuisibles à la phase biologique du traitement (formation de mousses...) et représentent environ 35 % de la DCO de l'eau brute.

Largeur totale zone de dessablage-déshuilage : 4m

Largeur totale zone de dessablage : 3m

Largeur totale zone de dessablage	: 1m
Hauteur totale	: 5m
Hauteur de l'eau	: 4m
Longueur totale	: 18m
Volume utile total:	242,9m

B- Traitement biologique

Bassin d'aération (02 unités)

Forme rectangulaire de :

Longueur	: 66,0 m.
Largeur	: 44,0 m.
Hauteur d'Eau	: 4,5 m.
Profondeur total	: 5m
Hauteur Béton	: 5,60 m.
Volume utile total	: 26.136 m ³ .
Volume utile unitaire	: 13.068 m ³ .

Equipements des bassins.

Nombre de turbine	: 12
Puissance des turbines installées	: 75/55 KW
02 Oxymètres de mesure d'oxygène dissous.	

Décanteur secondaire (02 unités)

Nombre	: 02
Diamètre	: 43 m.
Surface unitaire	: 1.452 m ³ .
Hauteur d'eau	: 3 ,50 m.
Volume cylindrique	: 5.0827 m ³

Chloration, stérilisation

Le bassin de chloration est en béton armé

Longueur	: 30m
Largeur	: 12m
Hauteur utile	: 3,5m
Hauteur total	: 4m

Volume : 1.260m

II- Traitement des boues***Epaississement des boues,***

Les dimensions de l'épaississeur sont :

Nombre : 01

Diamètre : 16 m.

Hauteur : 4 m.

Surface : 201 ,1 m²

Volume de l'épaississeur : 804,25 m³.

Déshydratation des boues sur lits de séchage.

Longueur : 30 m

Largeur : 15m

Nombre total des lits : 20

Surface totale à mettre en œuvre : 9000 m²

Production annuelle des boues : 83.865 m³ /an

Equivalent- habitant par unité d'aire : 16,7 eq / hab / m²

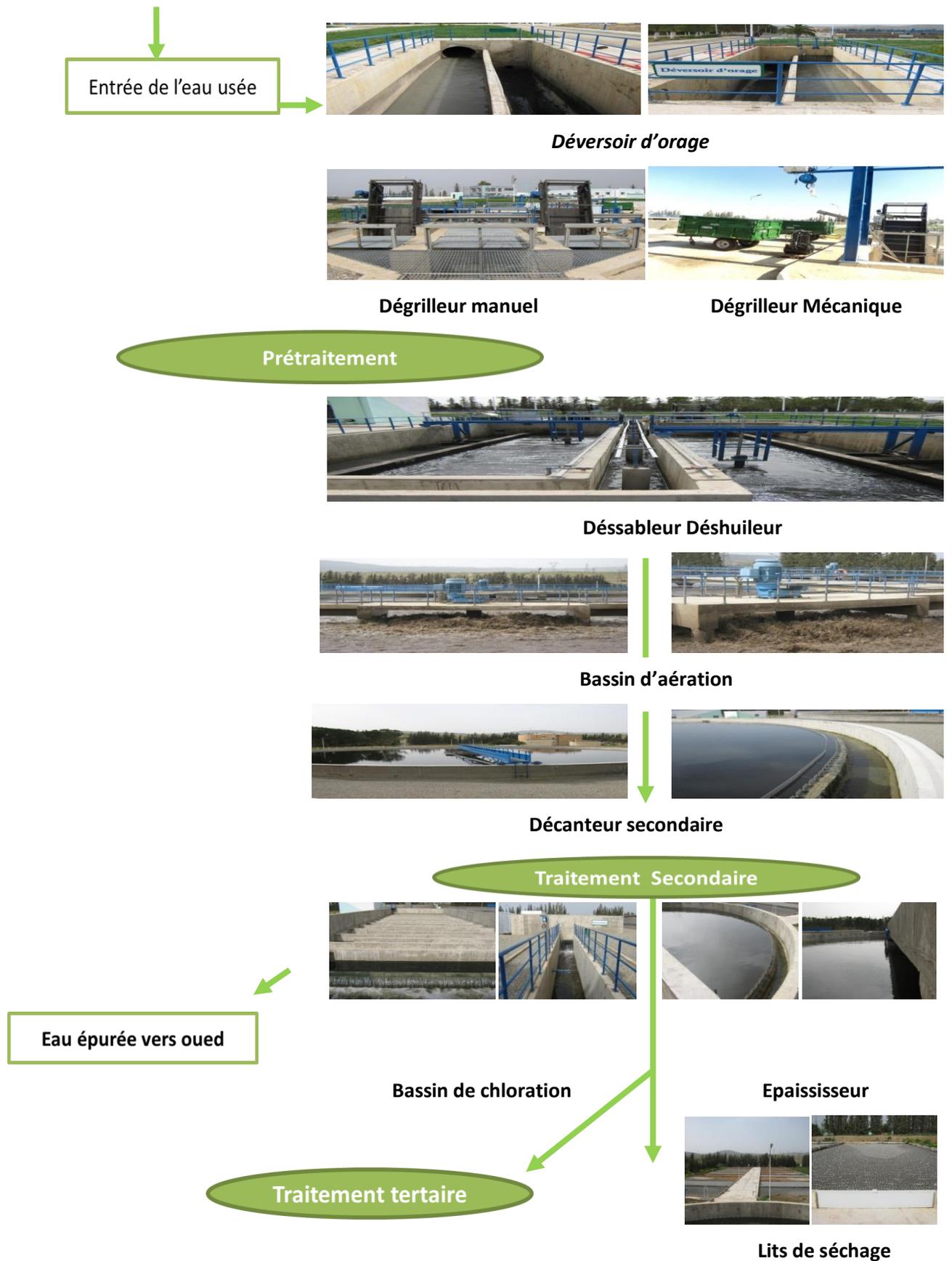




Figure 08 : les étapes de traitement des eaux usées dans la STEP de Saida (source : **Benfatima et Becharef, 2022**)

5 -Fonctionnement de la STEP SAIDA :

La station d'épuration est installée à coté de réseau de collecte d'assainissement, juste à l'extrémité de la sortie des eaux vers le milieu naturel. La stations d'épuration est une installation qui sert à dépolluée l'eau usée pour éviter la destruction totale des écosystèmes aquatiques et naturels due aux effluents pollués ; l'épuration est une technique qui consiste à éliminer les matières indésirables que l'eau véhicule en vue de son déversement dans le milieu naturel ou sa réutilisation dans des fonctions diverses ; les eaux usées de la station de Saida sont soumises au procédés de boues activées(ONA, 2023)

6-L'impact de la STEP : (ONA, 2023)

La réalisation de la station d'épuration de la ville Saida est destinée à épurer les eaux usées rejetée par la population de la ville, l'objectif principal et de lutter contre la pollution du milieu récepteur (Oued Saida) :

- Protection de la nappe phréatique et oued Saida,
- Préserver la santé de la population contre les maladies à transmission hydriques.
- Réutiliser les eaux épurées en irrigation.
- Réutiliser les boues issues de l'épuration a des fins agricoles.

7- Procédé d'épuration de la STEP Saida :

La station d'épuration de la ville de Saida est implantée au niveau de la commune de Saida sur une superficie de 11.47 Hec est d'une capacité de 150 000 Eq/Hab, elle est conçue pour traiter chaque jour 30 000 m³ d'eaux usées par voie biologique.

Le procédé d'épuration de la STEP est un procédé biologique basé sur le principe de boues activées, Le procédé de traitement par boues activées est un traitement biologique à culture en suspension. Il est constitué d'un réacteur biologique dans lequel les eaux usées sont mélangées avec une biomasse aérée et maintenue en suspension. Le substrat contenu dans les eaux usées sert de nourriture pour la multiplication et le développement des micro-organismes contenus dans la

biomasse. La biomasse est ensuite séparée par décantation et une partie de cette biomasse est recyclée dans le réacteur. La biomasse excédentaire est extraite du système et constitue les boues secondaires. Les systèmes de boues activées sont le plus souvent conçus pour être exploités en mode continu avec un réacteur biologique, un décanteur secondaire et des équipements de retour des boues du décanteur vers le réacteur. Un schéma de procédé typique est montré à la figure ci dessous. Ils peuvent aussi être conçus pour être exploités en mode séquentiel, une période étant réservée à la décantation directement dans le réacteur. (ONA, 2023)

a- Caractéristiques du procédé

a.1 Paramètres de fonctionnement

- La charge massique (Cm):

La charge massique s'exprime par le rapport entre la pollution appliquée journallement; en kg DBO₅ ; et la masse de matière épuratrice, en kg de poids sec des boues contenues dans le réacteur biologique:

$$Cm = L0.Q / St.V$$

Cm en kg DBO₅ / kg MesT/j.

V (m³): volume de bassin d'aération.

St (kg/m³): concentration en MesT des boues en aération.

Lo (mg/l): concentration moyenne en DBO₅.

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

Lo.Q (kg DBO₅/j) : charge polluante journalière traitée .

- Charge volumique:

Il correspond au quotient du poids journalier DBO₅ appliqué; rapporté au volume unitaire du bassin d'aération:

$$CV = Lo.Q / V$$

CV est exprimé en kg DBO₅ / m³.j

- Age des boues:

L'âge des boues est défini comme étant le rapport entre la masse des boues présentes dans le réacteur et la masse journalière de boues en excès.

$$A = V.X / QW.XW$$

A: âge des boues(h).

V: volume de liqueur mixte.

X : concentration en solide (ou solide volatil) de la liqueur mixte (mg/l).

QW: débit d'évacuation des boues.

XW : concentration en solide (ou solide volatil) des boues (mg/l).

L'âge des boues est inversement proportionnel à la charge massique.

- Indice et Mohlman :

Cet indice définit le volume de boue activée décantée an ½ heure

(en ml) par rapport à la masse de résidu sec de cette boue (en g de matières).

$$I_m = V / M$$

V: volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation d'un litre de boue activée.

M: concentration de MES de la boue activée.

-Plus l'indice est élevé, moins la boue décante bien.

-Une boue activée de bonne structure a un indice compris entre 50 et 100.

- Besoin en oxygène :

A fin de garantir aux micro-organismes des conditions satisfaisantes de croissance tout en assurant un fonctionnement normal ; il faudrait maintenir la concentration en oxygène dans le bassin d'aération supérieur à **2 mg / l** en tout temps et quelque soit la charge.

8- Les objectifs épuratoires de la STEP de Saida (les concentrations des eaux épurées à la Sortie) (ONA, 2023)

Conformément aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé(OMS), les normes de rejets des eaux usées en Algérie sont résumées dans le tableau03 :

Tableau 03 : normes de rejet de l'O.M.S, appliquées en Algérie.

Paramètres	Normes
T° (°C)	> 30
pH (mg/l)	6.5 - 8.5
O2 (mg/l)	5
DBO5 (mg/l)	30
DCO (mg/l)	90
MES (mg/l)	120
Zinc (mg/l)	2
Chrome (mg/l)	0.1
Azote total (mg/l)	50
Phosphore total (mg/l)	2
Hydrocarbures (mg/l)	10
Détergents (mg/l)	1
Huiles et graisses (mg/l)	20

Chapitre III

Matériel et méthode

Echantillonnage de l'eau

L'échantillonnage des eaux est une opération qui consiste à prélever des échantillons d'eau en vue d'analyse. L'échantillonnage est une étape primordiale de l'analyse car pour obtenir un résultat d'analyse pertinent, il est nécessaire que l'échantillon d'eau soit représentatif, qu'il soit conservé dans de bonnes conditions jusqu'au lieu de l'analyse, et qu'il ne soit pas contaminé par toute substance qui pourrait provoquer un résultat d'analyse erroné.

Au niveau de la STEP de la ville de Saida, les prélèvements se font de façon automatique, toutes les 15mn un volume d'eau de 100 ml est prélevé par le préleveur automatique durant 24 h pour avoir un litre d'échantillon moyen.

Les prélèvements s'effectue à l'entrée de la station (E) c'est une eau brute qui n'a subie aucun traitement, le deuxième échantillon d'eau épurée est prélevé à la sortie de la station (S) avant d'être renversé dans l'oued de SAIDA.



Figure 09 : Prélèvement des échantillons d'eau épurée (prises au niveau de la STEP de Saida)

1-Le choix du prélèvement en cas de prélèvement manuel :

Le point d'échantillonnage est certes l'un des facteurs les plus importants lors d'une campagne d'échantillonnage et doit être choisi judicieusement. Idéalement, son emplacement est sélectionné en fonction de la représentativité des échantillons. Le choix de points d'échantillonnage représentatifs doit s'appuyer sur une déduction logique tenant compte des objectifs de l'échantillonnage et des substances à analyser.

Généralement, le point d'échantillonnage se situe à un endroit de l'effluent où il y a suffisamment de turbulences pour assurer l'homogénéité de l'effluent. Le point d'échantillonnage des effluents dans les canaux ouverts se situe au centre du canal et à une profondeur permettant la prise d'échantillons même en condition de débit minimum. (ONA, , 2023)

2-Types d'échantillonnage :

-Echantillonnage instantané :

Les échantillons instantanés sont prélevés en milieux dynamiques en une seule prise dans un intervalle généralement inférieur à 15 minutes. Les échantillons instantanés sont principalement utilisés lorsque l'on veut :

- Déterminer les variations temporelles des concentrations ou des paramètres ;
- Connaître la qualité d'un effluent à un instant donné ;
- Connaître les variations des concentrations ;
- Prélever des échantillons de volumes variables ;
- Comparer les résultats d'analyse avec ceux des échantillons composés ;
- Échantillonner une solution en circuit fermé, dont la concentration et la nature ne sont pas appelées à varier en raison de son temps de rétention prolongé (ONA, , 2023)

- Echantillonnage composé :

Un échantillon composé est obtenu en combinant dans même contenant des échantillons instantanés prélevés périodiquement en fonction du temps ou du débit en respectant l'égalité des proportions. Un échantillon composé peut se prélever automatiquement ou manuellement.

On obtient un échantillon composé en fonction du temps en prélevant des échantillons de même volume à intervalles de temps régulier. On obtient aussi des échantillons composés en fonction du débit en prélevant des échantillons proportionnellement au débit des eaux. Un échantillon composé couvre une période de temps définie en fonction des besoins généralement 24 heures. (ONA, , 2023)

3-Identification des échantillons :

Il est primordial d'enregistrer correctement et adéquatement l'ensemble des enregistrements pertinents pour décrire et identifier tous les échantillons prélevés. Il convient d'étiqueter les récipients contenant les échantillons de façon claire, sans ambiguïté et durable (se référer à la norme internationale ISO 5667-3 :2003(F)).

Par ailleurs, il peut être nécessaire de noter, au moment de l'échantillonnage, les détails qui permettront d'interpréter correctement les informations fournies (par exemples date et heure du prélèvement, nom de la personne chargée de l'échantillonnage, nature et quantité de conservateurs ajoutés).

Il convient que les échantillons particuliers de substances anormales soient repérés de façon claire et accompagnés d'une description détaillée de l'anomalie constatée.

Il est essentiel que les échantillons contenant des substances dangereuses ou potentiellement dangereuses, par exemple des acides, soient clairement identifiés comme tels. (ONA, , 2023)

4-Transport des échantillons :

Il convient que les récipients contenant les échantillons soient protégés et bouchés de sorte que les échantillons ne se détériorent pas et qu'ils ne perdent aucun de leurs constituants durant le transport. Il convient que le matériau d'emballage protège les récipients contre toute contamination extérieure et toute rupture éventuelles, notamment près de l'ouverture du récipient, et qu'il ne soit pas lui-même une source de contamination.

Pendant le transport, il convient de stocker les échantillons suivant les lignes directrices. (ONA, , 2023)

- Matériels utilisés : (ONA, , 2023)

Désignation du matériel
Etuve – RAYPA
Four à monfle – DINKO
Centrifugeuse
Unité de filtration avec pompe à Vide
Distillateur (SG)
Plaque chauffante DCO
Balance de Précision
Spectrophotomètre
Agitateur
Microscope Optique
Conductimètre
Réfrigérateur
Armoire thermostatique
PH mètre
-Verre de précipité
-Dessiccateur
-Balance de précision électronique
-Pince
-Filtres de microfibres de verre
-Equipe DBO système :
-Têtes mesureurs (OXYTOP)
-Ampoules de mesure marron

-Agitateurs magnétiques
- Pince
-carcasses de gommages pour les goulots des ampoules
- lentilles de NAOH
- Inhibiteur de nitrification
-Kit pour DCO LCK 314 et LCK 514
-Pipette graduée de 2 ml
-Réacteur DCO
-Spectrophotomètre

- Protocoles d'analyses physico-chimiques effectuées : (ONA, , 2023)

1 La température :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique).

La mesure de la température s'effectue à l'aide d'un thermomètre (plage de mesure (0-30°C) plongé à l'intérieur d'un bécher de 100 ml. La lecture est faite après stabilisation du thermo- mètre en degré Celsius (°C). (ONA, , 2023)

2. Le potentiel Hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base. Le pH est exprimé sans unité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. (ONA, , 2023)

Pour la réalisation de cet analyse, on a suivi la normative Française et réglementation ISO international ; NF T 90 -008(Février 2001).



Figure 10 : PH mètre (Source : ONA , 2023)

***Procédure expérimentale :**

- l'appareil nécessite un étalonnage quotidien dans les trois points de calibration : 4,01_7,0_9,21
- Après calibration, laver l'électrode à l'eau distillée
- Appuyer sur le bouton analyse échantillon pour démarrer la mesure
- lire l'évaluation une fois la lecture se stabilise
- Laver l'électrode à l'eau distillée et remettre le dans la solution électrolyte de KCL

3. L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau, car il permet la vie de la faune et la flore, il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Dans le domaine de l'épuration, il est indispensable pour la dégradation de la pollution, l'oxygène dans l'eau dépend des différents facteurs dont la température, la pression et la force ionique du milieu.

La Solubilité est relativement faible de l'oxygène dans l'eau dépend de la température.

La mesure de L'oxygène dissous a été effectuée à l'aide d'un oxymétrie. On plonge la sonde dans l'échantillon d'eau avant et après l'épuration. On note la valeur affichée après la stabilisation des résultats sur l'afficheur de l'appareil. (ONA, , 2023)



Figure 11 : l'oxymètre du bassin biologique (Source : ONA , 2023)

4. Les Matières en suspension :

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu. Théoriquement, ils ne sont pas solubilisés. Les MES sont en majeure partie de nature biodégradable ; La plus part des micro-organismes pathogènes contenues dans les eaux usées sont transportées par les MES qui les protègent de beaucoup de traitements. Si les MES sont présentes en trop grande quantité, elles peuvent entraîner le colmatage des canalisations. (ONA, , 2023)

Dosage des Matières en suspension - MES -

C'est la méthode gravimétrique pour déterminer la concentration des solides en suspension présents dans les différents échantillons d'eau et de liqueurs mélangées obtenus dans la Station d'épuration. Le résultat sera exprimé en mg /l de solides. (ONA, , 2023)

Pour le suivi de cette analyse on a suivi la normative Française, La norme (Norme française du Travail) NFT EN 872 NF EN : 2005-06 (Juin2005)

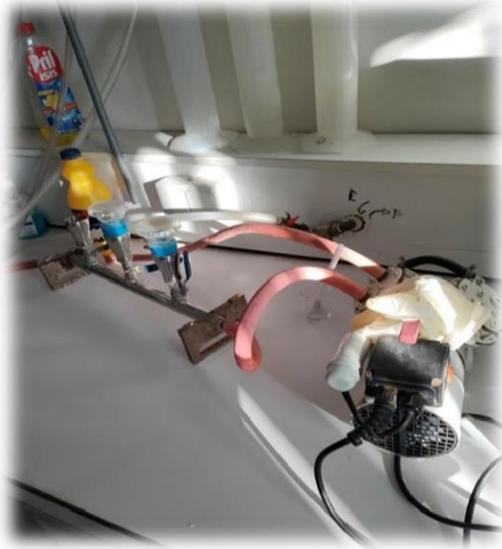


Figure 12 : Unité de filtration
(Source : ONA , 2023)

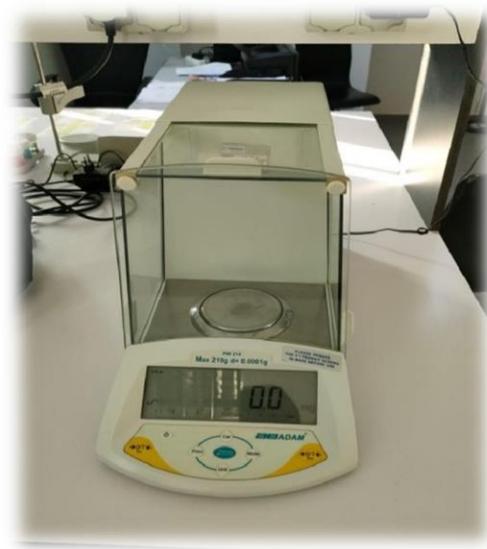


Figure 13 : Balance de précision
(Source : ONA , 2023)



Figure 14 : Etuve 105c° (Source : ONA , 2023)

***Procédure expérimentale :**

- Peser le filtre vide P° dans la balance électronique.
- Placer le filtre sur l'entonnoir de l'unité de filtration (partie lisse en bas).
- Agiter le flacon de l'échantillon.
- Verser un volume $V= 50\text{ml}$ d'eau dans l'éprouvette graduée.
- Filtrer l'échantillon.
- Libérer le dispositif sous vide lorsque le filtre est pratiquement sec.

- Retirer avec précaution le papier filtre à l'aide d'une pince à extrémité plate.
- Placer le filtre sur un support de séchage (ex capsule).
- Sécher le filtre dans l'étuve à 105 C ° pendant deux heures et plus.
- Reporter la capsule dans le dessiccateur.
- Peser P1.
- Renouveler ces opération jusqu'à l'obtention d'un poids constant (La différence entre deux pesées consécutives n'excède pas 0,5 ou 0,1 mg.

Calculs et résultats

$$\text{MES (mg /l)} = P_1 - P_0/V * 10005.$$

5.Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO5) :

La demande biochimique en oxygène (ou DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable sur une période définie. En effet, une période allant de 5 à 21 jours serait nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la totalité de la pollution biodégradable (ONA, , 2023).

Pour la réalisation de cette analyse on a consulté la normative Française

NF EN 1899-1(MAI 1998).



Figure 15 :D.B.O mètre (Source : ONA , 2023)



Figure 16 : flacon à D.B.O avec oxytope (Source : ONA , 2023)

***Procédure expérimentale :**

- Remplir deux flacons, le premier par 97 ml d'eau usée et le second par 365 ml d'eau épurée.
- Placer un barreau magnétique dans chacun des flacons pour l'homogénéisation du milieu interne.
- Verser le gel nutriment DBO pour activer les bactéries.
- Rajouter 1g d'hydroxyde potassium (KOH) dans les bouchons hermétiques pour absorber l'humidité (CO₂).
- Visser l'oxytope sur le flacon .Ensuite on règle les plages des mesures de [0 à 600] pour les eaux usées et de [0 à 90] pour les eaux épurées.
- Placés les flacons dans l'armoire thermostatique, sur l'agitateur.
- L'incubation des échantillons dure 05 jours à une température de 20°C, Les valeurs prises, seront celles affichées à la fin des 05 jours.

6. Dosage spectroscopique :

Les nitrates, les nitrites, l'ammoniac et la DCO ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre de type HACH DR 3900 et des tubes en verre de 25 ml de capacité. La détection se fait dans le domaine du visible de l'appareil allant de 325 à 900 nm. L'analyse de l'élément ou du composé est réalisée suite à une complexation de celui-ci avec le réactif ajouté, ce qui développe une couleur. L'intensité de la couleur obtenue et le choix approprié de la longueur d'onde permettent l'analyse de l'élément contenu dans l'échantillon. (ONA, , 2023)



Figure 17 : spectrophotomètre DR 3900

7. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (ou DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour la dégradation des matières organiques et minérales. Le test consiste en une oxydation chimique par un oxydant fort, acide à température élevée par le bichromate de potassium, acide sulfurique, sulfate de mercure. (ONA, , 2023)

Pour la réalisation de cette analyse on a consulté la normative Française, pour ce PNT , la norme NFT 90 – 101.



Figure 18 : Réactif DCO



Figure 19 : Bloc Chauffant

***Procédure expérimentale :**

- Allumer le spectrophotomètre pour calibrage automatique.
- Pupitre 2 ml de chaque échantillon (sortie).
- Ouvrir le bouchon du kit adéquat soigneusement et ajuster l'échantillon.
- Bien fermer le kit et mélanger délicatement (réaction thermique immédiate).
- Placer les deux kits dans le réacteur DCO.
- Programmer le réacteur DCO à 148C° pendant deux heures.
- Après refroidissement du kit lire au spectrophotomètre.
- Lire la valeur affichée par le code à barre imprimé sur le kit.

8. Dosage des Nitrites :

On parle aussi de l'azote NO₂, des Nitrites, ils sont souvent en quantité très faible car c'est une forme chimique très instable. (ONA, , 2023)

***procédure expérimentale :**

Pour les nitrites, le numéro de programme du spectrophotomètre est 371. La longueur d'onde sera réglée à 507 nm. L'afficheur indique : mg/l NNO₂

- on prépare deux cuvettes, de 10 ml chacune (échantillons témoins)
- Deux autres cuvettes remplies de 10 ml d'échantillon plus le réactif de NitriVer3
- Mettre un barreau magnétique dans chaque cuvette
- Laisser agir pendant 20 mn sur l'agitateur
- Formation d'un composé complexe de l'acide sulfanilique pour former un sel de diazomium qui réagit avec l'acide chromotrope pour produire un complexe coloré rose.

La réaction est la suivante:



-Au spectrophotomètre

-On place le blanc dans le puits de mesure et on presse ZERO L'affichage Indique 0.000 mg/l NNO₂

-On place l'échantillon préparé et on lit le résultat affiché en mg/l NNO₂

- Pour avoir les nitrites en mg/l, on multiplie par la constante 4.4 et par le facteur de dilution (10) s'il ya lieu de dilution.

9. Dosage des nitrates

L'ion nitrate (NO₃⁻) est la principale forme d'azote inorganique trouvée dans les eaux naturel Pour les nitrates, sélectionner le numéro au spectrophotomètre 353 (ONA, , 2023)

*Procédure expérimentale :

-L'afficheur indique : mg/l NNO₃.

- On prépare deux cuvettes, de 10 ml chacune (échantillons témoins).

- Deux autres cuvettes remplies de 10 ml d'échantillon plus le réactif de NitraVer5.

-Mettre un barreau magnétique dans chaque cuvette.

-Laisser agir pendant 05 mn sur l'agitateur.

-On place le blanc dans le puits de mesure et on presse ZERO L'affichage Indique 0.000 mg/l NNO₃.

-On place l'échantillon préparé et on lit le résultat affiché en mg/l NNO₃

- Pour avoir les nitrates en mg/l, on multiplie par la constante 4.4 et par le facteur de dilution (10) s'il ya lieu de dilution.

10. Dosage du Phosphore :

Le phosphore peut se présenter sous différentes formes phosphore organique insoluble contenu dans le matériel cellulaire végétal ou animal.

L'Ortho phosphate dissocie (sucephosphatés, phospholipides, phosphate inorganique,)

*Procédure expérimentale :

- On prépare deux cuvettes, de 10 ml chacune (échantillons témoins).

- Deux autres cuvettes remplies de 10 ml d'échantillon plus le réactif de PhosVer 3.

-Mettre un barreau magnétique dans chaque cuvette.

- Laisser agir pendant 02 mn sur l'agitateur.
- Sélectionner le code 490 sur le spectrophotomètre.
- L'afficheur indique : mg/l PO₄⁻³.
- On place le blanc dans le puits de mesure et on presse ZERO L'affichage Indique 0.0 mg/l de PO₄⁻³.
- On place l'échantillon préparé puis on lit le résultat affiché en mg/l.

-Protocole d'Analyses bactériologiques : (Tfyeche, , 2014) :

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser. En raison de la diversité des espèces bactériennes, virales et parasitaire, des germes test vont être analysés qui représenteront par la suite l'aspect microbiologique de ces eaux. Une analyse complète de l'eau brute a été effectuée en se basant sur la recherche et le dénombrement des paramètres suivants :

- Coliforme totaux.
- Coliformes fécaux.
- Streptocoques fécaux.

- Clostridium sulfito-réducteurs.

1. Recherche et dénombrement des Coliforme totaux :

Selon les normes internationales, les micro-organismes reviviscibles se définissent comme étant la totalité des bactéries, levures et moisissures capables de former des colonies dans ou sur le milieu de culture spécifié dans les conditions d'essai décrites (Tfyeche, , 2014).

Mode opératoire:

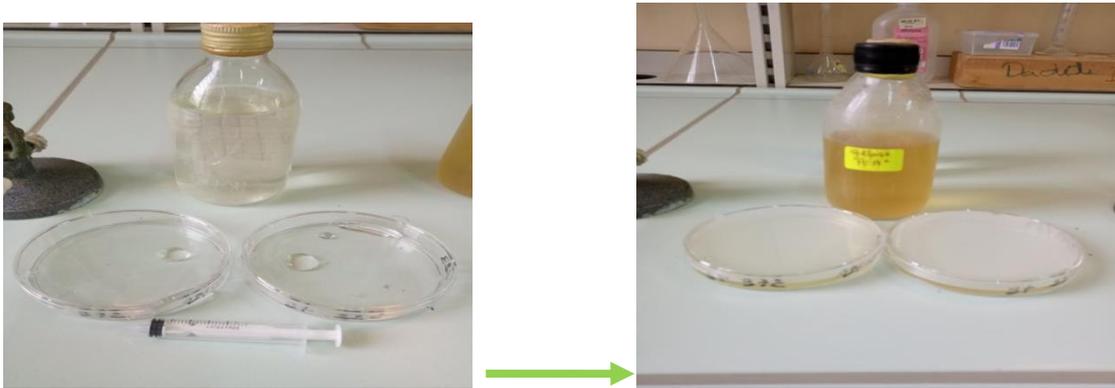
A partir de l'eau à analyser, on met 2 fois 1 ml dans deux boites de Pétri vides préparées à cet usage et numérotées. Compléter ensuite chacune des boites avec environ 15ml de gélose PCA et mélanger avec précaution en mouvement rotatoire puis laisser solidifier (Tfyeche, , 2014)

Incubation et lecture : Retourner les boites et incuber à une température de 37 °C pendant 24 h à 48 h, l'autre à 22 °C pendant 72 h. La lecture se fait après chaque 24h. On

calcule le nombre de colonies formées présentes dans un millilitre d'échantillon (Tfyeche, , 2014)

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en nombre de germes par 1 ml (Germe/1ml).



Porter 1ml d'eau à analyser dans la boîte bétri

compléter la boîte bétri environ 15ml de gélose PCA

Figure 20 : Recherche et dénombrement des Coliformes totaux dans l'eau

2. Recherche et dénombrement des coliformes en milieux liquides (Méthode de NPP) :

Test de présomption :

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 3 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 3 fois 1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- 3 fois 0,1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches et bien mélanger le milieu, l'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures. (Tfyeche, 2014)

Seront considérés comme positifs + ; les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement du gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

• La lecture

se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP ANNEXEV.



Eau à analyser

3 × 10 ml



3 × 1 ml

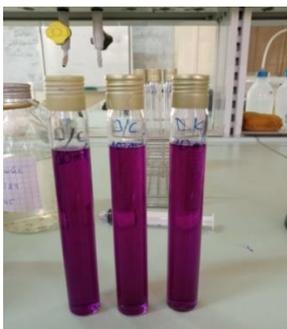


3 × 0.1ml



Milieu BCPL

3 × 10ml



3 × 10ml



3 × 10ml



Figure 21 : Recherche et dénombrement coliformes fécaux dans l'eau

3. Recherche des Streptocoques fécaux en milieu liquide :

Test de présomption :

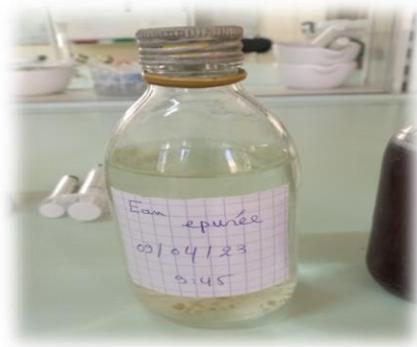
A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 3 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHED/C (double concentration).
 - 3 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C (simple concentration).
 - 3 fois 0.1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C :
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.
- L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures (**Tfyeche, , 2014**).

Lecture

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir un streptocoque fécal.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP annexe **ANNEXEV**.



Eau à analyser
3× 1 ml

3× 10 ml



3× 0.1ml

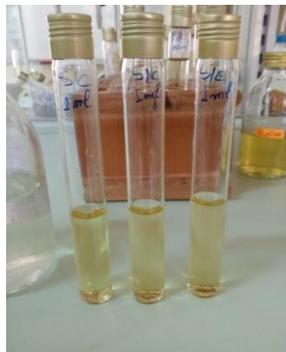


Milieu ROTHE
3×10ml

3× 10ml



3×10ml



3 ×10ml



Figure 22 : Recherche et dénombrement streptocoques fécaux dans l'eau

4. Recherche et dénombrement des Clostridium Sulfito-Réducteurs :

- Porter dans deux tubes de 1 ml de l'échantillon à analyser
- Elaborer pour les deux tubes un chauffage à 80°C, pendant 10

Minutes, puis un refroidissement brutal sous l'eau de robinet (chocthermique qui a pour but d'éliminer la forme végétative et reste seulement la forme sporulée des bactéries Sulfito- Réducteurs).

- Compléter ensuite chacune des tubes avec environ 15 ml de VFSR et mélanger avec précaution.
- Laisser solidifier, puis incuber à 37°C pendant 48 heures avec une première lecture après 16 heures d'incubation. (Tfyeche, 2014)

• Lecture :

Après la période d'incubation sera considéré comme positif, les tubes contenant de grosses colonies noires, qui correspond au Clostridium sulfito-réducteur. Le résultat est exprimé par le nombre des Clostridium sulfito-réducteurs par 1 ml de l'échantillon à analyser.



Eau à analyser



2×1ml



**Chauffage à 80 c°,10 minute.
refroidissement brutale sous
l'eau de robinet**



Milieu VFSR



2×15ml

Figure 23 : Recherche et dénombrement Clostridium sulfito-réducteurs dans l'eau

Chapitre IV

Discussion du résultat

Dans ce chapitre, nous allons exposer les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux épurées de la station d'épuration de la ville de Saida durant une période d'étude de cinq mois. En effet, la STEP traite un volume moyen mensuel d'eau usée de 683 309 m³ d'eau brute, soit un volume de 22 170 m³ par jour (ONA, 2023). Les résultats obtenus feront l'objet d'une analyse et interprétation afin de caractériser la qualité de l'eau traitée et de mentionner les carences qui peuvent exister dans le processus de traitement de la STEP, pour une éventuelle réutilisation et valorisation de ces eaux épurées dans le domaine agricole, industriel, les espaces verts ou d'autres usages.

Il est à noter que les analyses des paramètres de N-NO²⁻, N-NO³⁻ et PO₄⁻³ ont été faite une seule fois, et ce, suite au manque de réactifs chimiques au niveau de la STEP de Saida durant la période d'étude.

1- Résultats des analyses des paramètres physicochimiques :

Le suivi de la qualité physico-chimique consiste à la détermination et la mesure des paramètres de pollution. Il s'agit de faire le bilan journalier et mensuel de la pollution, par la mesure de la température, du pH, de la conductivité (CE), des matières en suspension (MES), l'oxygène dissous (O₂), de la pollution organique carbonée (DCO, DBO₅), des différentes formes d'azote (N-NO₂⁻, N-NO₃⁻) et l'orthophosphate (PO₄⁻³).

1-1 La température

La température des eaux usées et épurées constitue un des paramètres influençant leur composition (effet sur la solubilité des sels). Elle favorise aussi la formation d'une biomasse bactérienne importante (Harzouli et al, 2007). La figure 24 montre que les valeurs de températures varient de 9.9 à 19.3 °C. Cela indique que l'eau épurée à la sortie de la STEP et dans les conditions optimales de température (inférieur à 30°C) est inférieure à la valeur maximale de la norme Algérienne (JORAD, 2012).

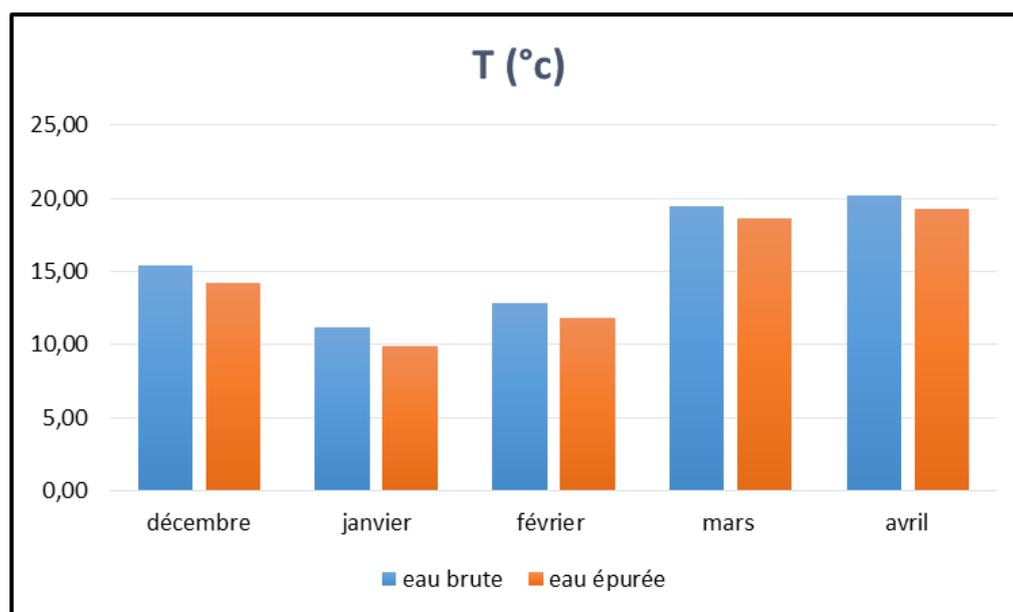


Figure 24 : variations des valeurs de la température de l'eau usée et épurée de la STEP

1-2 Le pH

Le ph de l'eau est un indice exprimant l'acidité ou l'alcalinité dont l'intérêt de la mesure réside dans la détermination de l'agressivité de l'eau. Selon **Rodier et al. (2005)**, le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau.

La figure ci-dessus (figure 25) montre que les valeurs du pH durant les cinq mois d'étude se situent entre 7,46 à 7,93 pour les eaux usées brutes et 7,83 à 8,35 pour les eaux épurées. Donc ces résultats montrent que les valeurs obtenues au cours de nos analyses obéissent aux normes de l'OMS et la norme algérienne de rejet comprises entre 6,5 et 8,5 (**OMS, 2007 ; JORAD, 2012**). **ANNEXE 55**

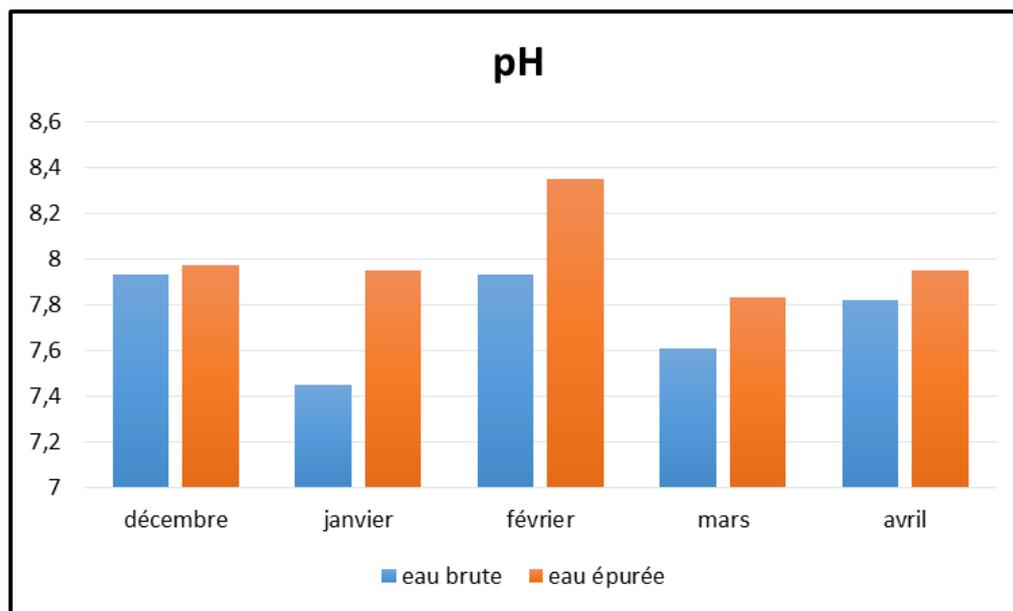


Figure 25 : variations des valeurs du pH de l'eau usée à l'entrée et la sortie de la STEP

1-3 La conductivité

La présence des ions confère à l'eau une certaine conductivité électrique, due aux déplacements de ces charges dans l'eau. Donc la conductivité permet de connaître le degré de minéralisation des eaux, elle mesure la concentration des sels ioniques et nous informe sur le degré de salinité de l'eau (Thomas, 1995).

Les valeurs de la conductivité enregistrées durant la période d'étude varient de 1930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 2198 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'eau brute. Concernant l'eau traitée, les valeurs sont comprises entre 1990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 2056 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure26). Ces résultats indiquent une forte minéralisation dans ces eaux, ces valeurs élevées restent conforme à la norme fixée par l'OMS (OMS, 2007) est inférieure à la norme Algérienne qui est 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la réutilisation agricole (JORAD, 2012).

On remarque une diminution de la conductivité d'eau épurée par rapport à celle de l'eau brute qui est due à la sédimentation des éléments minéraux.

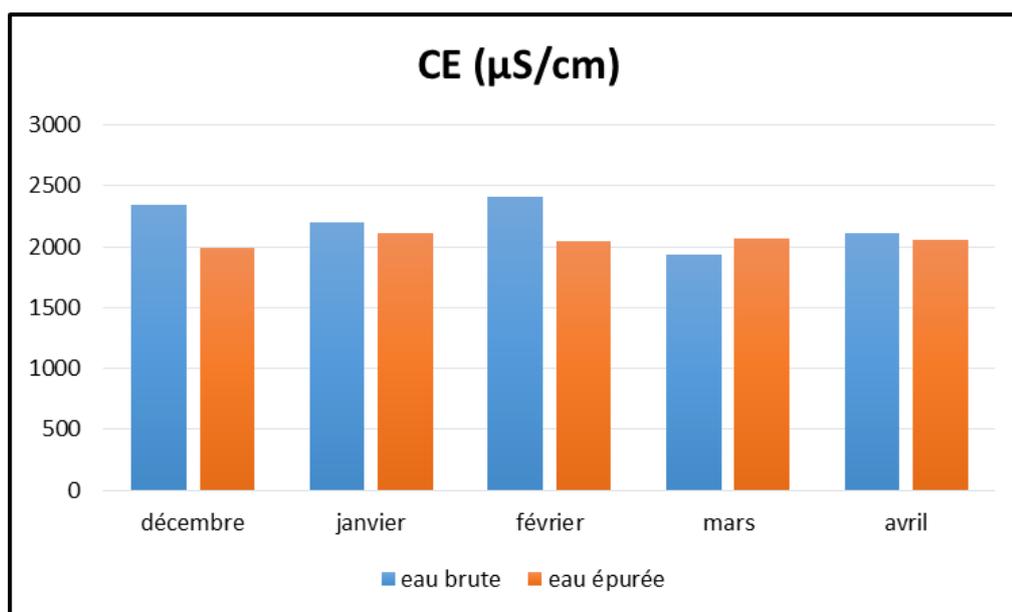


Figure26: variations des valeurs de la conductivité de l'eau usée et épurée

1-4 Matière en suspension (MES)

La matière en suspension est la pollution particulaire due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau (**Rejsek, 2002**).

Selon la **FAO (2003)**, la présence de matière en suspension dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation.

Les valeurs enregistrées révèlent un abattement important de MES entre les eaux brutes et traitées (figure27). Elles se situent entre 246 mg/l et 329 mg/l avec une moyenne de 286 mg/l pour les eaux brutes. Pour les eaux épurées, le taux de MES varie entre 12 mg/l et 26 mg/l. Ces faibles valeurs sont dues à la décantation des matières décantables. Elles restent cependant dans les normes de rejet fixé par l'OMS (30 mg/l) et à celle du journal officiel algérien limitée à 35 mg/l (**JORAD, 2012**), ce qui explique une bonne élimination de MES. **ANNEXE 57**

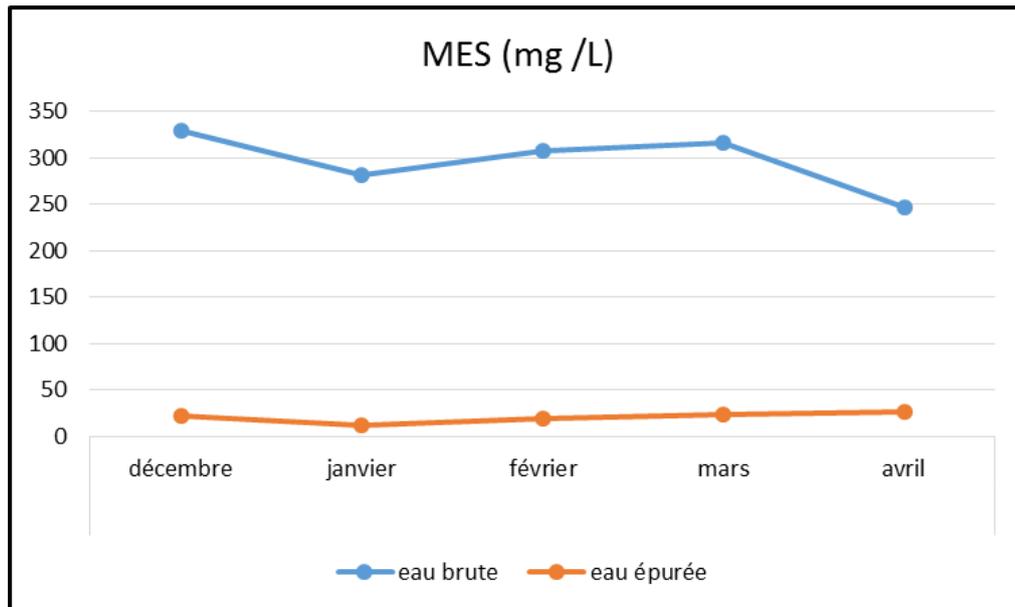


Figure 27: Variation des teneurs en MES de l'eau brute et épurée

1-5 La demande biologique en oxygène (DBO₅)

Ce test constitue un moyen de l'étude des phénomènes naturels de dégradation des matières organiques. Il s'agit de déterminer la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai après une incubation durant 5 jours à 20°C et dans l'obscurité. La DBO₅ est exprimée par mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau (ONA, 2023). Les valeurs de la DBO₅ des eaux brutes enregistrées au sein de la STEP de Saida varient entre 271 et 470 mg/l avec une moyenne de 358 mg/l, pour l'eau épurée ces valeurs oscillent entre 7,1 et 23 mg/l et une moyenne de 13,7 mg/l (figure 28). Les valeurs enregistrées à la sortie de la STEP sont inférieures à la valeur maximale de la norme Algérienne de rejet qui est de 30 mg/l (JORAD, 2012) donc cette eau traitée peut être réutilisée en irrigation par rapport à la DBO₅. ANNEXE 58

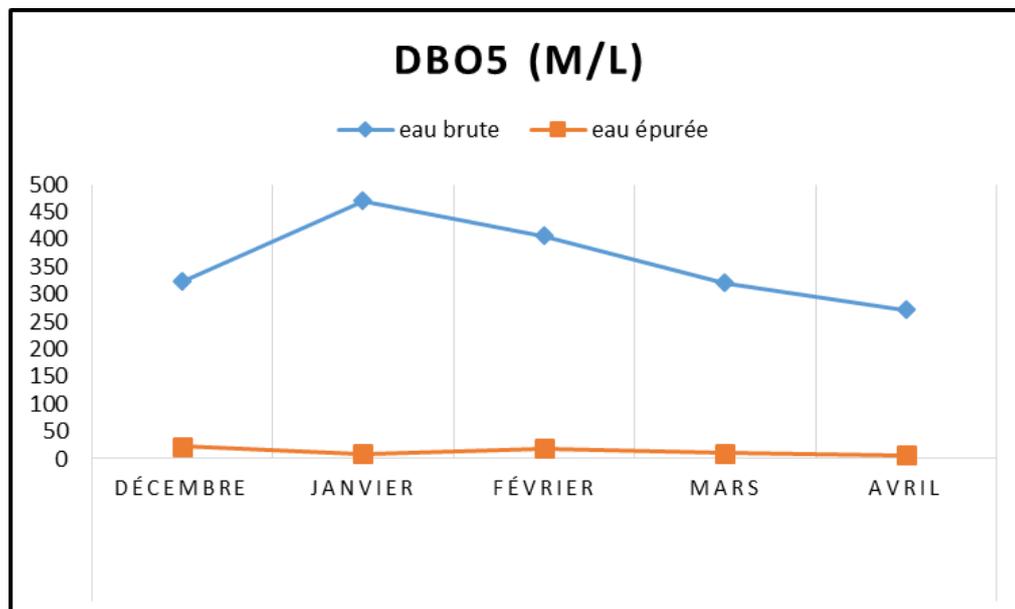


Figure 28 : variations de la DBO5 de l'eau brute et traitée

Les valeurs de la DBO5 enregistrées au niveau de la sortie, indiquent l'efficacité du traitement biologique de la STEP de Saida. Cette réduction de la DBO5 souligne le rôle des bactéries aérobies et micro-organismes épurateurs qui assurent la dégradation et la transformation de la matière organique en utilisant l'oxygène, permettant donc l'élimination de la pollution organique. Au même temps cette diminution témoigne sur le bon fonctionnement de la STEP.

1-6 La Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader par oxydation toutes les matières organiques ou minérales. La DCO donc couvre la pollution biodégradable et non-biodégradable.

Les valeurs de la DCO de l'eau brute oscillent entre 460 et 613 mg/l, avec une moyenne de 587 mg/l (figure 29). Concernant l'effluent traité, les valeurs enregistrées varient entre 31 et 55 mg/l avec une moyenne de 46 mg/l. ce qui signifie que le traitement effectué sur l'eau brute est très acceptable et conforme à la norme de rejet qui est de 90 mg/l (OMS, 2004) et 120 mg/l par rapport à la norme algérienne de rejet (JORAD, 2012). ANNEXE 59

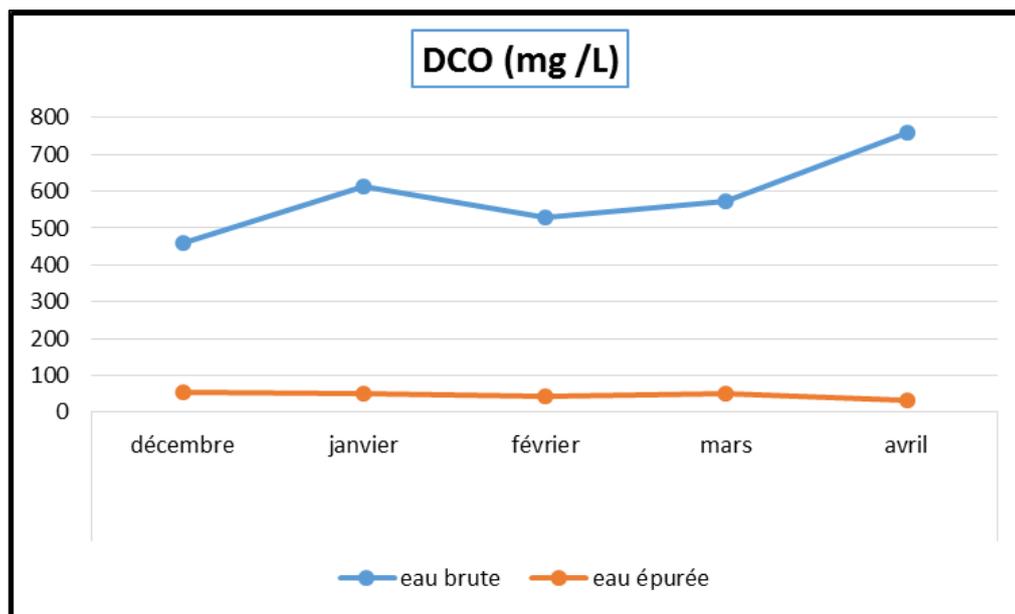


Figure 29 : variations de la DCO de l'eau brute et traitée

1-7 Oxygène dissous (O₂)

Les variations de la teneur en oxygène peuvent être liées à la présence d'algues, de matières organiques, d'organismes et de germes aérobie. la solubilité de l'oxygène dépendant de la température et de même de la pression atmosphérique (Rodier, 2009). L'oxygène dissous est un paramètre très important dans la dégradation de la matière organique.

La figure 30 montre que les teneurs de l'oxygène dissous dans les eaux épurées sont nettement supérieures à celles des eaux brutes (une moyenne de 0,11 mg/l pour les eaux brutes et 2,44 mg/l les eaux épurées). L'augmentation de l'oxygène dissous indique le bon fonctionnement du procédé et que les bactéries épuratrices trouvent un milieu bien aéré et favorable pour leur croissance, ce qui conduit à une bonne épuration biologique des eaux usées.

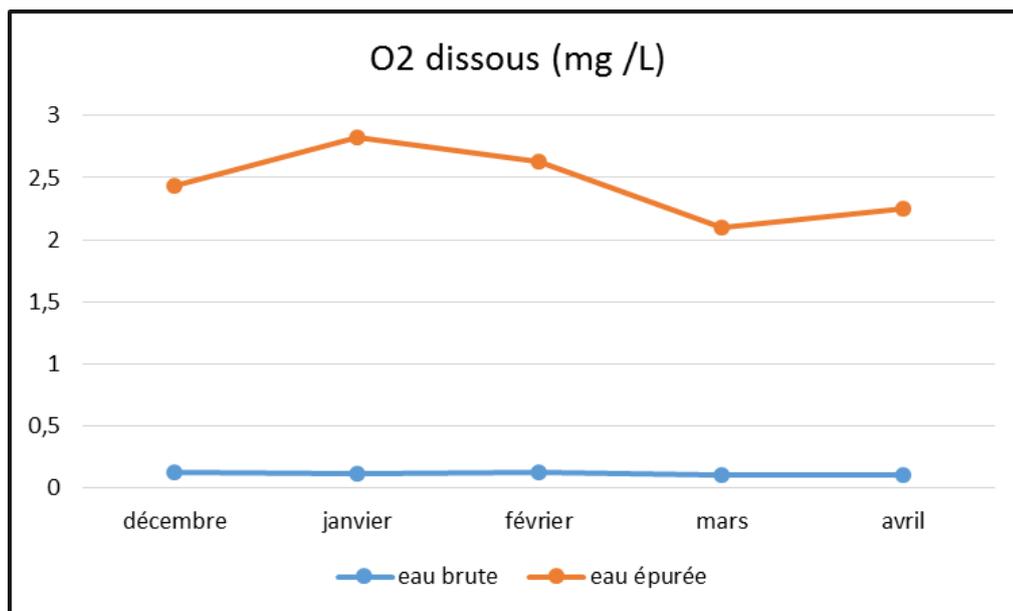


Figure 30 : variations des taux d'oxygène dissous dans les eaux brutes et épurées de la STEP

1-8 Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

La figure ci-dessous (figure 31), montre que les teneurs en nitrites sont inférieures à la norme de l'OMS (2004) qui est de 1 mg/l et la norme algérienne. La moyenne enregistrée est de 0.07 mg/l pour l'eau brute et 0.69 mg/l pour l'eau épurée. nos résultats indiquent une augmentation des nitrates dans l'eau traitée, ceci peut être expliqué par le phénomène de la nitrification due à un surplus d'aération au niveau des bassins d'aération.

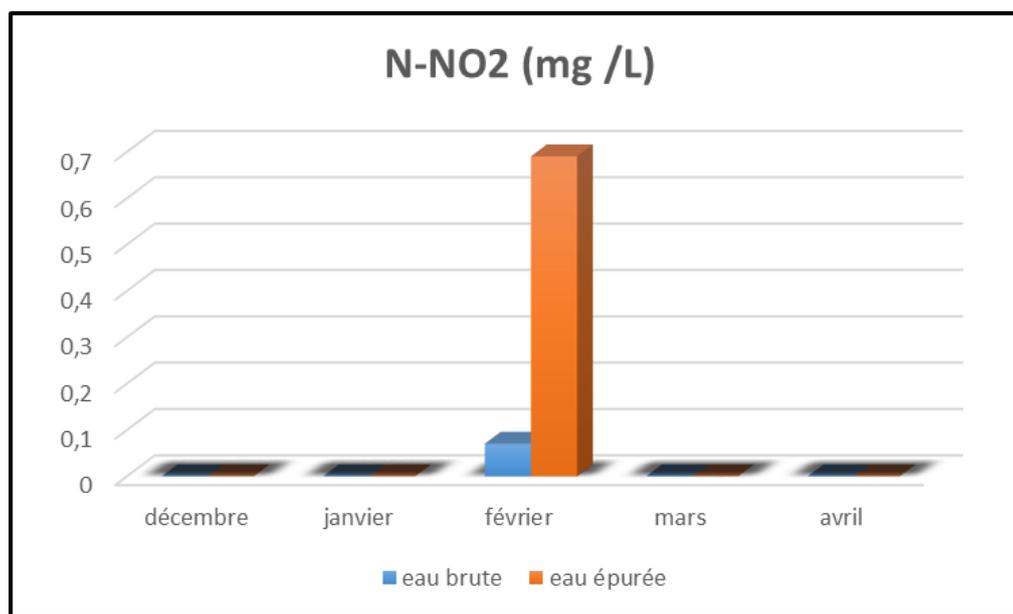


Figure 31 : variations des teneurs en nitrites à l'entrée et la sortie de la STEP

1-9 Les nitrates (NO^3)

Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. L'augmentation de la teneur en nitrate dans les eaux usées est liée à la nitrification, ce qui signifie la transformation des nitrites en nitrates par les Nitrobacter.

La moyenne de la teneur en nitrates durant les deux mois de janvier et février reste comparable entre les valeurs de l'eau brute et l'eau épurée, pour l'eau brute nous avons enregistré 5,59 mg/l et 5,54 mg/l pour l'eau épurée (figure. 32). Ces résultats restent nettement inférieurs à la norme de fixée par OMS (2004) qui est de 50mg/l. ANNEXE 62

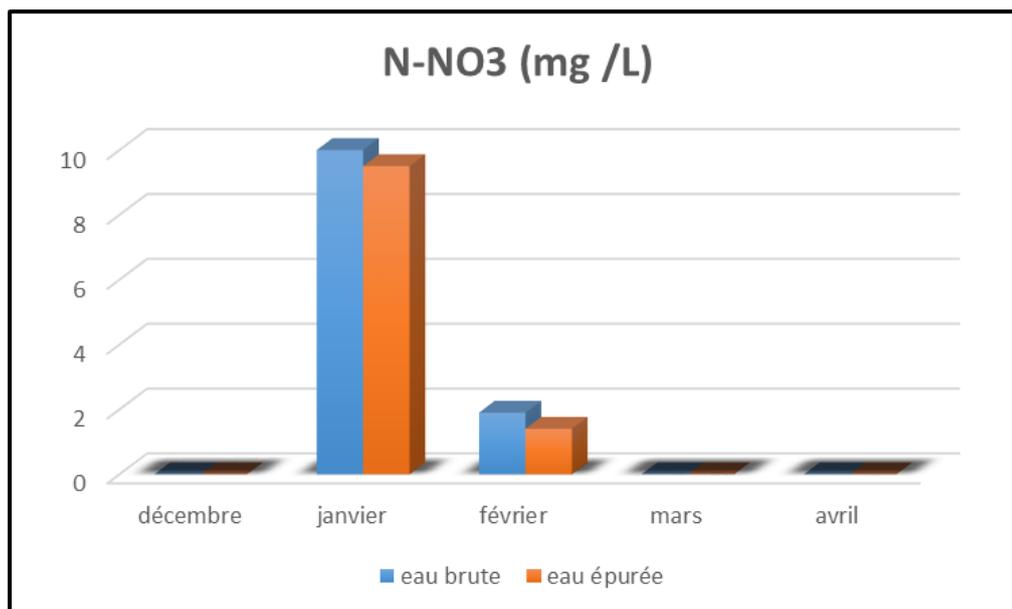


Figure 32 : variations des teneurs en nitrate à l'entrée et la sortie de la STEP

1-10 Ortho phosphates (PO_4^{3-})

Les formes chimiques du phosphore dans les eaux usées sont très variées. Ils peuvent être solubles ou bien particulaires, minérales et organiques.

L'orthophosphate est le composé le plus présent dans la charge totale en phosphate dans les eaux usées. En général, les orthophosphates sont rarement toxiques pour l'homme, les animaux et les poissons. Par ailleurs, ils peuvent favoriser l'eutrophisation lorsqu'ils sont présents en trop grande quantité.

Les valeurs du PO_4^{3-} enregistrés sont 4,6 mg/l pour les eaux brutes et 4,28 pour les eaux épurées (figure. 33). Ces valeurs dépassent les seuils fixés à 2 mg/l pour la réutilisation des eaux traitées. Ceci s'explique par l'arrivée excessive de phosphates dans la station d'épuration, ces valeurs restent élevées du moment qu'il n'y pas de traitement tertiaire.

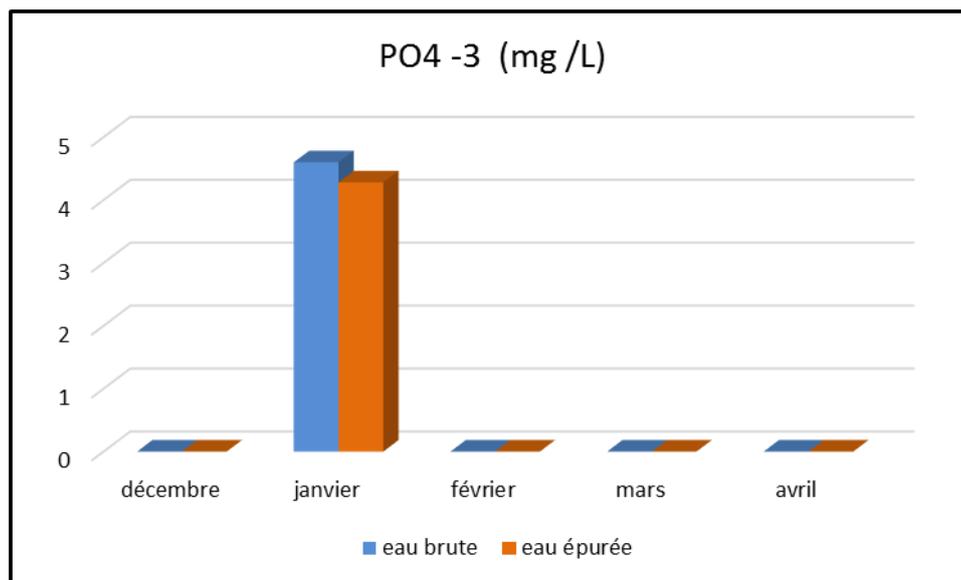


Figure 33 : variations des teneurs en PO₄³⁻ à l'entrée et la sortie de la STEP

2-Résultats des analyses des paramètres bactériologique :

L'importance de cette analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes soit, ce qui est souvent plus aisé, celles qui accompagnent et qui sont en plus grand nombre souvent présentes dans l'intestin des mammifères et sont par leur présence indicatrices d'une contamination fécale (**Rodier et al, 2005**). Cette analyse est importante car la qualité bactériologique d'une eau nécessite des contrôles permanents et représentant la cause la plus fréquente pour la non-conformité de ces eaux pour une réutilisation (**Rodier et al, 2005**).

Le suivi de la qualité bactériologique des eaux consiste en la recherche et au dénombrement des germes suivants : les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF), les streptocoques fécaux (SF), ainsi que les clostridium sulfito-réducteur (CSR).

2-1 Les coliformes totaux :

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae*, correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulés, aéro/anaérobies facultatifs, possèdent des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35- 37C°, ils sont sensibles au chlore. Ils se répartissent en deux catégories : - Les germes thermophiles ; - Les germes psychrophiles (aquatique ou

terrigène). Leur intérêt plus moindre pour déceler une contamination d'origine fécale. Les coliformes comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia*. (Rodier, 2005).

Les résultats obtenus du dénombrement des coliformes totaux à 22°C et à 37°C sont illustrés dans le tableau 05.

Tableau 04: Dénombrement des Coliforme totaux (UFC/100ml) :

Température	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	La charge moyenne
	Temps					
37 c°	24 h	01	04	12	01	04
	48 h	11	07	12	03	8
	72 h	13	08	15	05	10
22c°	24 h	00	00	00	00	00
	48 h	05	10	05	02	5
	72 h	07	22	08	03	10

Les résultats d'analyses bactériologiques des eaux épurées de STEP de Saida révèlent des charge bactériennes qui varient entre 0 UFC/100 et 15 UFC/100ml

Selon Edberg et al (2000), La présence de coliformes totaux dans les eaux traitées ou leur dépassement par rapport aux normes réglementaires n'implique pas nécessairement un risque pour la santé publique, en effet, la plupart des espèces de ce groupes se trouvent naturellement dans le sol ou la végétation mais ils peuvent indirectement associer à une pollution d'origine fécale (Rodier, 2009).

2-2 Les coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de coliformes totaux, l'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles (Debabza, 2005). Un autre test peut fournir les mêmes indications que celles fournies par le dénombrement des coliformes fécaux, c'est le dénombrement des *E. coli* présumés qui correspondent à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, à 44°C. *E. coli*: L'espèce la plus fréquemment associée aux coliformes fécaux est *E. coli* représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermo-tolérants détectés. Selon l'OMS (2004), n'énonce que la présence d'*E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente (Maiga, 2005).

Tableau 05 : Dénombrement des coliformes fécaux (UFC/100ml):

Mois Temps	Janvier	Février	Mars	Avril	La charge moyenne
24 h	93	23	240	04	90
48 h	150	1100	1100	1100	862

Les coliformes fécaux présentent des valeurs oscillent entre 23/100ml et 1100 /100ml avec une valeur moyenne égale à (862 /100ml) dans l'eau épurée. Les valeurs enregistrées dépassent dans la plupart des cas la norme de l'OMS (1000 germes /100ml) (OMS, 1989) pour les eaux destinées à une réutilisation notamment dans le domaine agricole.

2-3 Recherche des streptocoques :

Le terme «streptocoques fécaux» désigne les streptocoques généralement présents dans les fesses de l'homme et des animaux, les streptocoques fécaux se multiplient rarement dans l'eau polluée et leur persistance est supérieure à celle d'*E.coli* et des coliformes (OMS, 2000). Il s'agit de cocci à Gram positif (CGP) de forme sphérique ou ovoïde, se présentant en chaînettes plus ou moins longues, non sporulées aéro-anaérobies facultatives, ne possédant ni catalase ni oxydase, ce sont des hôtes normaux d'homme et ne sont pas considérés comme pathogène (Berne, 1972).

Tableau 06: Dénombrement des streptocoques fécaux (UFC/100ml):

Mois Temps	Janvier	Février	Mars	Avril	La charge moyenne
24 h	240	23	93	23	94.75
48 h	1100	150	240	1100	647.5

Les résultats de la recherche et de dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux épurées révèlent des charges bactériennes qui varient entre 23 germes/100ml à 1100 germes/100ml avec une moyenne 647 germes/100ml.

2-4 Clostridium sulfito-réducteurs :

Ils regroupent des espèces de clostridia telles que *perfringens*, *Clostridium sporogenes*, *Clostridium nooyi*, *Clostridium fallax*..., ils sont ainsi dénommées car ils sont capables de réduire les sulfites (sulfite de sodium, par exemple) présent dans le milieu de culture en sulfure, ceux-ci se combinent avec un sel de fer pour donner du fer noir, les colonies noir entourées d'un halo noir sont caractéristiques des bactéries sulfito-réductrices (Dellaras, 2014). Les Clostridia, bactéries gram positif, anaérobies sporulées comprennent plus de 150 espèces (Bergey's, 2014).

Tableau 07 : Dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs (UFC/100ml):

	Mois Temps	Janvier	Février	Mars	Avril	La charge moyenne
		Tube 01	24 h	03	07	04
	48 h	05	08	04	04	5.25
Tube 02	24 h	07	07	00	00	3.5
	48 h	08	07	02	03	05

La présence de clostridium sulfito-réducteurs dont le nombre varie de 3.5UFC/ml à 5.25UFC/ml

La présence de Clostridium sulfito réducteur témoigne d'une contamination tellurique (Rejsek, 2002), leur action protéolytique est mise en évidence par l'odeur putride qui se dégage des rejets (Oughidni, 2015).

Enfin, les résultats de l'analyse microbiologique des eaux épurées ont montré que l'eau analysée renferme des germes de contamination ou des germes pathogènes. La réutilisation direct de ces eaux épurées sans aucun traitement préalable, entraîne des risques sanitaires ce qui présente un dans danger pour la santé humaine.

conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail, c'est l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux épurées issues de la station d'épuration de la ville de Saida, afin de savoir l'impact de la réutilisation de ces eaux et sa valorisation dans le domaine agricole ou industriel.

Le procédé d'épuration dans station d'épuration de la ville de Saida se base sur un traitement biologique intensif à boue activée. En effet, cette STEP traite une quantité d'eau usée très importante, avec un volume moyen mensuel de 683309 m³d'eau brute, soit un volume de 22170 m³ par jour (ONA, 2023). Les eaux usées brutes entrant à la STEP présentent une pollution organique et bactériologique assez élevée. Les eaux traitées sont rejetées chaque jour hors de cette STEP dans le milieu récepteur qui est Oued Saida, sans d'être exploitées ou valorisées. En revanche, ces volumes d'effluents épurés représentent un gisement important en eau riche en éléments nutritifs, qui, s'ils sont réutilisés raisonnablement auront certainement des impacts très bénéfiques sur le développement de l'agriculture.

Les résultats obtenus révèlent une efficacité de dégradation de la pollution carbonée (MES, DBO₅ et DCO) qui sont conformes aux normes de rejet fixées par l'OMS et la législation Algérienne avec un taux d'abattement de cette pollution de 92 % pour la MES, 96 % pour la DBO₅ et 92 % pour la DCO, cependant la quantité de phosphore mesurée est supérieure à la valeur limite préconisée par l'OMS qui est de 2mg/l.

Concernant la qualité physico-chimique des eaux traitées, ces eaux ne présentent aucun risque quant à une réutilisation en irrigation agricole. Les résultats obtenus répondent également aux normes requises pour leur rejet dans le milieu récepteur naturel sans préjudice sanitaire et donc sans aucune nuisance pour l'environnement.

Les résultats bactériologiques confirment la présence de divers germes indicateurs de contamination fécale et en germes pathogènes tels que les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques fécaux et les clostridium sulfite-réducteurs en nombre important. De ce fait, les eaux analysées ne sont pas de bonne qualité microbiologique et par conséquent, dans la plupart des cas elles ne sont pas conformes aux normes internationales pour être réutilisées directement dans l'agriculture.

Conclusion générale

Pour assurer une meilleure réutilisation des eaux épurées sans risques majeurs et sans impacts négatifs sur l'environnement, il est souhaitable de prendre en considération les recommandations suivantes :

- ✓ une désinfection de ces eaux (une désinfection à l'UV est préconisée) si ces eaux feront l'objet d'une irrigation des cultures des légumes qui vont être consommés crus (cultures maraîchères) ;
- ✓ un suivi régulier de la qualité des eaux épurées en faisant périodiquement des analyses physico-chimiques et biologiques ;
- ✓ suivre l'évolution des paramètres de l'eau rejetée par la station tout le long de son parcours (Oued Saida), afin d'évaluer les conséquences de l'utilisation de ces eaux sur l'irrigation, sur l'environnement et la santé humaine et animale ;
- ✓ respect de la réglementation en vigueur (journal officiel) qui fixe les diverses activités agricoles qui pourraient exploiter les eaux usées traitées non désinfectées (cultures fourragères, céréaliculture, arboriculture, les espaces verts...ect) sans risques sanitaires pour le consommateur des produits agricoles et sans danger pour l'environnement, et les systèmes d'irrigation préconisés ;
- ✓ Enfin, la sensibilisation et l'orientation des agriculteurs sur les intérêts de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation, et aussi les bonnes pratiques de la réutilisation ;

Référence bibliographique

Bibliographie

Ademe,(2005).Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie ,Inventaire des émissions des polluants atmosphériques, France.

(Anonyme, 2011).<http://teteamodeler.ouest-france.fr>

(Anonyme, 2023).<http://www.languefr.net>

Audic et Esser ,(2006). l'épuration :nettoyée pour protéger l'écosystème aquatique.

Bechac et Boutil,(1987).Traitement des eaux usées,2^{ème} édition .

Benfatima et Becharef,(2022).Analyse physico-chimique et microbiologique des eaux dans la station d'épuration de Saida.

Ben Slimane ,(2001). *Contribution a L'étude des eaux résiduaires de la ville de skikda et sa périphérie.Mém.Ing.Eco et Env.Patho.Des écosystemes*. Université d'Annaba 95p.

Berne,(1972). Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière. Édition : Technip. p : 207.

Berne et Cordonier ,(1991). *Traitement des eaux.Ed.Technip .,p306* .

Bergey's, (2014).systematic Bactériology de bergey.

Bontoux ,(1993). *Introduction à l'etude des eaux douces,eaux naturelle,eaux usées de boisson ;qualité et santé 2^{ème} Edition :Lavoisier Technique et documentation*. Paris.

Cardot ,(1999). "Génie de l'environnement ,les traitements de l'eau ,procédés physico-chimiques et biologiques .cours et problèmes résolus".Ed.Ellipse .

Chaib ,(2004). *Bioépuration par lagunage naturel .Bulletin des énergies renouvelables,N°5* .

Bibliographie

Debabza,(2005). Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée : Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes, Université des sciences de Badji-Mokhtar, Annaba(Algérie), 2005.

Degremant,(2005).Mémento technique de l'eau. Tomel .9Eme 6d

Degremont,(1978). *Mémento technique de l'eau ,8^{ème} ED.Technique et Documentation Lavoisier,p1200 .*

Delarras,(2014) : Camille 2014 : Pratique en microbiologie de laboratoire Recherche de bactéries et de levures et moisissures .p: 199-231.

Desjardins ,(1990). *"Le traitement des eaux ,2^{ème} Ed .revue de l'école polytechnique de Montréal" .*

DPSP,(2012).Direction de la Planification des Statistique et des Programmes.

Dr.Rachid Salghi. *Professeur à l'Ecole National des Sciences appliquées d'Agadir.Cour chimie des eaux .*

Edberg et Rice et Karlin et Allen, (2000). Escherichia coli : the best biologicaldrinking water indicator for public health protection. Journal of Applied Microbiology, 88 : 106S-116S .

Edeline,(1998).L'épuration physico-chimique des eaux ,théorie et technologie,4émé édition LAVOISIER,Paris.

FAO. (2003). Food and Agriculture Organisation. L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, 73 p.

Gaid,(1984).*Epuration biologique des eaux usées urbaines .Tome1 .* OPU, Alger,.

GLEESON et GRAY,(1997). The coliform index and waterborne disease problems of microbial drinking water assessment. E & FN Spoon, London, 194p.

Bibliographie

Grosclaude ,(1999). *L'eau usage et polluant ,Tome II* . 4^{ème} Edition:INRAparis.

Hamadani,(2002).Caractérisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière:aspects microbiologique et physico-chimiques .Thèse de l'université Chouaib Doukkali ,Eljadida ,Maroc.

Hazourli et Boudiba et Ziati, (2007). Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'el-hadjar, Annaba, Larhyss Journal, n° 06, pp 45-55.

Jorad,(2012).Journal Officiel de la République Algérienne,Annexe, Spécifications des eaux Usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. N° 41, 18-21p.

Koller,(2004).*Traitement des pollutions industrielles ,eau,air,déchets,sols,boues.Ed.DUNOD,p424* .

Maiga,(2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako, Bamako, Mali p77.

Memento, (1989). *Technique de l'eau ,tom II.Neuvieme Ed,Cinquantenaire* .

Mezhoud,(2019).L'efficacité des filtration plantés devmacrophytes dans la dépollution des eaux usées urbaines dans la dépollution des eaux usées urbaines dans les zones semi-aride-cas de Biskra.

Nani et Touil,(2021).la réutilisation des eaux usées en agriculture à partire de la station d'épuration (STEP03).wilaya de'EL-Oued.

Noureddine,(2017).Contribution a la reduction du Cr(VI) par voie biologique. Effet de l'azote et du carbone.

Olivier ,(1995). *Méetrologie des eaux résiduaires* .

OMS,(1979). *Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones cotières à usage récréatif et des zones conchylicoles* . Bureau régional de l'OMS pour l'Europe ,Copenhague.

Bibliographie

OMS ,(1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.

OMS,(2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson 2^{ème} édition. Volume 2 critères d'hygiène et documentation à l'appui. Genève. p : 353.

OMS,(2004).Directives de qualité pour l'eau de besoin .3^{ème} édition vol1

OMS, (2007). Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées.

ONA,(2023).Unité de Saida .

ONM,(2018).Les donnée climatiques de la station météorologique de Rabahia .

Oughidni,(2015).Contribution à l'étude physico-chimique et bactériologique de l'eau des zones humides urbaines de la wilaya d'Annaba: cas de marais de boussedra.

Rejsek ,(2002). *Analyse des eaux,Aspects Réglementaire Et Techniques* . Centre régional de documentation pédagogique. France .

Rejsek,(2002). Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France. 358 p.

Rodier ,(2005). *Analyse de l'eau:Eaux naturelles ,Eaux résiduaires ,Eau de mer.*8^{ème} Ed. Dunod,Paris(France).

Rodier,(2009), L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème}édition, Dunod , Paris.

Rodier et Bazin et Broutin et Cham bon et Cham Psaur et Rodi, (2005).*L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats.* Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

Rodrigue et Garcia, (2004). *Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux :applications spécifiques* .Thèse de doctorat . L'institut national des sciences appliquées de Toulouse .Université de Toulouse , France.

Bibliographie

Satin et Selmi ,(1999). *Guide technique de l'assainissement* ,2^{ème} édition .Ed.LE MONITEUR,Paris,p680 .

Tfyeche,(2014).Suivi de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux usées d'Ourgla au cours de leurs traitement ,MFE(universite KASDI MERBAH OURGLA)

Thomas,(1995).Métrologie des eaux résiduaires. Ed. Cebedoc. Tec. et Doc. Lavoisier, 192 p.

Valiron,(1983).*La réutilisation des eaux usées* .Ed.Technique et Documentation Lavoisier ,p207 .

Vilagines ,(2003). *Eau,environnement et santé publique* .Lavoisier(Editeur),Paris .*Recommandations pour la surveillance sanitaire zones cotières à usage récréatif et des zones conchylicoles.* Bureau régionale de l'OMS pour l'Europe , Copenhague,p168.

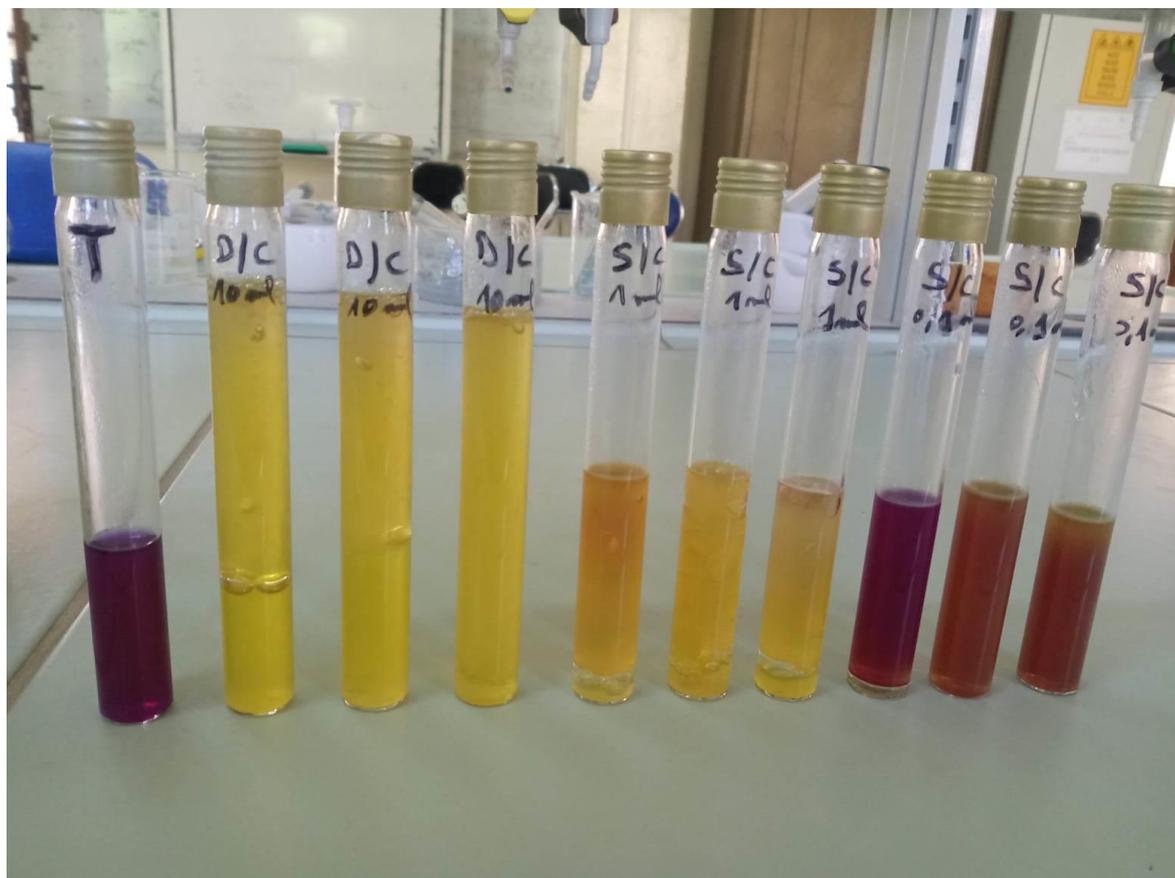
Zeghoud,(2014).Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, mémoire de fin d'étude de master en hydraulique université d'EL-Oued.

ANNEXE

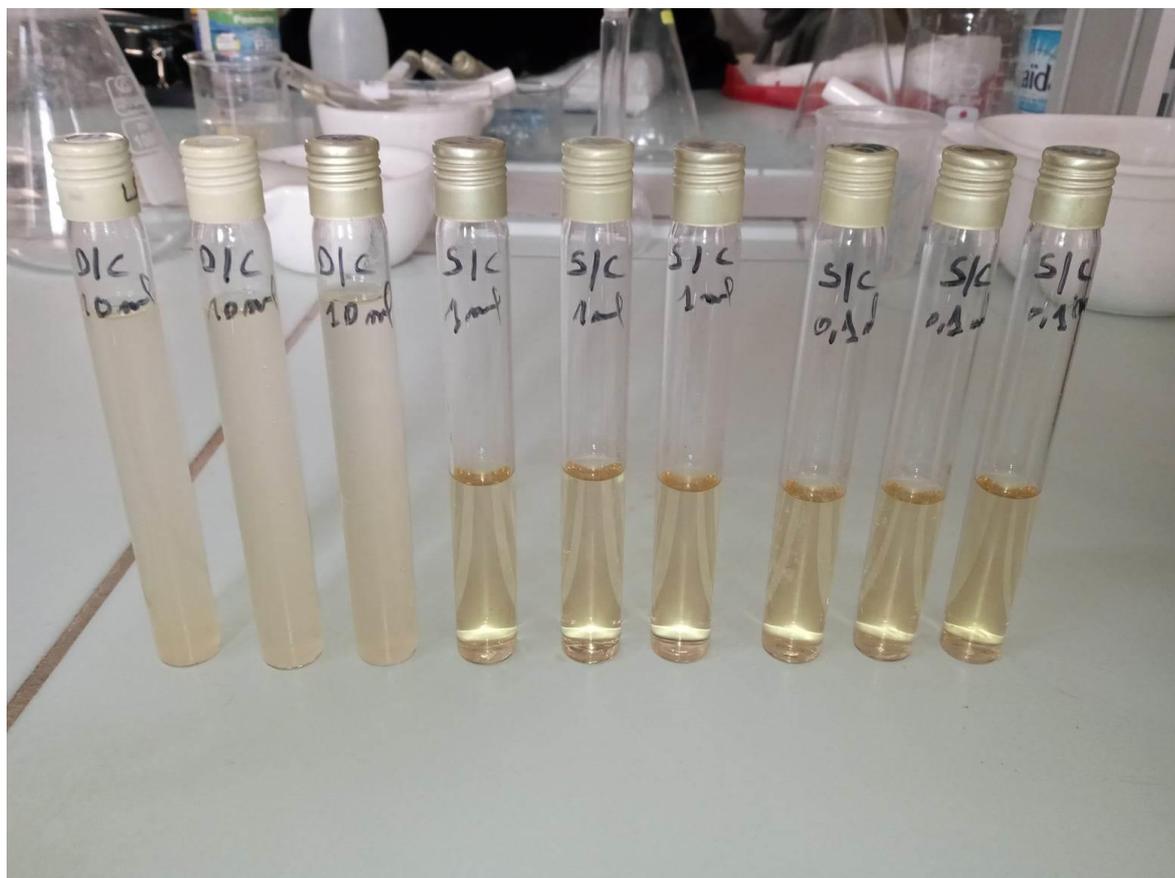
ANNEXE I: Résultats de recherche des germes totaux :



ANNEXE II: Résultats de recherche des coliformes fécaux :



ANNEXEIII: Recherche des streptocoques fécaux :



ANNEXEIV: Recherche des clostridiuims sulfito-réducteurs :



ANNEXEV: table de MAC-GRADY

Tables NPP (d'après la norme ISO 7218 :1996(F))

Tableau 1 - Table NPP pour 3 x 1 g (ml), 3 x 0,1 g (ml) et 3 x 0,01 g (ml).

Nombre de résultats positifs			NPP	Catégorie lorsque le nombre d'essais de mesures est de 1 pour le lot considéré	Limites de confiance			
					>95%	>95%	>99%	>99%
0	0	0	<0,30		0,00	0,94	0,00	1,40
0	0	0	0,30	3	0,01	0,95	0,00	1,40
0	1	0	0,30	2	0,01	1,00	0,00	1,60
0	1	1	0,61	0	0,12	1,70	0,05	2,50
0	2	0	0,62	3	0,12	1,70	0,05	2,50
0	3	0	0,94	0	0,35	3,50	0,18	4,60
1	0	0	0,36	1	0,02	1,70	0,01	2,50
1	0	1	0,72	2	0,12	1,70	0,05	2,50
1	0	2	1,1	0	0,4	3,5	0,2	4,6
1	1	0	0,74	1	0,13	2,00	0,06	2,70
1	1	1	1,1	3	0,4	3,5	0,2	4,6
1	2	0	1,1	2	0,4	3,6	0,2	4,6
1	2	1	1,5	3	0,5	3,8	0,2	5,2
1	3	0	1,6	3	0,5	3,8	0,2	5,2
2	0	0	0,92	1	0,15	3,50	0,07	4,60
2	0	1	1,4	2	0,4	3,5	0,2	4,6
2	0	2	2	0	0,5	3,8	0,2	5,2
2	1	0	1,5	1	0,4	3,8	0,2	5,2
2	1	1	2,0	2	0,5	3,8	0,2	5,2
2	1	2	2,7	0	0,9	9,4	0,5	14,2
2	2	0	2,1	1	0,5	4,0	0,2	5,6
2	2	1	2,8	3	0,9	9,4	0,5	14,2
2	2	2	3,5	0	0,9	9,4	0,5	14,2
2	3	0	2,9	3	0,9	9,4	0,5	14,2
2	3	1	3,6	0	0,9	9,4	0,5	14,2
3	0	0	2,3	1	0,5	9,4	0,3	14,2
3	0	1	3,8	1	0,9	10,4	0,5	15,7
3	0	2	6,4	3	1,6	18,1	1,0	25,0
3	1	0	4,3	1	0,9	18,1	0,5	25,0
3	1	1	7,5	1	1,7	19,9	1,1	27,0
3	1	2	12	3	3	36	2	44
3	1	3	16	0	3	38	2	52
3	2	0	9,3	1	1,8	36,0	1,2	43,0
3	2	1	15	1	3	38	2	52
3	2	2	21	2	3	40	2	56
3	2	3	29	3	9	99	5	152
3	3	0	24	1	44	99	3	152
3	3	1	46	1	9	198	5	283
3	3	2	110	1	20	400	10	570
3	3	3	>110					
autres valeurs			non cité dans la table ISO 7218 : 1996 (F)					

ANNEXEVI : Extrait table de MAC – GRADY

Nombre de tubes positifs			NPP par 100 ml
3 de 10ml	3 de 1 ml	3 de 0.1 ml	
03	0	0	23
03	02	0	93
03	02	01	150
03	03	0	240
03	03	02	1100

2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = o - 3 CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO3 - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.