الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــي والبـــحـــــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Universitéd'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département : Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielles
Spécialité : Sécurité industrielle et environnement (SIE)

Thème

Étude de l'efficacité des traitements des eaux usées sur la réduction des risques sanitaires

Présenté par :

SLIMI Aymene

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
	MCB	IMSI, Université d'Oran 2	**Président**
Mme. Moulessehoul A.	MCA	IMSI, Université d'Oran 2	**Encadrant**
	MCB	IMSI, Université d'Oran 2	**Examinateur**

Année 2024/2025

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à ma mère, pour son amour infini, son soutien sans faille et ses sacrifices constants. Ta force, ta patience et ton courage m'ont guidé à chaque étape de ce parcours.

À Zineb, pour sa bienveillance, son soutien indéfectible et ses conseils précieux. Ta présence m'a été une véritable source de réconfort et d'inspiration.

À la Palestine et à son peuple,
Pour leur résilience, leur dignité et leur lutte exemplaire pour la justice.
Que ce modeste travail soit un témoignage de solidarité.

À toutes celles et ceux qui luttent dans l'ombre,
Pour un monde plus juste, plus libre et plus humain.

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes parents, dont l'amour, le soutien et les sacrifices m'ont permis d'arriver jusqu'ici, et surtout à ma mère.

A Zineb, pour sa tendresse infinie, sa patience inébranlable et sa foi constante en moi. C'est à travers ses encouragements silencieux et son amour inconditionnel que j'ai puisé la force de persévérer dans les moments difficiles.

Je souhaite également remercier chaleureusement l'ensemble de mes enseignants, depuis les bancs de l'école jusqu'à l'université. Chacune et chacun, à sa manière, a contribué à façonner mon parcours et à éveiller en moi la curiosité, le goût de l'effort et la rigueur intellectuelle. Je suis particulièrement reconnaissant envers mes professeurs de l'enseignement supérieur, dont la bienveillance et l'exigence ont été essentielles à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je remercie du fond du cœur mes amis. Leur présence, leurs encouragements, leurs conseils et même leurs silences ont été un soutien précieux tout au long de cette aventure académique. Merci pour les rires partagés, les discussions inspirantes, et pour avoir été là, simplement.

Sommaire

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

Introduction.....1

I. Définition de la pollution.....1

II. Définition des eaux usées.....1

III. Composition et Structure.....1

III /1. Composition chimique.....1

III /2. Composition physique.....2

III /3. Structure géométrique.....3

IV. Origine des eaux usées.....3

IV /1. Eaux usées domestiques.....3

IV /2. Les eaux usées industrielles.....3

IV /3. Les eaux usées agricoles.....4

IV /4. Les eaux pluviales.....4

V. Caractéristiques des eaux usées.....4

V /1. Paramètres physiques.....4

V/1 /1. La température.....4

V/1 /2. Couleur.....5

V/1 /3. Turbidité.....5

V/1 /4. L'odeur.....5

V/1 /5. Les Matières En Suspension (MES).....5

V/1/5 /1. Les matières volatiles en suspension (MVS).....6

V/1/5 /2. Les matières minérales (MMS).....6

V /2. Paramètres chimiques.....6

V/2 /1. La conductivité électrique (CE).....6

V/2 /2. Le Potentiel Hydrogène (pH).....6
V/2 /3. L'oxygène Dissous.....7
V/2 /4. L'alcalinité de l'eau.....7
V/2 /5. La Conductivité.....7
V/2 /6. La demande biologique en Oxygène (DBO).....7
V/2 /7. La demande chimique en oxygène (DCO).....8
V/2 /8. Notion de biodégradabilité.....8
VI. Les éléments nutritifs ou substances eutrophisantes.....9
VI /1. L'azote (N).....9
VI /2. Le phosphore (P).....10
VII. Estimation de rejets d'eaux résiduaires.....10
VII /1. Notion d'équivalent habitant.....10
VII /2 Les Normes de rejet.....10
VII/2 /1. À l'échelle internationale.....10
VII/2 /2. À l'échelle nationale.....11
Conclusion.....12

Chapitre II : Traitement des eaux usées

Introduction.....13
I. La station d'épuration.....13
II. Définition de la réutilisation des eaux usées épurées.....13
III. Différents usages des eaux usées traitées.....14
III /1. Usage agricole et forestier.....14

III /2. Usage industriel.....14
III /3. Usage domestique.....14
III /4. Recharge des nappes.....15
IV. Les procédés de traitement des eaux usées.....15
IV /1. Pré-traitement.....15
IV/1 /1. Le dégrillage.....15
IV/1 /2. Le dessablage.....16
IV/1 /3. Le dégraissage-déshuilage.....16
IV /2. Le traitement primaire.....17
IV/2 /1. La Décantation.....17
IV/2 /2. Coagulation-floculation.....17
IV/2 /3. La Filtration.....17
IV /3. Le traitement secondaire ou biologique.....18
IV/3 /1. Le traitement anaérobie.....19
IV/3 /2. Le traitement aérobie.....19
IV/3/2 /1. Les cultures fixes.....19
IV/3/2/1 /1. Lits bactériens.....19
IV/3/2/1 /2. Disque biologique.....20
IV/3/2 /2. Les cultures libres.....22
IV/3/2/2 /1. Les Boues activées.....22
IV/3/2 /3. Le lagunage.....23
IV/3/2/3 /1. Le lagunage aéré.....23
IV/3/2/3 /2. Le lagunage naturel.....24
IV/3/2 /4. Le traitement teritaire.....25

IV/3/2/4 /1. L'élimination de l'azote.....25
IV/3/2/4/1 /1. La Nitrification.....25
IV/3/2/4/1 /2. La Dénitrification.....26
IV/3/2/4 /2. L'élimination du phosphore.....26
IV/3/2/4 /3. La désinfection.....27
Conclusion.....27

Chapitre III : Description de la STEP

Introduction.....28
I. Présentation de la Station d'épuration d'El Kerma.....28
I /1. Historique.....28
I /2. Objectifs.....28
I /3. Situation géographique.....29
II. Données de base.....29
II /1. Débit d'eau usée.....30
II /2. Charge polluante.....30
III. Description du procès de traitement de la station d'El Kerma.....31
III/ 1. By- pass (déversoirs d'orage).....31
III/ 2. Le dégrillage.....31
III/ 3. Le dessablage et déshuilage.....32
III/ 4. Décantation primaire.....33
III/ 5. Traitement Biologiques.....34
III /6. Décantation secondaire (Clarification).....35

III /7. Désinfection.....36
IV. Description du traitement des boues.....37
IV /1. Recirculation et extraction des boues.....37
IV /2 : Epaississement des boues primaires.....38
IV /3 : Boues en excès (boues secondaires).....39
IV /4 : Digestion anaérobie de la boue.....40
IV /5 : Déshydratation mécanique.....41
IV /6 : Production de gaz.....41
Conclusion.....43

Chapitre IV : Méthodologie et résultats

Introduction.....44
I. L'analyse des paramètres physico-chimiques de la STEP d'El Karma.....45
I /1. L'entrée.....45
I /2. La sortie.....46
II. Méthodologie.....48
II /1. Prélèvement des échantillons d'eaux.....48
II /2. Dosage des phosphates, ammonium et magnésium dans les eaux.....48
II/2 /1. Protocole de dosage des phosphates.....48
II/2/1/ 1. Préparation de la solution mère $\boldsymbol{S0}$.....49
II/2/1/ 2. Préparation de la gamme étalon.....49
II/2/1/ 3. Tracé de la courbe d'étalonnage.....49
II/2/1/ 4. Préparation du réactif.....49

II/2/1/ 5. Détermination de la teneur en phosphate dans les échantillons d'eau.....50
II/2 /2. Protocole du dosage de l'ammonium.....50
II/2/2 /1. Solution mère et courbe d'étalonnage.....50
II/2/2 /2. Solution de tartre.....51
II/2/2 /3. Détermination de la teneur en ammonium dans les échantillons d'eau.....51
II/2 /3. Protocole de dosage du magnésium.....51
II/2/3 /1. Dosage du mélange magnésium, calcium.....51
II/2/3 /2. Elimination du calcium par précipitation.....51
II/2/3 /3. Détermination de la teneur en magnésium des échantillons d'eau.....52
II /3. Détermination de lu pH, conductivité et température.....52
II/3 /1. Résultats.....52
II/3 /2. Discussion.....53
1. Phosphate PO_4^{3-} 54
2. L'azote de l'ion ammoniacal ($N\text{-}NH_4^+$).....54
3. La température.....54
4. Le pH.....54
5. Les matières en suspension (MES).....55
6. La demande biochimique en oxygène (DBO_5).....55
7. La demande chimique en oxygène (DCO).....55
8. Le phosphore total.....56
III. Discussion générale.....56
Conclusion.....57

Liste des figures

Figure I.1 : Composition des eaux usées.....2

Figure II.1 : Schéma du prétraitement.....16

Figure II.2 : Traitement des eaux par floculation-décantation.....18

Figure II.3 : Traitement par le procédé des lits bactériens.....20

Figure II.4 : Traitement par le procédé des disques biologiques.....21

Figure II.5 : Traitement par le procédé de Boue activées.....22

Figure II.6 : schéma de principe d'un lagunage aéré.....24

Figure II.7 : schéma de principe d'un lagunage naturel.....24

Figure III.1 : La situation géographique de la STEP d'El Kerma.....29

Figure III.2 : Dégrilleur fin mécanique.....31

Figure III.3 : Dessableur-Déshuileur.....33

Figure III.4 : Décanteurs primaires.....34

Figure III.5 : Bassin d'aération de la station d'épuration.....35

Figure III.6 : Décanteur secondaire.....36

Figure III.7 : Bassin de désinfection.....37

Figure III.8 : Vis d'Archimède.....38

Figure III.9 : Epaississement primaire.....39

Figure III.10 : Le bassin d'homogénéisation.....40

Figure III.11 : Digesteur anaérobie.....40

Figure III.12 : Gazomètre.....42

Figure IV.1 : virage de la couleur rose au bleu lors du dosage pour la détermination de la teneur en Magnésium.....52

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée.....7

Tableau I.2 : Normes de rejets de l'OMS.....11

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients du traitement primaire.....18

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de traitement biologique par lits bactériens.....20

Tableau II.3 : Avantages et inconvénients de traitement biologique par les disques biologiques.....21

Tableau II.4 : avantages et inconvénients de traitement biologique par boues activées.....23

Tableau II.5 : avantages et inconvénients de traitement biologique par lagunage...25

Tableau III.1 : Les différents débits des eaux usées dans la STEP d'El Karma.....30

Tableau III.2 : La charge massique de différentes paramétrées physico-chimiques.....30

Tableau III.3 : Les dimensions de l'ouvrage dessableur-déshuileur.....32

Tableau III.4 : Les dimensions d'un bassin d'aération.....34

Tableau III.5 : Dimensions de l'épaisseur primaire.....38

Tableau III.6 : Caractéristiques du gazomètre.....42

Tableau IV.1 : Les résultats des analyses des eaux usées au laboratoire à l'entrée de la STEP d'El Kerma.....45

Tableau IV.2 : Les résultats des analyses des eaux usées au laboratoire à la sortie de la STEP d'El Kerma.....46

Tableau IV.3 : Principaux paramètres physicochimiques de l'eau usée.....53

Tableau IV.4 : Résultats de la comparaison des paramètres à l'entrée et sortie de la station de l'échantillon (05/05/2025).....53

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius.

CE : Conductivité Electrique (µs/cm).

DBO_5 : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (mg/l).

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg/l).

MES : Matière En Suspension (mg/l).

MMS : matière minérales sèche (mg/l).

MVS : matières volatiles en suspension (mg/l).

N : Azote organique**.**

NH_4^+ : l'azote ammoniacal (mg/l).

NH_3 : ammoniac (mg/l).

NO_2^- : nitrites (mg/l).

NO_3^- : nitrates (mg/l).

NT : Azote Total.

ONA : Office National d'Assainissement.

pH : potentiel Hydrogène.

PO_4^{3-} : Ortho phosphates (mg/l).

PT : Phosphore Total

T°C : la température

Resumé

Résumé :

Ce travail porte sur l'évaluation de l'efficacité de la station d'épuration d'El Kerma dans le traitement des eaux usées, enjeu crucial face à l'accroissement des rejets domestiques et industriels.

L'étude repose sur une comparaison entre la qualité de l'eau en entrée et en sortie de la station, à travers une série de paramètres physico-chimiques (tels que le pH, la DBO_5, les MES, etc.). Une partie des analyses a été réalisée en laboratoire à partir d'échantillon prélevé à l'entrée de la station, tandis que d'autres résultats ont été obtenus auprès de la station. Cette double approche a permis de confronter les données expérimentales aux résultats officiels, et de comparer notamment les résultats fournies par la afin d'en vérifier la cohérence, et d'évaluer la performance réelle du traitement.

Les résultats obtenues et le constat fait a confirmé l'efficacité des traitements mis en œuvre, attestant du bon rendement global de la station dans la dépollution des eaux usées.

Mots clés : Eau usée – Risque sanitaire- Traitement- Station d'épuration – Dépollution.

Introduction générale

Introduction générale :

Face à l'augmentation des rejets domestiques et industriels, le traitement des eaux usées est devenu un enjeu majeur pour la préservation des ressources naturelles et la protection des écosystèmes aquatiques. Les stations d'épuration jouent un rôle central dans ce dispositif, en assurant la dépollution des eaux avant leur restitution au milieu naturel.

Dans ce contexte, ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'évaluation de l'efficacité d'une station d'épuration. L'objectif est de comparer, à travers différents paramètres physico-chimiques, la qualité de l'eau à l'entrée et à la sortie de la station. Certaines de ces analyses ont été réalisées en laboratoire, à partir d'échantillons prélevés en amont du traitement, tandis que d'autres résultats ont été obtenus directement auprès de la station.

Cette double approche vise à vérifier la performance réelle du processus de traitement, mais également à confronter nos propres résultats expérimentaux à ceux fournis par l'exploitant de la station. L'étude permet ainsi d'apprécier la fiabilité des données et d'évaluer l'efficacité globale du système mis en place.

Ce travail est divisé en 4 chapitres :

Dans **le premier chapitre,** nous aborderons un état de connaissance sur les eaux, la pollution des eaux, son origine et ses conséquences dans l'environnement.

Ensuite **dans le deuxième**, nous présenterons une description des étapes utilisées dans les traitements des stations d'épuration des eaux usées.

Dans **le troisième chapitre,** nous tenterons de présenter la station d'épuration, ainsi que les procédés et les différentes techniques de dépollution qu'elle utilise.

En dernier, **le chapitre final** s'articule autour de l'analyse des résultats obtenus, leur interprétation, puis une discussion sur la conformité du traitement avec les normes environnementales en vigueur.

Chapitre 1

Généralités sur les eaux usées

Introduction :

Les eaux usées représentent une problématique environnementale majeure en Algérie, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation rapide et du développement industriel. Leur gestion efficace est cruciale pour préserver la santé publique et les écosystèmes aquatiques. Ce chapitre explore la définition, l'origine, la composition des eaux usées, ainsi que les différents types de pollution qu'elles engendrent, en se basant sur des études et mémoires réalisés dans le contexte algérien.

I. Définition de la pollution :

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'activité humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes **(RAMADE, 2011)**.

II. Définition des eaux usées :

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent, est l'eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme tout changement défavorable ou nocif des caractéristiques naturelles physico-chimiques ou biologiques, produit directement ou indirectement par les activités humaines domestiques, agricoles et industrielles en plus des eaux de pluies, les rendant impropres à l'utilisation normale établit. **(GUERRAH, 2019)**

III. Composition et Structure :

III /1. Composition chimique :

L'eau est un corps composé, constitué des éléments oxygène et hydrogène. Ces deux éléments existent chacun sous trois formes isotopiques :

$^{1}_{1}H$ (Hydrogène), $^{2}_{1}H$ (Deutérium), $^{3}_{1}H$ (Tritium) une part et $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$ et $^{18}_{8}O$ d'autre part.

Les proportion relatives des isotopes $^{1}_{1}H$, $^{17}_{8}O$ et $^{18}_{8}O$ sont trés faibles. L'eau est donc un mélange de trois molécules H_2O, D_2O et HDO.

H_2O constituant la fraction la plus importante du mélange (> 99.99%).

La proportion d'eau lourde D_2O est de l'ordre de 1/5500 **(SCHWEDT, 1993)**.

III /2. Composition physique :

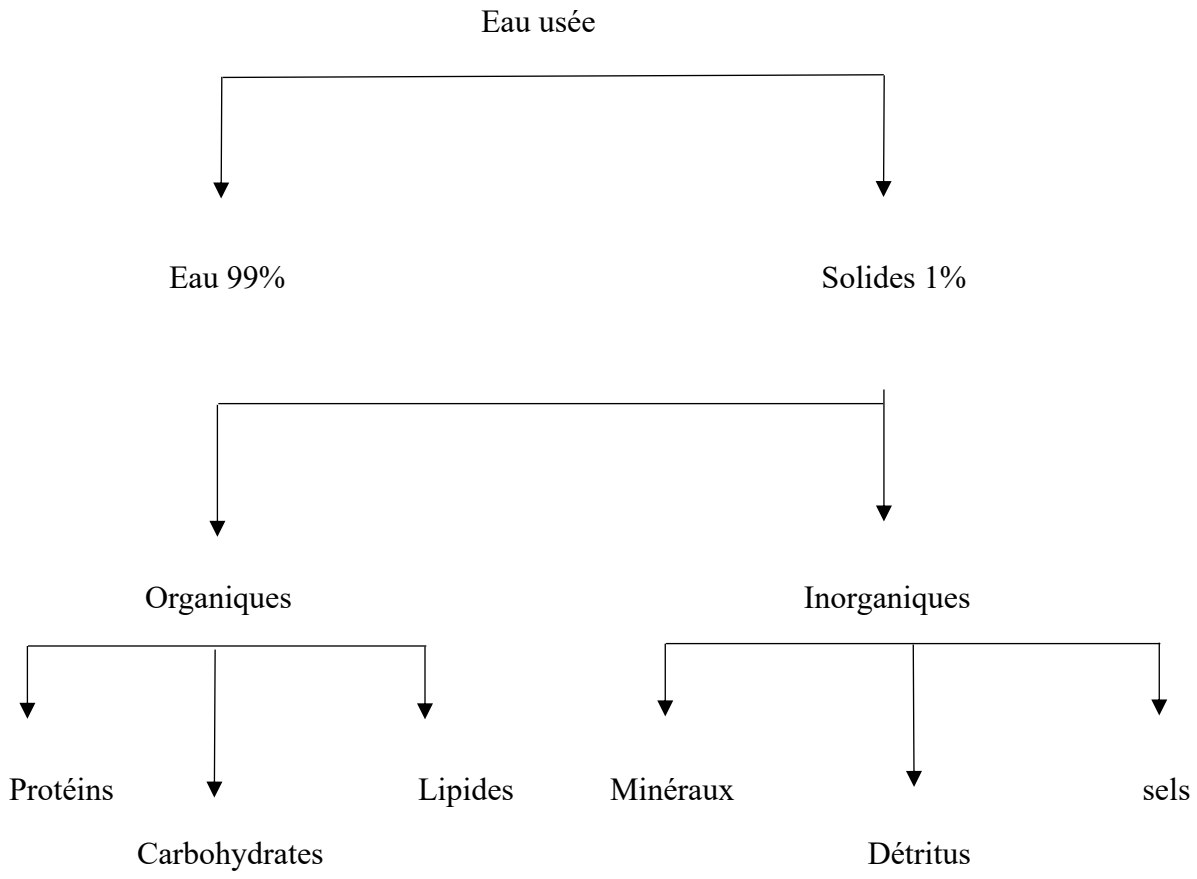

Figure I.1 : Composition des eaux usées **(OUANOUKI, 2014)**.

III /3. Structure géométrique :

- La molécule H-O-H est coudée.
- Angle de valence de 105°.
- Distance internucléaire H-O = 0.958 Â
- La différence d'électronégativité entre l'oxygène et l'hydrogène confère à la molécule d'eau un moment dipolaire $\mu = 1.86$ D (gaz) et $\mu = 2.01$ à 3.0 D (liquide) **(SCHWEDT, 1993)**.

IV. Origine des eaux usées :

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

Ces eaux proviennent de quatre sources principales :

- Les eaux usées domestiques.
- Les eaux industrielles.
- Les eaux agricoles.
- Les eaux pluviales.

IV /1. Les eaux usées domestiques :

Il s'agit des eaux provenant des différents usages domestiques. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires **(MELQUIOT, 2003)**

IV /2. Les eaux usées industrielles :

L'industrie a toujours eu une prépondérante dans la pollution des rivières, des plans d'eau et de la mer, malgré les efforts entrepris pour réduire les volumes de pollution rejetés provenant des usines, l'eau est caractérisée par une grande diversité de composition, suivant sont utilisation, elle contient des matières organiques et graisses (industrie agro-alimentaire), des hydrocarbures (raffineries),

métaux (métallurgie), acide, bases et produits chimiques divers (industries chimique, tanneries), eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques) **(BERRAHMOUN, 2016)**

IV /3. Les eaux usées agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides, Provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par :

¬ De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant : des engrais, des purins et lisiers (élevage) ;

¬ La présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides…) **(GAUJOUS, 1995)**.

IV /4. Les eaux pluviales :

Ce sont les eaux issues des précipitations qui peuvent être une source de pollutions importantes. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air mais aussi de polluants atmosphériques, poussières, détritus, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes lors de son ruissellement (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds…). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit « unitaire », les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques **(METAHRI, 2012)**.

V. Caractéristiques des eaux usées :

Les normes encadrant le rejet des eaux usées définissent des indicateurs de qualité sur les plans physico-chimique et biologique, parmi lesquels on retrouve les paramètres suivants :

V /1. Paramètres physiques :

V/1 /1. La température :

Les effluents, par leur quantité et leur température, ne doivent pas être susceptibles de porter l'eau des égouts à une température supérieure à 30 °C selon le Règlement Sanitaire Départemental. En effet, une température trop élevée peut être dangereuse pour les agents d'exploitation mais peut également dégrader les ouvrages d'assainissement et perturber le fonctionnement de la station d'épuration **(SETER, 2014)**

V/1 /2. Couleur :

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. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité **(RODIER, 2005)**.

V/1 /3. Turbidité :

La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau, elle est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales (argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.). La turbidité des effluents résiduaires et des eaux polluées est en général très élevée. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celuici sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace **(RODIER, 2009)**.

V/1 /4. L'odeur :

C'est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, généralement c'est l'indice de fermentation microbienne **(RODIER, 2009)**.

V/1 /5. Les Matières En Suspension (MES) :

Les Matières En Suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles présentes dans une eau (sables, argiles, matières organiques, débris en tous genres…).

Des teneurs élevées en MES peuvent provoquer la détérioration des ouvrages d'assainissement (obstruction des réseaux par la décantation, abrasion, dégradation des pompes ...). En cas de rejet au milieu naturel, elles peuvent troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau (c'est la turbidité), diminuer l'oxygène dissous et ainsi limiter le développement de la vie aquatique **(SETER, 2014)**.

$$MES = 30\% MMS + 70 \% MVS$$

V/1/5 /1. Les matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne «la perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg⁄l) d'une eau **(METAHRI, 2012)**.

V/1/5 /2. Les matières minérales (MMS) :

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. **(METAHRI, 2012)**.

L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entrainant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène **(DUGUET et al, 2006)**.

V /2. Paramètres chimiques :

V/2 /1. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau **(REJSEK, 2002)**.

V/2 /2. Le Potentiel Hydrogène (pH) :

Le Potentiel Hydrogène, plus connu sous le nom de ''pH'' permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH de l'eau pure à 25°C, qui est égal à 7, a été choisi comme valeur de référence d'un milieu neutre. Le pH mesure l'activité chimique des ions hydrogènes H + en solution. **(Ouanouki, 2014).**

Les eaux en sortie de station d'épuration doivent avoir un pH aux alentours de 7,5 **(SETER, 2014).**

V/2 /3. L'oxygène Dissous :

Il caractérise le degré de pollution d'un cours d'eau. Sa concentration dans l'eau varie en fonction de la température. Sa détermination dans l'eau se fait à l'aide d'un Oxymètre. L'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l d'oxygène dissous **(ALPHA SEDDIKI, 2005)**.

V/2 /4. L'alcalinité de l'eau :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des carbonates (CO3), des hydroxydes (OH) et des Hydrogénocarbonates (HCO3). Sa détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), et le titre alcalimétrique complet (TAC) **(BOUBCHIR, 2004)**.

V/2 /5. La Conductivité :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. **(REJSEK, 2002).**

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m). 1 S/m = 104 µS/cm = 103 mS/m. **(RODIER, 2005).**

Tableau I.1 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée **(REJSEK, 2002).**

Conductivité en $\mu S.cm^{-1}$	Minéralisation de l'eau
< 100	Trés faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
> 1000	Elevée

V/2 /6. La demande biologique en Oxygène (DBO) :

Elle représente la pollution organique et carbonée biodégradable. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène consommée pour la destruction des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours d'incubation, c'est la DBO5. Ce paramètre est utilisé pour établir

un classement qualitatif des eaux et déterminer indirectement la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau **(GROSCLAUDE, 1999).**

V/2 /7. La demande chimique en oxygène (DCO) :

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. **(METAHRI, 2012)**

Elle est exprimée en mg O2/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine **(SUSCHKA. J et FERREIRA. E, 1986).**

Généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines ;

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;

DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante **(METAHRI, 2012)** :

MO = (2 DBO5 + DCO)/3

V/2 /8. Notion de biodégradabilité :

La combinaison des deux paramètres globaux de pollution DCO et DBO5 permet une bonne approche de la biodégradabilité, la DCO représentant la matière organique dans sa globalité et la DBO la seule fraction biodégradable dans des conditions fixées. La DBO5 représente la quantité de matières organiques présente dans l'échantillon et qui se sont dégradées en cinq jours. Si l'on poursuit la biodégradabilité pendant une période plus longue (une vingtaine de jours pour une eau résiduaire urbaine), on aboutit à un palier, qui correspond à la DBO ultime.

Si toute les matières organiques de l'échantillon étaient biodégradables : DBO ultime = DCO.

De nombreuses molécules organiques présentes dans les eaux résiduaires ne sont cependant pas biodégradables ou le sont très lentement : DCO > DBO ultime.

Le rapport DCO/ DBO5 permet de se faire une idée réaliste de la biodégradabilité d'un effluent:

1.5 < DCO/ DBO5 < 2.5 l'effluent est moyennement biodégradable

DCO/ DBO5 > 2.5 l'effluent n'est pas biodégradable **(RODIER, 2009).**

VI. Les éléments nutritifs ou substances eutrophisantes :

Il s'agit principalement de l'azote (N) et de phosphore (P)

VI /1. L'azote (N) :

L'azote des eaux usées provient essentiellement du métabolisme humain (l'azote organique aminé : urée, protéines), il est considéré comme le second polluant des eaux après le carbone et avant le phosphore. On retrouve l'azote dans de nombreux types d'eaux usées sous deux formes : minérale et organique **(OUANOUKI, 2014)**.

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

Pour évaluer l'azote dans les eaux résiduaires et pour suivre son évolution dans les réseaux et lors de l'épuration, il est indispensable de doser ses différentes formes minérales ou inorganiques

- Azote ammoniacal ou N-NH_4^+
- Azote nitreux ou N-NO_2^-
- Azote nitrique ou N-NO_3^-
- Et l'azote organique ou N_{org}

L'Azote global (ou total) est alors défini par **(BERRAHMOUN, 2016)** :

NGL= N_{total} = $N_{organique}$ + $N_{mineral}$ = $N_{organique}$ + N-NH_4^++ N-NO_2^-+ N-NO_3^-.

VI /2. Le phosphore (P) :

Le phosphore total dans les eaux usées domestique est présent sous forme de phosphates selon la distribution suivante :

• **Inorganique** : polyphosphates et orthophosphates, la source majeure est les détergents et le ménagù

• Organique : lié aux composés organiques des origines physiologique.

Le phosphore peut être sous forme solide :

• Phosphore soluble (inorganique) : principalement polyphosphates et orthophosphate ;

• Phosphore particulaire : lié à la matière organique particulaire dans les eaux usées.

L'importance du phosphore peut être récapitulé dans :

- Le phosphore est essentiel pour la croissance des microorganismes responsable de la stabilisation

de la matière organique

- Le phosphore est un nutriment essentiel pour les algues **(SAHNOUN, 2019).**

VII. Estimation de rejets d'eaux résiduaires :

VII /1. Notion d'équivalent habitant :

Il correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES) et 15 g de matières azotes (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP), la concentration des germes et généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml **(KOLLER, 2009).**

VII /2 Les Normes de rejet :

VII/2 /1. À l'échelle internationale :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépassée ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un

paramètre donné Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret loi. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé respective pour les eaux usées **(YAHIATENE, 2010).**

Tableau I.2 : Normes de rejets de l'OMS **(GUERRAH,2019)**

NORMES DE L'OMS		
Température	C°	30
pH		6.5 – 8.5
DBO_5	mg/l	30
DCO	mg/l	90
MES	mg/l	30
Azone totale	mg/l	50
NH_4^+	mg/l	5
NO_2^-	mg/l	10
NO_3^-	mg/l	10
PO_4^+	mg/l	2
Conductivité	µS/cm	2700
Turbidité	NTU	5

VII/2 /2. À l'échelle nationale :

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire **(YAHIATENE, 2010).**

Le Décret exécutif n° 93-160 du IO Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides, définit un rejet comme tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides dans le milieu naturel.

Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006 **(JOURNAL OFFICIEL, 2006)**.

Conclusion :

Ce premier chapitre a permis de poser les bases essentielles pour comprendre la problématique du traitement des eaux usées. Nous avons défini la nature des eaux usées, leurs différentes origines (domestiques, industrielles, pluviales) ainsi que leurs principales caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Ces éléments sont déterminants pour évaluer l'impact environnemental de ces rejets et orienter les choix technologiques en matière d'épuration.

La compréhension des enjeux liés à la pollution de l'eau et à la nécessité de son traitement constitue une étape préalable indispensable pour aborder les procédés de traitement. Ainsi, les chapitres suivants s'attacheront à détailler les différentes méthodes de traitement des eaux usées, en mettant l'accent sur leur efficacité, leurs contraintes, et leur pertinence selon les contextes.

Chapitre 2

Traitement des eaux usées

Introduction :

Le déversement direct des eaux usées dans la nature déséquilibre les écosystèmes aquatiques, transformant les cours d'eau en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut entraîner la disparition complète de la vie aquatique.

L'épuration regroupe différentes techniques visant à purifier l'eau, afin d'atteindre la qualité exigée par la réglementation à partir d'une eau brute.

Il existe une grande diversité de procédés d'épuration des eaux usées, chacun présentant des caractéristiques spécifiques. Ce chapitre a pour objectif de les définir, tout en présentant leur principe de fonctionnement, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

I. La station d'épuration :

C'est une installation généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte dont le rôle peut être résumé dans les points suivants :

¬ Traiter les eaux,

¬ Protéger 1'environnement,

¬Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement.

¬ Protéger la santé publique. **(TALI, 2018)**

II. Définition de la réutilisation des eaux usées épurées :

C'est une technique de récupération des eaux usées après différents traitements destinés à les débarrasser de leurs impuretés afin de permettre à son utilisation à nouveau, c'est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités supplémentaires en eau pour différents usages pour combler les déficits hydriques **(BENZARIA, 2008).**

La réutilisation des eaux usées traitées est une solution partielle à forte demande en eau notamment agricole, particulièrement pour l'irrigation des cultures et des espaces verts **(BENZARIA, 2008).**

III. Différents usages des eaux usées traitées :

La réutilisation de l'eau est essentiellement utilisée pour l'irrigation, mais aussi pour les usages qui ne nécessitent pas de l'eau potable (usages industriels, usages domestiques et autres…**(GUERRAH, 2019)**

III /1. Usage agricole et forestier :

L'intérêt principal de la REUT en culture est plus souvent l'apport de l'eau indispensable aux plantations (zones arides) mais aussi l'apport d'éléments nutritifs **(ABIBSI, 2011).**

La réutilisation des eaux améliore les rendements des cultures et apporte des bénéfices financiers. L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme **(ABIBSI, 2011).**

III /2. Usage industriel :

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique pour certains pays. L'EUT peut être adaptée aux besoins industriels en particulier dans le secteur chimique et para chimique ; Le secteur agro alimentaire ; celui du cuir et du textile ; le secteur des industries mécaniques ; métallurgiques et électroniques. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries **(ABIBSI, 2011).**

La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle, une élimination poussée de la pollution organique est nécessaire et le traitement biologique est suivi d'un traitement de finition **(DEGREMONT, 1989).**

III /3. Usage domestique :

Dans cet usage figurent :

¬ Le recyclage partiel à l'intérieur des immeubles qui consiste le plus souvent à alimenter les chasses de toilette,

¬ L'irrigation des espaces verts dont la gestion incombe le plus souvent à la collectivité,

¬ L'alimentation de plans d'eau récréatifs : cette valorisation s'apparente également à la catégorie du cycle long car souvent les eaux usées traitées viennent s'ajouter à l'eau de plans d'eau existants,

¬ L'alimentation des réseaux municipaux de lavage (rues, marchés, …),

¬ L'arrosage des terrains de golfs **(GUERRAH, 2019)**

III /4. Recharge des nappes :

Le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les EUT dans le sous-sol, On poursuit de la sorte plusieurs objectifs :

¬ La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable,

¬ La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée,

¬ Le stockage des eaux pour une utilisation différée,

¬ L'amélioration du niveau de traitement de l'eau, utilisant de la sorte le pouvoir autoépuration du sol,

¬ Laprotection de l'environnement en évitant de rejeter les effluents dans un cours d'eau ou en mer **(AFD, 2011).**

IV. Les procédés de traitement des eaux usées :

IV /1. Pré-traitement :

En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (déshuilage)qui sont susceptiblesde gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements **(FAO, 2003)**

IV/1 /1. Le dégrillage :

Le dégrillage consiste à retenir les objets trop volumineux et encombrants qui pourraient dégrader les pompes ou obstruer les canalisations. Il existe différents types de dégrillage :

le pré-dégrillage avec des barreaux espacés de 30 à 100 mm,

le dégrillage moyen avec un espacement entre 10 et 30 mm,

le dégrillage fin dont les barreaux sont espacés de moins de 10 mm.

Les dégrilleurs sont habituellement implantés en tête de station **(OUANOUKI, 2014).**

IV/1 /2. Le dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autre particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraine leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage **(BENELMOUAZ, 2015).**

IV/1 /3. Le dégraissage-déshuilage :

Les opérations dégraissage-déshuilage consiste à séparer les huiles et les graisses de l'effluent brut, par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, l'injection des micros bulle d'aire permet d'accélérer la flottation des graisses.

Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales) **(BERRAHMOUN, 2016).**

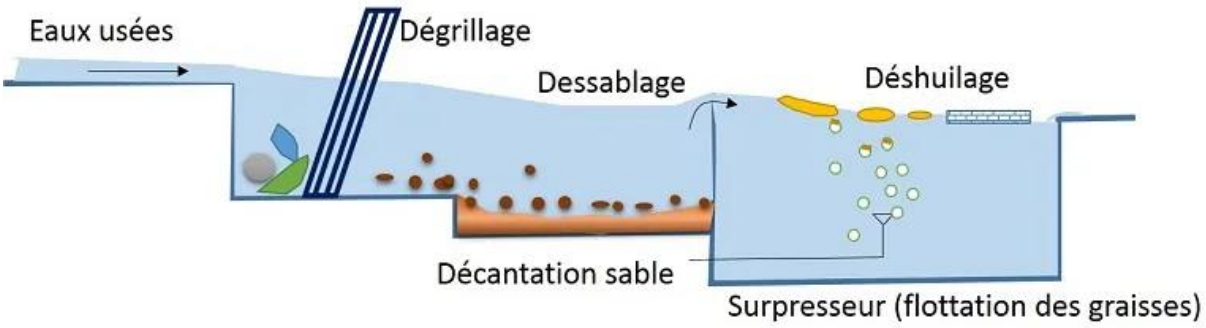

Figure II.1 : Schéma du prétraitement **(LMN, 2025)**

IV /2. Le traitement primaire :

Le traitement primaire fait appel à des procédés physiques, avec filtration et décantation plus ou moins aboutie.

IV/2 /1. La Décantation :

La décantation est un procède qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les stations d'épuration et de traitement des eaux **(DESJARDINS ,1997).**

Elle a pour but d'éliminer les particules en suspension par gravité. La vitesse de décantation est fonction de la vitesse de chute des particules qui elle-même est fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : la grosseur, et la densité, des particules **(VILAGINES, 2003).**

IV/2 /2. Coagulation-floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causée par la présence des particules très petites, dites particules colloïdales, ces particules peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longes périodes, et peuvent même traverser un filtre très fin.

Puisque leur concentration est très stable, ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

La coagulation a pour but principal de déstabiliser ces particules en suspension, et de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques.

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, 1997).**

IV/2 /3. La Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer a travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente. La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de 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 **(BERRAHMOUN, 2016).**

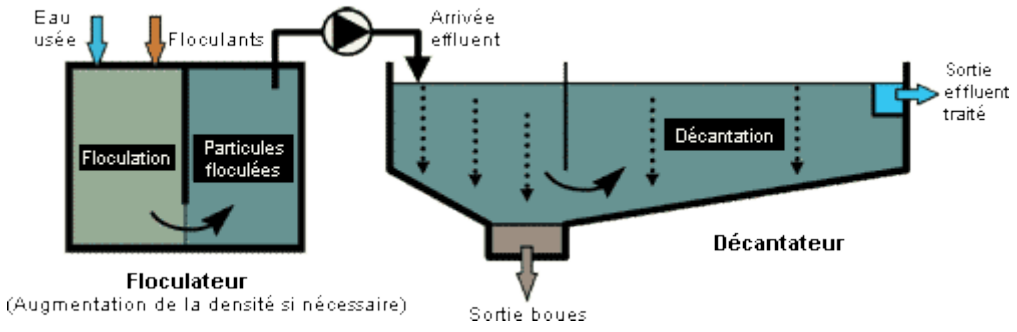

Figure II.2 : Traitement des eaux par floculation-décantation **(CNIDEP, 2025)**

Le tableau qui suit donne les principaux avantages et inconvénients du traitement primaire :

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients du traitement primaire **(TALI, 2018)**

Avantages	Inconvénients
- Bonne élimination des MES et du Phosphore - Adapté aux variations de charges (zone touristique, industriels) - Insensible au non biodégradabilité des effluents	- Coûts d'exploitation élevés (réactifs) - Elimination incomplète de la pollution organique et de l'azote - Plus grande quantité de boues produites

IV /3. Le traitement secondaire ou biologique :

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées, Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires.

Les microorganismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous forme de flocs et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes **(BOUMEDIENE, 2013)**

IV/3 /1. Le traitement anaérobie :

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 en hydrologie. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien **(METAHRI, 2012)**

IV/3 /2. Le traitement aérobie :

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue cinq méthodes essentielles :

IV/3/2 /1. Les cultures fixes :

Cette technologie est la résultante d'un objectif de réduction des volumes dédiés à l'épuration, comme pour les cultures fixées immergées. Il s'agit d'une croissance bactérienne libre dans l'eau, et on chercher à obtenir une croissance agrégée des bactéries sous forme de flocs, conséquence de la dégradation de la matière organique. Dans chaque floc, on trouve plusieurs centaines de bactéries **(CAUCHI, 2011).**

IV/3/2/1 /1. Lits bactériens :

Le principe de ce procédé 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 prés du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gaz **(ABA-AAKI, 2012).**

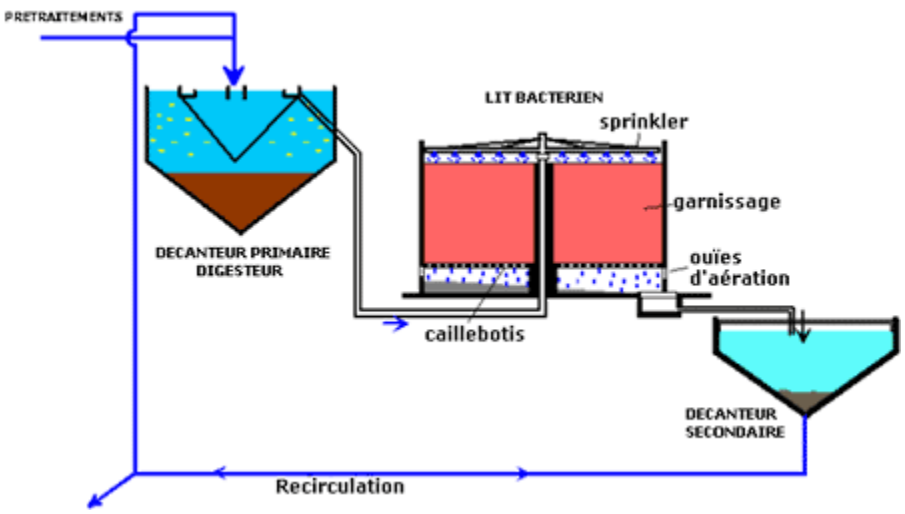

Figure II.3 : Traitement par le procédé des lits bactériens **(EG, 2025).**

Le tableau suivant donne les principaux avantages et inconvénients de traitement biologique par lits bactériens :

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de traitement biologique par lits bactériens **(TALI, 2018)**

Avantages	Inconvénients
- Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiquesque les boues activées. - Faible consommation d'énergie. - Bonne décantabilité des boues. - L'exploitation d'une station à lits bactériens reste très simple.	- Coûts d'investissement assez élevés. - Source de développement d'insectes et d'odeurs. - Sensibilité au colmatage et au froid. - Boues fermentescibles.

IV/3/2/1 /2. Disque biologique :

Sont constitués d'une succession de disques en matière plastique ou moins immergés (40 à 60 %) dans un réservoir à flux continu, tournant à une vitesse d'environ 1 tr/mn et sur lesquels s'est développée la biomasse.

Lors de leur émission, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dés que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le

décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyés par pompage périodique vers le décanteur-digesteur pout y être stockées et digérées.

La fixation sur un support poreux granulaire immergé de la biomasse active permet de combiner à la fois la filtration dans la masse et capacité épuratoire des microorganismes **(OUANOUKI, 2014).**

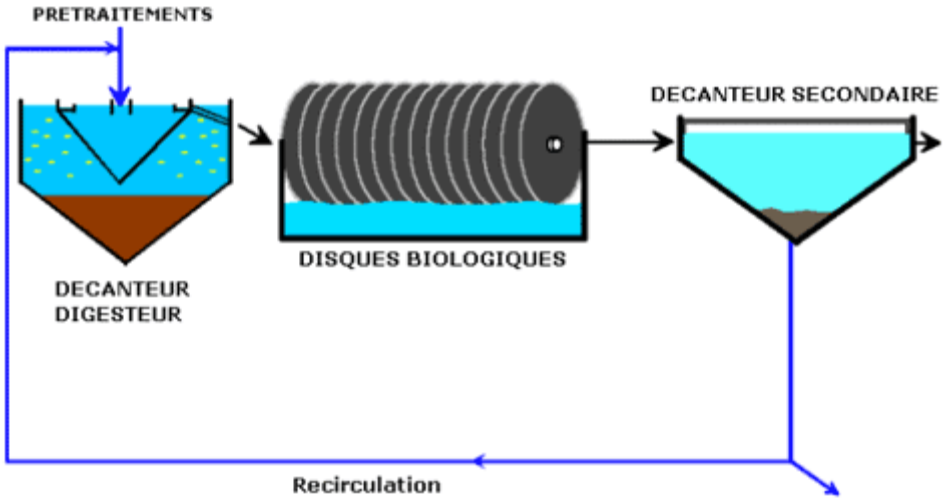

Figure II.4 : Traitement par le procédé des disques biologiques **(EG, 2025).**

Le tableau suivant donne les principaux avantages et inconvénients de traitement biologique par les disques biologiques :

Tableau II.3 : Avantages et inconvénients de traitement biologique par les disques biologiques **(TALI, 2018)**

Avantages	Inconvénients
- Résistance au froid (les disques sont toujours protégés). - L'exploitation de ce procédé est relativement simple ne nécessitant pas de recyclage. - Faible consommation d'énergie	- Très sensibles à la qualité des eaux à traiter. - La sensibilité au gel et aux huiles et graisses. - Coûts d'investissement assez élevés. - Ce procédé pose des problèmes dans la construction

IV/3/2 /2. Les cultures libres :

Où la biomasse est en suspension dans l'eau à traiter. Les microorganismes fixent la pollution et se développent sous forme de flocs biologiques que l'on peut séparer de l'eau traitée par décantation. Les bactéries épuratrices se développent librement dans le bassin d'aération **(TALI, 2018)**

IV/3/2/2 /1. Les Boues activées :

Principe très largement répandu dans l'épuration des eaux usées de plus grand taille, la boue activée est une culture libre dans un bassin aéré, suivi d'un clarificateur assurant la décantation des boues biologiques produites fans le bassin d'aération. Pour maintenir une biomasse en quantité adaptée à la charge organique (polluante) des eaux usées alimentant l'installation, une recirculation des boues (recirculation des bactéries-biomasse épuratrices) est réalisée **(CAUCHI, 2011).**

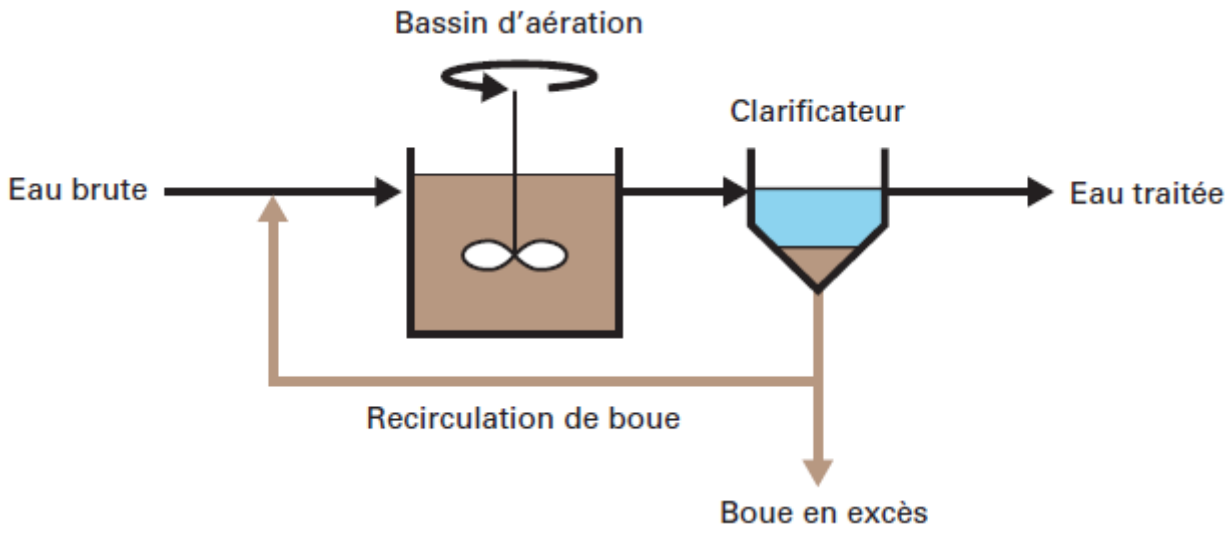

Figure II.5 : Traitement par le procédé de Boue activées **(SUEZ, 2025).**

Le tableau Suivant donne les principaux avantages et inconvénients de traitement biologique par boues activées :

Tableau II.4 : avantages et inconvénients de traitement biologique par boues activées **(TALI, 2018)**

Avantages	Inconvénients
- adaptée pour toute taille de collectivité(sauf les très petites) - bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution - adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles - boues légèrement stabilisées	- coûts d'investissement assez importants - consommation énergétique importante - nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière

IV/3/2 /3. Le lagunage :

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux **(BOEGLIN, 1998)**

IV/3/2/3 /1. Le lagunage aéré :

Le lagunage aéré est un procédé de traitement biologique principalement aérobie, en cultures libres qui se différencie des boues activées par l'absence de recirculation de la culture bactérienne séparée par décantation avant rejet des eaux traitées **(JOSEP, 2002)**

Il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs d'air), on réduit les volumes nécessaires et on peut accroître la profondeur de la lagune. La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel **(ALEXANDRE et Al, 2019)**

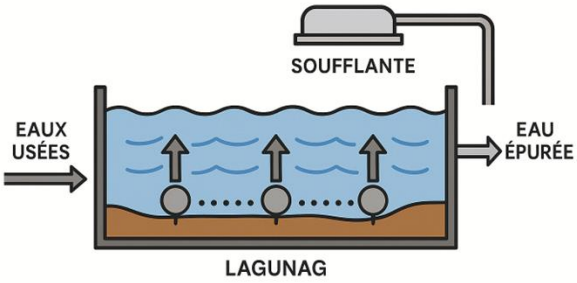

Figure II.6 : schéma de principe d'un lagunage aéré **(OAI, 2025).**

IV/3/2/3 /2. Le lagunage naturel :

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est 3..La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies, Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique **(TALI,2018).**

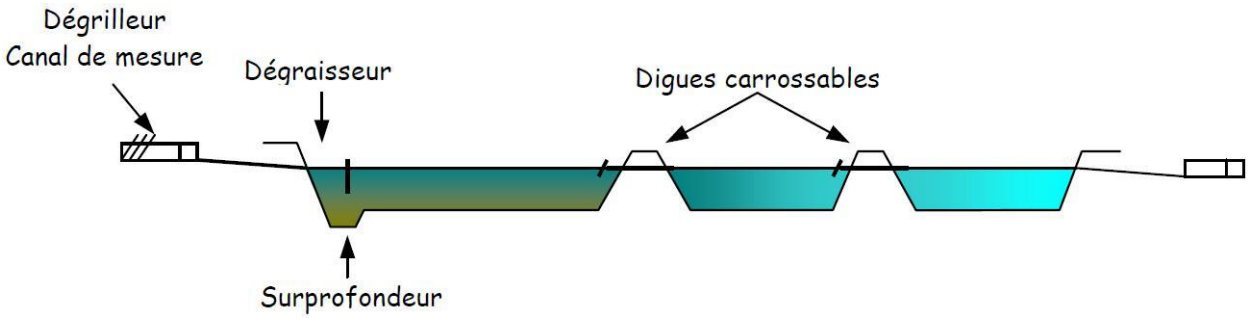

Figure II.7 : schéma de principe d'un lagunage naturel **(HQE, 2025).**

Le tableau Suivant donne les principaux Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage :

Tableau II.5 : avantages et inconvénients de traitement biologique par lagunage **(TALI, 2018)**

Avantages	**Inconvénients**
- Fiabilité et facilité d'exploitation Bonne adaptation aux à - coups des flux polluants - Investissement modéré si l'on dispose de surfaces en terrains importantes dont la nature, la structure et la topographie sont adaptées - Coût d'exploitation limité et ne nécessite pas la qualification du personnel	- Nécessité de surfaces importantes en terrains. - Contraintes de sous-sol : terrains imperméables (protection de la nappe). - Risques de prolifération de moustiques et d'odeurs (pour les bassins anaérobies). - Curage périodique indispensable.

IV/3/2 /4. Le traitement teritaire :

Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination d'azote, de phosphore ou des germes pathogènes, qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires **(GAID, 2007)**

IV/3/2/4 /1. L'élimination de l'azote :

Les stations d'épuration prévues pour éliminer les matières carbonées n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place. **(EDLINE, 1996)**

Les eaux résiduaires contiennent différents composés azotés : protéines, urée et produits de décomposition ainsi que de l'azote sous forme minérale. Son élimination biologique se réalise en deux étapes qui sont chronologiquement la nitrification et la dénitrification. **(TALI, 2018)**

IV/3/2/4/1 /1. La Nitrification :

C'est oxydation biologique de l'azote ammoniacal en nitrate. Elle se fait en deux phases sous l'action de micro-organismes autotrophes qui utilisent l'énergie de la réaction pour réduire le CO_2 et ainsi incorporer le carbone. **(DHAOUADI, 2008)**

1. Nitrosation : ou l'ammoniac est d'abord converti en nitrite (NH_3) par des bactéries nitreuses aérobies (Nitrosomonas) :
   $NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2^- + 3H^+ + 2e^-$
2. Nitration :Les nitrites sont ensuite oxydésen nitrates par les bactéries nitrifiantes aérobies (Nitrobacter) :
   $$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$$ **(TALI, 2018)**

IV/3/2/4/1 /2. La Dénitrification :

C'est le processus de réduction de l'azote nitrique à un degré d'oxydation plus faible. Certains micro-organismes, généralement hétérotrophes, sont en fait capables, en période d'anoxie, d'utiliser les ions nitrites et nitrates au lieu de l'oxygène dissous dans leur chaîne respiratoire et donc de réaliser cette transformation de l'azote nitrique. On estime que 25 à 40 % de la biomasse d'une boue activée est dénitrifiant facultative **(DHAOUADI, 2008).**

IV/3/2/4 /2. L'élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore des eaux usées peut être réalisée par des procédés physiques, chimiques et biologiques. La déphosphatation biologique en procédé de boues activées modifié permet d'accumuler le phosphore en excès des besoins métabolique de croissance sans ajout de coagulant. **(JIEE, 1997)**.

La déphosphatation biologique peut atteindre des rendements de 60 à 70 %, mais doit aussi souvent être suive d'un traitement chimique. Ainsi, la déphosphatation chimique paraît incontournable, soit en complément d'un traitement biologique, soit comme unique traitement de déphosphatation. **(BERRAHMOUN, 2016)**

Le traitement chimique consiste à ajouter le plus souvent des sels métalliques (fer ou aluminium), et plus rarement de la chaux, cet ajout peut être réalisé dans le réacteur biologique ou dans une unité de traitement tertiaire. Le traitement chimiques est fiable et permet d'atteindre des rendements d'élimination supérieurs à 85 % et des concentrations en phosphore total de 1 à 2 mg/ l **(BELHANI, 2008).**

IV/3/2/4 /3. La désinfection :

Elle est nécessaire lorsque les eaux usées traitées sont rejetées sans un milieu aquatique à usage balnéaire (plages, zones d'activités nautiques ou touristiques) ou pour diminuer le risque de contamination humain (prise d'eau potable, conchyliculture). Pour éliminer les germes pathogènes, les techniques classiques sont utilisées : chloration, ozonation, chaleur, irradiation par rayonnement ultraviolet (UV), filtration sur membranes ou d'agents chimiques qui agissent sur la cellule en induisant des composés toxiques ou modifications conduisant à la mort des germes pathogènes. **(BERRAHMOUN, 2016)**

Les agents chimiques tels que kMnO4, H2O2, O3 provoquent une oxydation pure et simple de la cellule. Le désinfectant idéal doit être un germicide puissant et à action rapide mais présentant une faible toxicité vis-à-vis des formes vivantes plus évoluées et une faible affinité pour les constituants chimiques de l'eau. De nos jours, la désinfection est généralement réalisée par le chlore ou l'ozone **(OUANOUKI, 2014)**

Conclusion :

Du prétraitement au traitement tertiaire, chaque procédé joue un rôle crucial dans la réduction des polluants afin de préserver la santé publique et l'environnement. Le choix des méthodes dépend des caractéristiques des effluents et des objectifs de qualité. Cette base technique nous permet désormais d'aborder les enjeux liés à l'efficacité, la durabilité et l'optimisation des systèmes de traitement.

Chapitre 3

Description de la STEP

Introduction :

La station d'épuration d'El Kerma, située dans la wilaya d'Oran, joue un rôle clé dans le traitement des eaux usées de plusieurs communes environnantes. Mise en service en 2009, elle constitue l'une des plus grandes installations de ce type en Algérie, avec une capacité de traitement élevée. Elle permet de limiter la pollution des milieux naturels tout en offrant des possibilités de réutilisation des eaux traitées, notamment en agriculture.

Ce chapitre présente les principales caractéristiques de la station, son fonctionnement et les enjeux liés à sa gestion.

I. Présentation de la Station d'épuration d'El Kerma :

I /1. Historique :

La plus grande station d'épuration des eaux usées d'Algérie, qui produit des engrais destinés à l'agriculture et du gaz pour la production de sa propre énergie électrique, était opérationnelle depuis 2009 dans la wilaya d'Oran. Implanté à El Karma, une localité située à l'est de la ville d'Oran, cette station est d'une capacité de traitement de 350 000 m^3/jour. Elle peut prendre en charge les besoins d'épuration des eaux usées d'une population d'environ 1,5 million d'habitants. Sa gestion était confiée à une entreprise autrichienne pendant deux ans.

Pendant la période d'étude, une entreprise espagnole (SIOR) a pris le relais avec un personnel algérien qui est formé à un équipement hautement sophistiqué.

I /2. Objectifs :

La réalisation de la station d'épuration d'El Karma répond au double objectif de l'élimination des eaux usées de toute la wilaya d'Oran et de la protection des nappes phréatiques de la région. Les eaux usées qui sont dépolluées à hauteur de 90% seront réutilisées en partie dans l'irrigation de 10 000 ha du périmètre agricole de Tlellat

I /3. Situation géographique :

La station d'épuration des eaux usées est implantée dans la localité d'EL kerma située au Sud-est de la ville d'Oran et à 4 km de l'aéroport Ahmed Ben Bella, en bordure Nord-est de la grande Sebkha entre la voie ferrée et la route nationale dans la commune d'EL Kerma. La station d'épuration est prévue pour les eaux usées du groupement urbain d'Oran qui sont à prépondérance domestique.

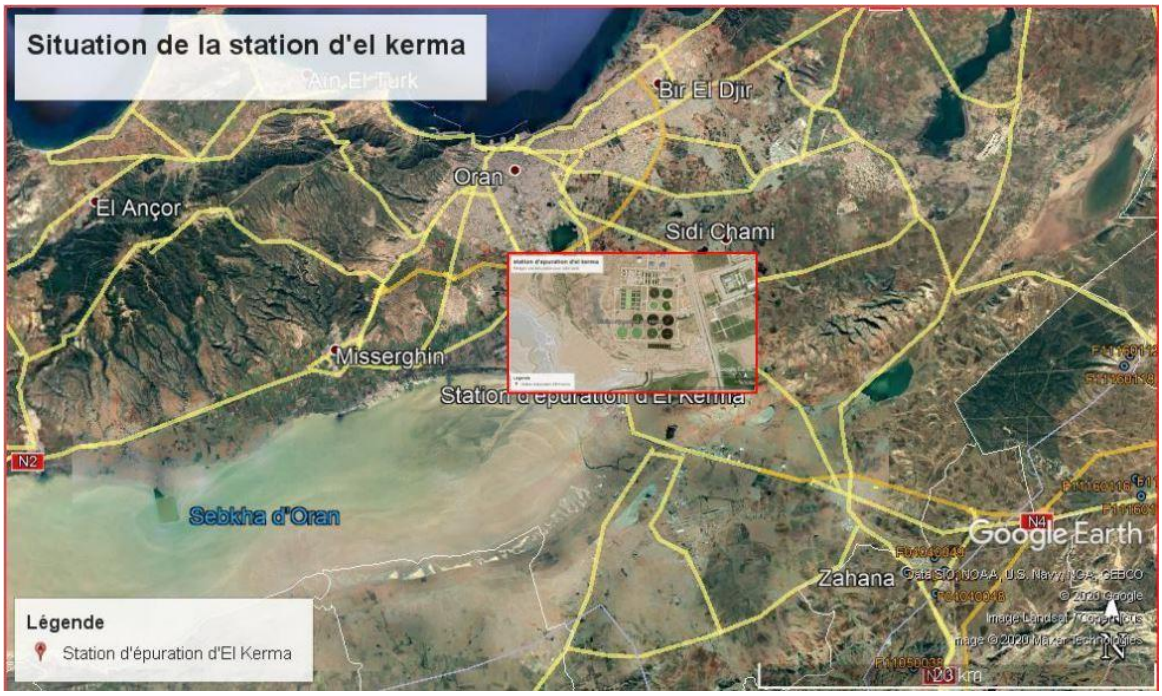

Figure III.1 : La situation géographique de la STEP d'El Kerma

II. Données de base :

La capacité de l population raccordée à 1.500.000 EH environ. Soit ainsi les dotations principales suivantes pour la partie urbaine :

II /1. Débit d'eau usée :

Le tableau suivant représente les différents débits de station d'épuration :

Tableau III.1 : Les différents débits des eaux usées dans la STEP d'El Karma

Parametre	Unité	Valeur
Equivalent Habitant	E.H	1526000
Débit moyen journalier	m^3/j	270096
Débit moyen horaire-temps sec	m^3/h	11254
Débit moyen horaire diume	m^3/h	15006
Débit moyen horaire noctume	m^3/h	3751
Débit de pointe horaire-temps sec	m^3/h	16200
Débit de pointe-entrée biologique	m^3/j	1500

II /2. Charge polluante :

Tableau III.2 : La charge massique de différentes paramétrées physico-chimiques

Désignation	Les valeurs		
	Kg/j	mg/h	E.H/j
Charge massique des MES à l'entrée de la STEP	96860	359	
Charge massique de DB$O5$ à l'entrée de la STEP	91560	339	60
Charge massique de DCO à l'entrée de la STEP	22910	848	/
Charge massique de $Ntot$ à l'entrée de la STEP	16786	62	11
Charge massique de NTK à l'entrée de la STEP	/	/	11
Charge massique de $Ptot$ à l'entrée de la STEP	2746	/	1.8

III. Description du procès de traitement de la station d'El Kerma :

III/ 1. By- pass (déversoirs d'orage) :

En amont du dégrillage l'ouvrage d'entrée comprend deux déversoirs qui donnent sur un puits de départ du by-pass général. Le by-pass est opérationnel quand le niveau en amont les dégrilleurs dépassent un seuil haut.

III/ 2. Le dégrillage :

Les déchets solides fins ou grossiers sont stoppés par les dégrilleurs. Au niveau de cette STEP, il existe 4 chenaux de dégrillage équipés des dégrilleurs fins (espacement entre les barreaux = 10 mm). Les grilles mécaniques sont inclinées de 75° offrant une grande surface de passage ; leur nettoyage s'effectue d'une manière très simple par une racle rigide qui épouse la forme des barreaux de la grille.

L'opération automatique des dégrilleurs est contrôlée par une mesure différentielle du niveau d'eau en amont et en aval du dégrillage

Figure III.2 : Dégrilleur fin mécanique

III/ 3. Le dessablage et déshuilage :

Un chenal de sortie fait suite au poste de dégrillage en amenant les eaux dégrillées vers quatre chenaux de dessablage - déshuilage.

L'entrée des dessableurs - déshuileurs est équipée de batardeaux. Chaque dessableur - déshuileur a une longueur de 50m, exécuté en béton armé de section trapézoïdal. L'ouvrage est équipé de ponts racleurs suceurs jumelés animés d'un mouvement de "va-et-vient" destiné à extraire les sables déposés aux fonds de l'ouvrage montré dans la (Figure III.3) ci-dessous ; qui seront transportés par la suite dans une rigole centrale qui débouche vers une fosse collectrice. Le mélange eaux et sable sera transporté vers un calibreur de sable situé à côté du dessableur. Le sable est asséché puis déchargé dans une benne.

Tableau III.3 : Les dimensions de l'ouvrage dessableur-déshuileur.

Dimensions	Valeurs
Longueur	50 m
Largeur (dessableur)	4.8 m
Largeur (déshuileur)	2 m
Profondeur utile	4.6 m

Le temps de séjour dans le dessablage correspondant à un débit max est de 15 min. Les matières flottantes et les graisses s'accumuleront à la surface du déshuilage et seront raclées jusqu'à l'entrée d'un puits à graisses.

Figure III.3 : Dessableur-Déshuileur

III/ 4. Décantation primaire :

L'eau brute obtenue après le procédé dessablage déshuilage est conduite par un canal Qui débouche vers l'ouvrage de répartition possédant des vannes murales qui est connecté à quatre décanteurs primaires cylindro-coniques.

Le décanteur primaire est un grand bassin circulaire de 48,9 m de diamètre avec une hauteur d'eau moyenne de 2,56 m et avec un racleur qui tourne avec une vitesse 1(un) tour chaque 35min, où décantent les matières en suspension qui tombent au fond du bassin appelées flocs. Ces flocs constituent des boues primaires avec une eau moins chargée caractérisée par un taux d'élimination de 33 % en DBO5, 29% en DCO et 63%. MES. Cette eau est acheminée vers le bassin d'aération pour subir un traitement biologique a l'aide d'oxygène dissout. Par contre la boue primaire obtenue, est dirigée gravitairement vers la fosse des boues primaire. Puis elle va être pompée vers l'épaississeur primaire avant qu'elle soit déversée dans le bassin d'homogénéisation mixte.

Figure III.4 : Décanteurs primaires

III/ 5. Traitement Biologiques :

Le procédé d'épuration mis en œuvre est le traitement des eaux usées ^par boues activées. Il fait appel aux microorganismes dans les eaux pour la transformation et l'élimination des matières polluantes.

Le réacteur biologique ou bassins d'aération constituent le cœur u procédé, dans lequel s'effectue le métabolisme bactérien à l'origine du phénomène aboutissant à l'épuration. La géométrie du bassin d'aération est la suivante :

Tableau III.4 : Les dimensions d'un bassin d'aération

Dimensions	Valeurs
Nombre de Bassin	4
Longueur au plan d'eau (m)	89.8
Largeur au plan d'eau (m)	22.5
Hauteur d'eau (m)	5.25
Volume net unitaire (m^3)	10584
Volume net totale (m^3)	42336

Pour assurer les objectifs classiques appliqués à cette station d'épuration à boues activées, le dimensionnement du bassin d'aération prendra généralement en compte les conditions de fonctionnement suivantes :

- Charges massique : 0.5Kg DB$O5$ /Kg M.S.
- Concentration en boues activées : 4 g/l.
- Temps de séjour moyen : 2h30 min.
- Age de boues : 2 à 4 j.

Figure III.5 : Bassin d'aération de la station d'épuration.

III /6. Décantation secondaire (Clarification) :

Le rôle de la décantation secondaire est d'assurer une meilleure séparation de la biomasse de l'eau traitée et de permettre par ailleurs un premier épaississement des boues biologiques décantées.

La liqueur mixte de boues activées formée ainsi dans le réacteur biologique est ensuite dirigée sur l'ouvrage de décantation secondaire. Ce dernier est alimenté par le centre à travers une conduite d'alimentation, sous le radier, débouchant à l'intérieur de la jupe de répartition.

Le but de cette opération est la séparation de l'eau épurée des boues qu'elle contient. La liqueur mixte est introduite en son centre ; l'eau clarifiée déborde en périphérie ; dans une double goulotte

de reprise et les boues décantées se déposent sur le radier et seront raclées vers le centre de l'ouvrage où elles s'épaississent légèrement.

Figure III.6 : Décanteur secondaire.

III /7. Désinfection :

La désinfection des effluents a pour objectif principal amélioré la qualité bactériologique de l'effluent épuré afin de protéger la zone de rejet. Sur la base d'un temps de séjour de 30mn pour le débit de pointe du temps sec. Le bassin de contact présente un volume utile de 7700 m3 , ce bassin est de type à chicanes et les dimensions sont les suivantes :

• Nombre d'ouvrage : 2 ;

• Longueur : 100 m ;

• Largeur : 10 m ;

• Hauteur d'eau : 4,05 m.

Avant leurs évacuations, les eaux traitées doivent être désinfectées pour éviter tout risque de contamination. A cette fin les eaux épurées de la station subiront un traitement de désinfection par le chlore gazeux.

Les eaux épurées à la sortie de la station d'épuration seront rejetées dans la grande sebkha.

Figure III.7 : Bassin de désinfection.

IV. Description du traitement des boues :

IV /1. Recirculation et extraction des boues :

Le principal objectif de traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire une concentration constante pour limiter les quantités à stocker, et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques et arrêter la biodégradation. Après avoir deux types de boues différentes, on passe à leurs traitements. Pour la boue activée (secondaire) on utilise une partie pour la retourner au bassin d'aération par la vis d'Archimède (Figure III.8). L'autre partie, va se diriger vers l'épaississement mécanique et la boue primaire vers l'épaississement primaire.

Figure III.8 : Vis d'Archimède.

IV /2 : Epaississement des boues primaires :

L'épaississement est la première étape, et a pour rôle d'enlever une partie plus ou moins importante de l'eau contenue dans les boues et augmenter la concentration des matières.

Les boues primaires proviennent des décanteurs primaires. Elles sont à la fois riches enmatières minérales (micro-sables, terre, etc.) et contiennent des matières organiques. La bouesera acheminée vers l'épaississeur primaire montré dans la figure III.9 .

Tableau III.5 : Dimensions de l'épaisseur primaire.

Dimensions	**Valeurs**
Nombre des épaisseurs	4
Diametres (m)	25
Hauteur de boue (m)	4.84
Surface (m^2)	491
Volume net unitaire (m^3)	2376

Figure III.9 : Epaississement primaire.

IV /3 : Boues en excès (boues secondaires) :

Le but de cette installation est d'augmenter la teneur des boues activées excédentaires à une valeur minimale de 5% telle que leur volume soit réduit d'au moins 5 fois. Les boues en excès ainsi épaissies passés par les deux épaississeurs restants, puis sont pompées vers le bassin d'homogénéisation pour être mélanger avec la boue primaire et ensuite renvoyées vers la digestion anaérobique.

Le bassin d'homogénéisation montré dans la figure III.10 est d'un volume 200m3, ce bassin permet de former une boue brute à partir des boues primaires et les boues en excès puis les boues sont transportées vers le digesteur.

Figure III.10 : Le bassin d'homogénéisation

IV /4 : Digestion anaérobie de la boue :

La digestion anaérobie ou la méthanisation est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques qui sont dégradées partiellement en l'absence de l'oxygène. La stabilisation de la boue s'effectue en milieu mésophile dans des digesteurs anaérobies d'une température d'environ 37°C et d'un volume de 9605 m^3 . Pour un volume total de 38.420 m^3 , on obtient un temps de séjour de 21.6 jours.

Figure III.11 : Digesteur anaérobie.

Le chauffage du digesteur s'effectue grâce à un système de circulation de boue chaude qui comprend des pompes de circulation de boue chaude, un injecteur à mélange pour l'introduction de boue brute et un échangeur thermique. Pour ce système de circulation de boue chaude, on apporte l'énergie thermique nécessaire pour chauffer la boue brute à la température de 37°C qui va dégager des gaz qui vont passer par une conduite vers un gazomètre ou ils seront stockés

IV /5 : Déshydratation mécanique :

Les boues digestes sont acheminées vers la salle de déshydratation mécanique, où elles vont être déshydratées avec une teneur en substances sèches d'au moins 25 %. Pour la déshydratation des boues, au niveau de la STEP d'El Kerma, il existe 8 de filtres à bandes presseuses.

La boue digérée déshydratée et chaulée est évacuée dans la benne d'un camion, ou bien dans stockée dans les silos de stockage de boues

IV /6 : Production de gaz :

Le biogaz produit par la digestion anaérobique sera récupéré dans une conduite installée ausommet de chaque digesteur, et dont la pression maximale de service est 50mbar, jusqu'au local des filtres à graviers. Ces derniers sont conçus pour séparer les particules et le condensat du biogaz et ils jouent également le rôle de dispositif de sécurité contre le retour de flamme.

Le biogaz filtré et dépourvu d'humidité, sera acheminé jusqu'au Gazomètre.

Ce Gazomètre sans pression montré dans la figure III.12, composé d'un silo métallique cylindrique et d'une membrane, à l'intérieur de laquelle le ballon à gaz est suspendu. Il a pour fonction d'amortir les différences de volume de gaz entre la production et la consommation de gaz.

Les caractéristiques du gazomètre présenté dans le tableau III.6

Tableau III.6 : Caractéristiques du gazomètre

Dimensions	Valeurs
Diamètre de plaque inferieure (m)	22
Diamètre extérieur (m)	21.32
Hauteur du cylindre (m)	19.42
Hauteur du cône (m)	6.9
Hauteur totale (m)	26.44
Volume de stockage (m^3)	6800

Figure III.12 : Gazomètre

Conclusion :

La présentation de la Station d'Épuration d'El Kerma a permis de mieux comprendre son importance dans le système d'assainissement de la région d'Oran. À travers la description de ses différentes unités et du processus global de traitement, il apparaît que cette installation joue un rôle clé dans la protection de l'environnement et la gestion durable des ressources en eau. Elle permet non seulement de traiter efficacement les eaux usées avant leur rejet, mais aussi d'ouvrir des perspectives de réutilisation, notamment dans le secteur agricole. Cette étape descriptive constitue ainsi une base essentielle pour évaluer, dans les chapitres suivants, les performances de la station et les enjeux liés à son exploitation.

Chapitre 4

Méthodologie et résultats

Introduction :

Le suivi du traitement des eaux usées dans la STEP d'EL KARMA a été fait pour évaluer la qualité des eaux traitées et contrôler leur efficacité, un ensemble d'analyses physico-chimique a été fait à l'entrée et à la sortie de la STEP durant les 15 jours premier de mois de mai 2025.

Les analayses effectuées représentent toutes celles qui sont faites pour le diagnostic d'une station d'épuration, elles sont portées sur :

- Les matières en suspension (MES)
- La demande biochimique en oxygéne (DBO_5)
- La demande chimique en oxygène (DCO)
- L'azote de l'ion ammonical ($N\text{-}NH4^+$)
- Le pH
- La Temperature (T°)
- Le phosphore totale (PT)
- Le phosophate (PO_4^{3-})

D'autre part et pour renforcer l'étude, nous avons éffectuer d'autres analyses au sein d'un laboratoire. Avec les données des résultats obtenus pour le suivi de la station d'épuration d'El Kerma, une analyse approfondie a été réalisée sur les paramètres ainsi que sur les charges polluantes présentes dans les eaux usées rejetées par la ville. Cette démarche a consisté à comparer les concentrations de quelques matières polluantes à l'entrée et à la sortie de la station, c'est-à-dire entre les eaux brutes et les eaux épurées.

I. L'analyse des paramètres physico-chimiques de la STEP d'El Karma :

I /1. L'entrée :

Tableau IV.1 : Les résultats des analyses des eaux usées au laboratoire à l'entrée de la STEP d'El Kerma

Date	Entrée MAI 2025							
	pH	T°	MES	DCO	DBO_5	PO4	PT	$NH4^+$
1 mai	Annulé							
2 mai	6.71	22.80	335	695.51	340	9.575	4.750	45.56
3 mai	6.68	23.00	575	567.09	420	/	/	/
4 mai	6.90	23.10	255	499.22	340	/	/	/
5 mai	7.20	23.10	200	502.09	440	/	3.054	/
6 mai	7.07	21.20	290	698.90	440	/	/	/
7 mai	7.11	23.60	100	317.69	220	8.660	1.500	87.13
8 mai	7.05	21.90	200	418.02	/	/	/	
9 mai	6.86	22.70	195	458.58	/	10.460	1.738	51.66
10 mai	6.91	24.10	255	497.86	/	/	/	/
11 mai	7.15	22.30	315	548.57	/	/	/	/
12 mai	7.15	23.10	255	519.57	/	15.790	4.892	38.08
13 mai	6.95	22.40	215	504.75	/	/	/	/
14 mai	/	/	/	/	/	12.540	3.520	/
15 mai	/	/	/	/	/	/	/	/

Remarque :

Les données du tableau montrent que, durant la première quinzaine de mai 2025, les eaux usées à l'entrée de la STEP d'El Karma présentaient un pH globalement neutre (6,60 à 7,65) et des températures comprises entre 21°C et 23,1°C. Les MES ont atteint un pic de 575 mg/L le 2 mai, tandis que la DCO a fortement varié, avec un maximum de 695,51 mg/L (1er mai). Les valeurs de DBO_5 disponibles

indiquent une charge organique élevée (jusqu'à 440 mg/L). Les teneurs en PO_4 et PT montrent aussi une variabilité marquée, suggérant une pollution fluctuante à l'entrée de la station.

I /2. La sortie :

Tableau IV.2 : Les résultats des analyses des eaux usées au laboratoire à la sortie de la STEP d'El Kerma

Date	Sortie MAI 2025							
	pH	T°	MES	DCO	DBO_5	PO4	PT	$NH4^+$
1 mai	Annulé							
2 mai	6.63	20.40	41	94.035	28	11.330	5.615	12.35
3 mai	6.55	20.00	26	78.801	8	/	/	/
4 mai	6.67	23.00	37	92.089	26	/	/	/
5 mai	7.05	22.90	28	65.382	14	9.180	1.950	7
6 mai	6.89	20.70	26	80.288	18	/	/	
7 mai	6.91	22.60	45	92.366	30	10.680	1.605	14.49
8 mai	6.84	21.70	72	74.342	/	/	/	
9 mai	6.81	22.80	14	60.994	/	11.170	1.736	10.8
10 mai	7.00	22.70	26	50.383	/	/	/	/
11 mai	7.04	22.20	18	68.964	/	/	/	/
12 mai	6.89	22.90	35	66.407	/	10.975	3.730	9.87
13 mai	7.02	22.20	21	74.005	/	/	/	/
14 mai	/	/	/	/	/	/	/	/
15 mai	/	/	/	/	/	/	/	/

Remarque :

Les résultats de la sortie des eaux traitées montrent une amélioration nette des paramètres par rapport à l'entrée. Le pH est resté stable entre 6,55 et 7,05. Les MES ont été fortement réduites, avec des valeurs allant de 14 à 72 mg/L, bien inférieures à celles de l'entrée (jusqu'à 575 mg/L). La DCO a été ramenée entre 50,383 et 94,035 mg/L, contre des valeurs dépassant parfois les 600 mg/L

à l'entrée. La DBO_5, mesurée certains jours, est aussi bien réduite, atteignant un maximum de 30 mg/L. Enfin, les concentrations en PO_4 et PT sont également en baisse, témoignant de l'efficacité du traitement.

En complément et afin de renforcer cette étude comparative, des analyses de quelques paramètres et polluants en laboratoire ont également été effectuées (celles qui n'ont pas été faite à l'entrée de la station le jour de l'échantillonnage). Celles-ci ont permis de confronter nos propres résultats à ceux relevés sur le terrain, et d'évaluer avec d'avantage de précision l'efficacité du traitement appliqué au sein de la STEP.

II. Méthodologie :

II /1. Prélèvement des échantillons d'eaux :

Une bonne campagne d'échantillonnage revient essentiellement à suivre les étapes suivantes **(RODIER et AL, 2009):**

-Technique de prélèvement : Les échantillons prélevés sont immédiatement fermés et étiquetés et l'eau prélevée est remplie dans des bouteilles en P.V.C.

-Transport des échantillons : Après prélèvement, les échantillons d'eau doivent être transportés à l'abri de la lumière et de la chaleur.

Après prélèvement nous nous sommes proposé de déterminer les paramètres physico-chimiques pouvant être établie au laboratoire, à savoir :

- pH initial,
- Température,
- Conductivité,
- Concentration en phosphate,
- Concentration en ammonium et magnésium.

II /2. Dosage des phosphates, ammonium et magnésium dans les eaux :

II/2 /1. Protocole de dosage des phosphates :

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique. L'intensité de la coloration est mesurée par un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 690 nm jusqu'à 720 nm d'absorption maximale **(RODIER, 1978).**

La méthode de dosage consiste à préparer dans un premier temps une gamme étalon et de déterminer les absorbances qui permettent de tracer une courbe d'étalonnage. Ensuite, de mesurer l'absorbance de l'eau à analyser pour déterminer sa concentration en ions phosphate par comparaison avec la courbe d'étalonnage **(RODIER, 1978).**

Le protocole expérimental utilisé a été le suivant **(RODIER, 1978):**

II/2/1/ 1. Préparation de la solution mère S_0 :

Une aliquote de 0.439 g de dihydrogénophosphate de potassium sec a été introduite dans une fiole jaugée de 1 L pour préparer par dissolution une solution S de concentration C = $3.23.10^{-3}$M.

Une dilution au 1/10e de cette solution a été faite et l'opération a été répétée (dilution au 1/10e de la solution déjà diluée), afin d'obtenir une solution S_0 de concentration $C_0 = 3.23.\ 10^{-5}$ M soit de concentration massique en phosphore C_0 = 1 mg P/L. La concentration massique en phosphore s'exprime en mg P/L (milligramme de phosphore par litre de solution). Il s'agit de la masse d'élément phosphore se trouvant par litre de solution.

II/2/1/ 2. Préparation de la gamme étalon :

5 solutions ont été préparées et notées de S_1 à S_5 , de concentration C' 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 et 0.5 dans 5 tubes à essai numérotés. V_0 est le volume de solution introduit (à la micropipette) 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5. Veau le volume d'eau distillée à ajouter 4.5, 4, 3.5, 3, 2.5.

II/2/1/ 3. Tracé de la courbe d'étalonnage :

- 1 mL du réactif dont la préparation est indiquée ci-dessous a été ajouté, au contenu de chaque tube à essai, en agitant.

- 15 min après une coloration bleue apparait.

- L'absorbance A de chaque solution a été mesurée pour un filtre de longueur d'onde λ = 720 nm.

- Enfin la courbe illustrant les variations de l'absorbance A en fonction de la concentration C', a été établie (voir Annexe).

II/2/1/ 4. Préparation du réactif :

- 148 mL d'acide sulfurique concentré a été préparé dans une fiole de 1 L. La solution a été ajustée avec de l'eau distillée.

- 12 g de molybdate d'ammonium dans 250 mL d'eau distillée.

- 0.291 g de tartrate double d'antimoine et de potassium dans 100 mL d'acide sulfurique 4 N.

- Les trois solutions ont été mélangées dans une fiole de 2 L et la solution ajustée avec de l'eau distillée.

- 1 g d'acide ascorbique a été ajouté dans 50 mL de la solution de molybdate préparée auparavant.

A la fin de la préparation une coloration jaune s'est formée.

II/2/1/ 5. Détermination de la teneur en phosphate dans les échantillons d'eau:

- 5 mL d'eau à analyser a été introduite dans un tube à essais et 1 mL de réactif y a été ajouté. L'absorbance a été mesurée comme précédemment.

- La courbe tracée (voir Annexe) a permis de déterminer la concentration massique en phosphate de l'eau analysée.

II/2 /2. Protocole du dosage de l'ammonium :

Il s'agit de la méthode de Nessler. Dans cette méthode le réactif de Nessler, en présence d'ammoniaque est décomposé avec formation d'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions NH_4^+.

Le réactif de Nessler réagit avec les ions NH_4^+ en présence de KOH ou de NaOH, il se forme alors composé brun - orangé.
La concentration en ions est calculée à partir de la mesure de l'absorbance à 420 nm jusqu'à 450nm et effectuée avec un spectrophotomètre **(Rodier, 1978).**

II/2/2 /1. Solution mère et courbe d'étalonnage :

-La méthode utilisée a consisté à préparer une solution mère de chlorure d'ammonium : 29.7mg de chlorure d'ammonium ont été dissous dans 100 ml d'eau.

-Des dilutions ont été faites à partir de la solution mère, puis 2mL de la solution de tartre ainsi que 2mL de réactif de Nessler ont été ajoutés à celle-ci.

-Les mesures au spectrophotomètre des différentes concentrations à la longueur d'onde précisée au préalable, ont été mesurées 10mn après avoir mélangé les solutions.

II/2/2 /2. Solution de tartre :

- 125g de tartrate double de potassium et de sodium ($C_4H_4O_6KNa.\ 4H_2O$) a été dissous dans 250mL d'eau chaude.

-Après refroidissement, 12.5mL de réactif de Nessler a été ajouté. Après deux jours environs de repos, la solution a été mise au réfrigérateur.

II/2/2 /3. Détermination de la teneur en ammonium dans les échantillons d'eau :

- 2mL de la solution de tartrate ont été ajoutés à 50 mL de l'eau à analyser.

- 2mL de réactif de Nessler ont été ajoutés à la solution précédente. Les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde précisée au préalable, ont été faites.

- Les résultats ont été déduits à partir de la courbe d'étalonnage établie (voir Annexe). Si le résultat est en dehors de la gamme d'étalonnage, il faut recommencer le dosage en diluant l'échantillon prélevé.

II/2 /3. Protocole de dosage du magnésium :

Le dosage du magnésium seul dans l'eau se fait en déterminant la dureté totale de l'eau selon la méthode de **Rodier (1984).**

II/2/3 /1. Dosage du mélange magnésium, calcium :

l'EDTA a été versé goutte à goutte sur un erlen contenant l'eau à analyser + tampon ammoniacal + l'Eriochrome noir T, jusqu'à virage de la coloration de la solution.

II/2/3 /2. Elimination du calcium par précipitation :

Le calcium est éliminé du mélange en le précipitant sous forme d'oxalate insoluble par l'oxalate d'ammonium suivant la réaction suivante :

- $Ca^{2+} + Mg^{2+} + C_2O_4^- \rightleftharpoons Mg^{2+} + CaC_2O_4$

La solution contenant l'eau à analyser a été filtrée + une solution d'oxalate d'ammonium à 5%.

II/2/3 /3. Détermination de la teneur en magnésium des échantillons d'eau:

Le dosage s'est fait en versant goutte à goutte la solution d'EDTA sur une solution contenant le filtrat récupéré précédemment + un tampon ammoniacal + l'Eriochrome. Au virage de la couleur rose au bleu, le dosage a été arrêté.

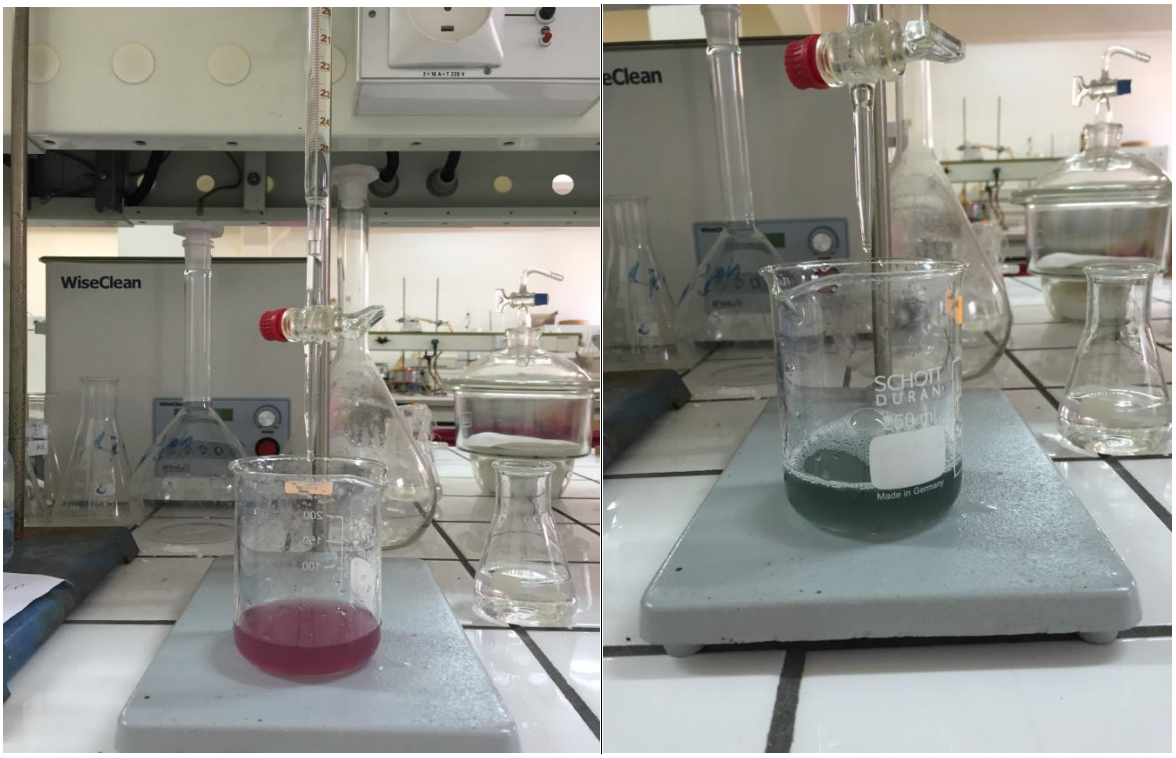

Figure IV.1 : virage de la couleur rose au bleu lors du dosage pour la détermination de la teneur en Magnésium

II /3. Détermination de lu pH, conductivité et température :

Le pH a été mesuré in situ à l'aide d'un pH-mètre, la température mesurée avec un thermomètre, tandis que la conductivité a été déterminée à l'aide d'un conductimètre de laboratoire.

II/3 /1. Résultats :

Le tableau IV.3 donne les principaux paramètres physicochimiques déterminés de l'eau.

Tableau IV.3 : Principaux paramètres physicochimiques de l'eau usée

Echantillon	Lieu de prélèvement	PO_4^{3-} (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	pHi	T°	χ_i (mS/cm)
Eau usée	Eau Brute avant traitement	14.35	41.12	9.71	7.15	24	2.85

Afin de comparer les résultats des analyses que nous avons effectuées avec ceux fournis par la station d'épuration, nous avons pris en compte les paramètres mesurés à la sortie des eaux traitées de notre échantillon en date du 05/05/2025 qui sont donné dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Résultats de la comparaison des paramètres à l'entrée et sortie de la station de l'échantillon (05/05/2025)

05/05/2025 Entrée - Sortie STEP	PO_4^{3-} (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	pHi	T°	MES	DCO	DBO_5	PT
Entrée	**14.35**	**41.12**	**9.71**	**7.15**	**24**	**200**	**502.09**	**440**	**3.054**
Sortie	**9.18**	**7**	**/**	**7.05**	**22.9**	**28**	**65.382**	**14**	**1.950**

II/3 /2. Discussion :

Cette comparaison entre nos données et celles communiquées par la station a permis de mettre en évidence une diminution significative des charges polluantes après traitement.

1. **Phosphate PO_4^{3-} :**

Les teneurs enregistrées en phosphates enregistrent des valeurs qui varient entre 18.79 et 8.66 mg/L, pour notre échantillon la valeur a été dosé et déterminé à 14.35 mg/l.

Nous remarquons cependant que ces teneurs en ortho-phosphates diminuent après épuration, la valeur atteint 9.18 mg/l dans l'échantillon prélevé.

Il existe donc une élimination et une diminution de la charge même si cette dernière reste supérieure à la norme qui est de 2 mg/l , l'explication peut être dû à la présence de beaucoup d'eaux domestiques, des rejets de produits de peintures, détergents ou autres dans les eaux de la ville.

2. **L'azote de l'ion ammoniacal ($N\text{-}NH_4^+$) :**

Les teneurs en ammonium dans les eaux brutes à l'entrée de la STEP varient de 87 à 40 mg/l (41.13 mg/l pour notre échantillon), alors qu'à la sortie, la valeur diminue fortement pour atteindre 7 mg/l

Nous remarquant que le résultat obtenu dépasse la norme (**5mg/l**), ceci se traduit habituellement par un processus de dégradation incomplet de la matière organique, cela explique l'élévation des teneurs en NH_4^+ de l'eau usée avant le traitement, et la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation. Ça n'empêche en rien qu'en déduction une grande élimination a été réalisée.

3. **La température :**

D'après les résultats nous constatons que les valeurs de la température à l'entrée et celles de la sortie de la STEP sont très proches.

La température change entre à l'entrée et de 24°C et 22.9°C à la sortie de la STEP, Ces valeurs restent inférieures aux normes de rejets qui sont de 30°C.

4. **Le pH :**

La valeur du pH passe de 7.15 avant traitement à 7.05 après traitement et cela s'applique même pour les autres jours de surveillance de la station.

Les valeurs ne changent pas vraiment entre les eaux brutes et celles traitées mais respectent tout de même la norme de rejet délimitée entre 6,5 et 8,5.

- Les paramètres tels que la DBO5, la DCO, les MES ainsi que le phosphore total n'ont pas pu être effectué en laboratoire mais les données établie au sein de la station, ont montré une tendance constante à la baisse après traitement.

5. Les matières en suspension (MES) :

Des valeurs importantes entre 575 et 215 mg/l sont enregistrées à l'entrée de la STEP, notamment 200 dans notre échantillon pris en compte l'explication de ces valeurs sont probablement à un dépôt d'eau chargée en matière minérale.

Par contre à la sortie de la STEP, les valeurs des concentrations des MES diminuent et atteignent dans l'échantillon une valeur de 28 mg/l ce qui est inférieure aux normes de rejet qui est de < 30 mg/l. Ces résultats confirment l'efficacité d'élimination des matières en suspension.

6. La demande biochimique en oxygène (DBO_5)

Les valeurs de DBO_5 sont très élevées à l'entrée de la STEP. Elles sont comprises entre440 mg/l et 220 mg/l (440 mg/l dans l'échantillon analysé), si les eaux sont déversées directement sans aucun traitement ils pourraient être néfastes pour les cours d'eau et l'écosystème. Après épuration, les valeurs diminuent vraiment et atteignent 14 mg/l dans l'échantillon.

Les concentrations en DBO_5 enregistrées après épuration sont conformes à la norme de rejetdirect des eaux usées du sont inférieures à la limite 30 mg/l pour leur réutilisation à des fins d'irrigation.

7. La demande chimique en oxygène (DCO) :

Nous remarquons d'après les résultats obtenues que les valeurs de la concentration de la DCO à l'entrée de la STEP sont variables entre 695 mg/l et 317 mg/l, elle est a 502.09 mg/l dans l'échantillon prélevé. Ces teneurs élevées, en général, peuvent avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau à cause de la chute de la teneur en oxygène.

Comme dans le cas de la DBO5, après épuration les teneurs des eaux en DCO diminuent fortement pour tout l'intervalle évalués par la STEP et atteint une valeur de 65.38 mg d'O2/L. Donc on déduit qu'une grande concentration a été éliminé car il y'a une dégradation importante de la charge polluante dont les normes de rejets sont (< 90 mg/l).

8. Le phosphore total :

Le phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composé organophosphorés. Les teneurs en phosphore total sont comprises entre 1.5 et 4.75 mg/l. Après épuration les valeurs de PT dans les eaux épurées diminuent, dans notre échantillon il passe de 3.054 à 1.950 mg/l ce qui est inférieur à la norme de rejet (2 mg/l). Si la valeur dépasse parfois celle de la norme de rejets (2 mg/l) , cela peut être due à un processus de déphosphoration incomplet.

III. Discussion générale :

En complément de la comparaison entre nos propres analyses et les données fournies par la station d'épuration, nous avons également examiné les relevés effectués par la station sur plusieurs jours, tant avant qu'après traitement.

Nous avons constaté que pour presque tous les charges et paramètres les valeurs avaient diminuées soit de façon considérables soit de peu sauf pour les teneurs en ammonium qui avaient dépassé les normes, ceci a été expliqué par le processus de dégradation incomplet de la matière organique, ce qui explique l'élévation des teneurs en NH_4^+ de l'eau usée avant le traitement. Pour les phosphates et le phosphore total nous avons constaté également que ses valeurs dépassaient celle de la norme de rejets (2 mg/l), ce dépassement est surement dû à un processus de déphosphoration incomplet pour le phosphore total et sûrement à une eau usée très enrichis en rejets de détergents ou d'eau domestiques.

En dehors de ces valeurs, toutes les autres mesures ont témoigné d'une dégradation importante de la charge polluante dans les eaux traitées et épurées. Nous concluons que la STEP présente de bons résultats qui sont conforme à la norme algérienne.

Conclusion :

Cette étude temporelle a permis d'observer de manière constante une diminution significative des charges polluantes à la sortie du processus de traitement. La confrontation de l'ensemble de ces données met ainsi en évidence une amélioration nette et régulière de la qualité des eaux traitées.

Cette réduction et évolution positive confirme l'efficacité des procédés mis en œuvre au sein de la station, et souligne sa capacité à assurer un traitement conforme aux normes environnementales en vigueur pour les rejets dans le milieu naturel.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif principal de ce mémoire était d'évaluer l'efficacité d'une station d'épuration à travers une analyse comparative des paramètres physico-chimiques mesurés avant et après traitement. Une partie de ces analyses a été réalisée en laboratoire, à partir d'un échantillonnage prélevé à l'entrée de la station, tandis que d'autres résultats ont été directement confrontés à ceux fournis par la station elle-même.

Les données obtenues ont permis de mettre en évidence une nette amélioration de la qualité des eaux usées traitées, traduisant une réduction significative des principaux polluants. Cette amélioration a été constatée sur l'ensemble des paramètres suivis, notamment la DBO_5, la DCO, les MES, ainsi que certains indicateurs microbiologiques, conformément aux normes environnementales en vigueur.

La comparaison entre nos résultats d'analyses et ceux fournis par la station a révélé une bonne cohérence, renforçant ainsi la fiabilité des données et la rigueur du suivi effectué par la station. En somme, il ressort de cette étude que la station d'épuration étudiée remplit efficacement sa mission de traitement des eaux usées et contribue de manière satisfaisante à la protection de l'environnement.

Ces résultats encourageants ouvrent toutefois la voie à des pistes d'amélioration continue, notamment en ce qui concerne l'optimisation des rendements dans certaines étapes du traitement, ou la mise en place de méthodes de suivi plus avancées.

Références Bibliographiques

A

- ABA-AAKI, 2012 : Elimination des métaux lourds (Cd, Pbn Cr, Zn et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation thèse doctorat. Agadir, Maroc.

- ABIBSI. N, 2011 : Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoepuration) pour l'irrigation des espaces verts application á un quartier de la ville de Biskra. (Mémoire de magister ingénieur d'état en hydraulique), Université MOHAMED Khider-Biskra.

- **AFD : Agence Française de Développement, 2011 :** Réutilisation des eaux usées traitées ; perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action, BRL Ingénierie.

- **ALEXANDRE. O ; BOUTIN. C ; DUCHENE. P ; LAGRANGE. C ; LAKEL. A ; LIENARD. A ; ORDITZ. D**, **1997 :** Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités

- ALPHA SEDDIKI. M, 2005 : Thèse de doctorat en pharmacie sur : La qualité organoleptique de l'eau de consommation. Université de BAMMAKO. Mali.

B

- **BELHANI. M, 2008 :** analyse de cycle de vie exergétique de système de traitement des eaux résiduaire thèse doctorat, institue national de polytechnique de lorraine.

- **BENELMOUAZ. A, 2015 :** Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia mémoire pour l'obtention de diplôme de master. Option : Technologie de traitement des eaux, département hydraulique, université Tlemcen

- **BERRAHMOUN. M., 2016 :** Caractérisation et valorisation des effluents solides et liquides de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou (Mémoire de fin d'études, master traitement et valorisation des ressources hydriques) U.M.M.T.O.

- **BENZARIA. M, 2008 :** Approche méthodologique pour les projets de réutilisation des eaux usées en irrigation, comme exigence partielle de la maitrise en sciences de l'environnement. Université de Québec à Montréal.

- **BOEGLIN. J, 1998 :** Traitements biologiques des eaux résiduaires

- **BOUBCHIR. F ; NESSAH. H, 2004** : Caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du bassin versant du barrage TAKSEBT (Tizi-Ouzou) ; (Mémoire de fin d'études diplôme d'Ingénieur d'état en Agronomie). U.M.M.T.O.

C

- CAUCHI. 2011 : petites installations d'assainissement, édition Technip, paris, Page 402.

D

- DEGREMONT. 1989 : Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, Tome I, paris.

- DESJARDINS. R, 1997 : Le traitement des eaux deuxième Edition de l'école polytechnique de Montréal

- DHAOUADI. H, 2008 : Traitement des eaux usées urbaines ; les procédés biologiques d'épuration, Tunis, Edition 2008.

- DJEDDOU. 2014 : prévision du taux d'échec avec les réseaux neurones artificiels dans une station de traitement des eaux résiduaires, thèse doctorat UMK. Biskra.

- DUGUET. J-P ; BERNAZEAU. F ; CLERET. D ; GAID. A ; LAPLANCHE. A ; MOLES. J, MONTIELA. ; RIOU. G ; SIMON. P, 2006 : Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement).

E

- **EDELINE. F, 1988 :** L'épuration biologique des eaux résiduaires : Théorie et Technologie. 3ème édition, Technique et Documentation, Paris, France.

F

- **FAO : Food and Agriculture Organisation, 2003 :** Etude L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage papier, 65p,

G

- GAID. A, 2007 : Traitement des eaux usées urbaines, France

- **Gaujous. D, 1995 :** La pollution des milieux aquatiques, Edit. Lavoisier Techniques et Documentation, Paris, 220p.

- **GROSCLAUDE. G, 1999 :** L'eau : Tome 2 : Usages et polluants, Edition INRA. Paris, P149.

- **GUERRAH FERIEL. 2019 :** Essais de germination des graines de caroubier (Ceratonia siliqua L.) par l'utilisation des effluents secondaires dela STEP Est de Tizi-Ouzou. UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI- TIZI OUZOU

J

- **JOSEP. P, 2002** : station d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation

- **JOURNAL OFFICIEL ALGERIEN, 2006**

- **JIEE** : **Journées internationales d'étude des eaux, 1997** : La déphosphatation des eaux usées, édition CEBEDOC.

K

- **KOLLER, 2009 :** traitement des pollutions industrielles : eau, air, sol et boues. édition 2009

L

- **LADJEL. F, 2004 :** l'exploitation des eaux usées urbaines dans la station CFMA-Boumerdes).

M

- MELQUIOT. P, 2003 : 1.001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable. Edition RECYCONSULT- P190.

- METAHRI. M, 2012 : Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. (Thèse de doctorat) U.M.M.T.O.

O

- **OUANOUKI, 2014 :** gestion de l'environnement traitement des eaux usées Edition page bleu

R

- **RAMADE. F, 2011 :** Introduction à l'écochimie: Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme page 831 –Edition : Lavoisier .

- **REJSEK . F, 2002 :** Analyse des eaux Aspects réglementaires et techniques.

- **RODIER. J ; BAZIN. C ; CHAMBON. P ; BROUTIN. J.-P ; CHAMPSAUD. H ; RODI. L, : 1996** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, édition. Edition DUNOD, Paris. 1983p.

- RODIER . J, 2005 : l'Analyse de l'eau 8ème édition, Dunod Paris

- RODIER. J, 1978 : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 6éme Edition, Duno technique.

- RODIER. J ; LEGUBE. B ; MERLET. N, 2009 : Analyse de l'eau, Dunod paris.

S

- SAHNOUN. A, 2019 : Contribution à la valorisation des boues des stations d'épuration des eaux usées, Thèse de doctorat, Département d'hydrauliques, Université d'Oran

- SETER. 2014 : Service Etudes Travaux et Exploitation Réseaux, Reims Métropole, 2014

- SUSCHKA. J ; FERREIRA. E, 1986 : Activated sludge respirometric measurements. Water Research, 20, 2, 137-144, (1986).

- SCHWEDT. G, 1993 : Atlas de poche des méthodes d'analyse

T

- **TALI. A ; BAIZID. A**, **2018 :** Les procédés de traitement des eaux usées

(La station d'épuration El Karma), IMSI, Oran

V

- **VILAGINES. R, 2003 :** Eau, environnement et santé publique : introduction a l'hydrologie. 2ème Ed, Lavoisier, Paris.

Y

- **YAHIATENE. S ; TAHIRIM. E, 2010 :** "Reflexion sur la caracterisation physico-chimique des effluents liquides rejetés dans la grande sebdkha d'Oran", Mémoire de Licence, Université d'Oran, 51p

Site web :

* https://lemondeetnous.cafe-sciences.org/2016/07/epuration-des-eaux-une-station-up-to-date-partie-i/ 2025/4/29 9:38AM

* http://www.cnidep.com/floculation151.html 2025/04/29 10:01AM

*https://eau.gouvernement.lu/fr/domaines-activite/eaux-usees-pluviales/Traitements/Traitement-par-le-procede-des-lits-bacteriens.html 2025/04/29 10:56AM

*https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/procedes-biologiques/procedes-a-cultures-libres/types-et-configurations-des-reacteurs-de-boues-activees 2025/04/09 11:36AM

* https://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/lagunage.php 2025/04/29 12:19PM

* OAI : https://www.openai.com 2025/04/29 12:30 PM