

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
DEPARTEMENT DU GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



*En vue de l'obtention du diplôme
De MASTER en GENIE DES PROCÉDES*

Option : Génie de l'environnement

Thème

*Utilisation des Eaux Usées Epurées de la STEP de
Boumerdès en Irrigation*

Réalisé par :

**BOUSSA AHLEM
MERMAT SIHEM**

Soutenu le 29 juin 2017 devant le jury composé de:

M^{lle} ASSELAH.A	MCB	UMBB	Promotrice
M^r Nouri. H	Professeur	UMBB	Président
M^r BALOUL.H	MAA	UMBB	Président
M^r HAMITOCHE.M	MCB	UMBB	Examineur

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

A l'issue de la confection de ce mémoire, nous tenons à adresser nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, par leur bonne volonté et leurs actes ont manifesté un intérêt à notre égard et particulièrement à :

M^{lle} Asselah.A, Maitre de conférences B à l'UMBB, pour la qualité d'encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur, et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire, nous disons que ce travail ne serait pas riche et n'aurait pas pu voir le jour sans son aide et son soutien.

Aux membres du jury : M^r Baloul.H, Maitre assistant A à l'UMBB et M^r Hamitouche.M Maitre de conférences B pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner et de juger ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de notre grand respect et nos vifsremerciements.

Tout le personnel de la station d'épuration de Boumerdès pour l'accueil qu'il nous a témoigné durant notre stage et pour leur soutien, sans oublier M^{me} Ait Mouloud.L, qui nous ont aidés à réaliser ce travail.

L'ensemble du corps enseignant et administratif de la FSI.

Nos familles et nos proches qui n'ont cessé de se manifester par leur présence quand nous en avons besoin. Recevez l'expression de notre profonde gratitude.

Dédicace

*Louange à Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.
Que la paix et le salut soient sur son Messager Mohamed, sa famille et ses
compagnons.*

Je dédie ce mémoire à :

*A mon idéal, l'être le plus généreux, mon très cher père qui m'a encouragé,
ma source de force pour tenir jusqu'au bout, mon Papa, l'homme qui m'a
toujours soutenu et cru en moi. Sa chaleur paternelle, m'a souvent été d'un
grand réconfort. Je ne saurais le remercier assez pour tout ce qu'il a fait pour
moi.*

*A la personne qui m'importe le plus dans ce monde, ma Maman. Elle qui a
toujours été mon modèle et ma source d'inspiration. Ces conseils, sa présence
et sa tendresse m'ont été et me seront toujours indispensables. Je lui suis donc
éternellement reconnaissante.*

A ma très chère sœur Hanane.

A mes frères Fayçal, Imade dinne.

A mon bonheur, mon mari Housseem.

*A Tous mes oncles, tantes, cousins et cousines.
Particulièrement :*

*A mes grands-parents, qui ont toujours œuvrés pour mon bonheur et ma
réussite.*

A ma princesse, la perle de la famille Amani.

*Mes remerciements vont également à mes amis de la faculté des sciences de
l'ingénieur.*

*Je termine avec la personne qui a partagé avec moi ce travail, et sa famille,
mon binôme Sihem.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin tout au long pour que ce
projet soit possible, je vous dis merci.*

B. Ahlam

Dédicace

Pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, je voudrais remercier mon dieu par qui tout est possible

Je dédie ce mémoire à :

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, toutes mes joies : à toi chère Maman.

A qui a été toujours auprès de moi, avec ces conseils : à toi mon père.

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite : A mes chers frères, Mohamed et Abderrahmane.

A ma belle, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral : Ma sœur Maissa.

A Pour le Person qui a terminé ma vie avec lui, à la prunelle de mes yeux : Mon mari Said.

A tous mes oncles, tantes, cousins et cousines, petits et grands.

Mon binôme Ahlem, qui a partagé avec moi ce travail, et sa famille.

A mes très chères amies Samira, Amina, Rahma, Imene, Maroi, Lina, Soumiya, et spécialement à Ousaid Imene et mes amis de la faculté des sciences de l'ingénieur Particulièrement group de MGEV14.

A tous ce qui m'ont soutenu de près ou de loin tout au long de ma vie.

MERMAT SIHEM

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie théorique

Chapitre I : Généralités Sur LesEauxUsées 3

1. Les eaux usées..... 4

2. Les catégories des eaux usées 4

2.1. Les eaux usées domestiques 4

2.1.1. Origine et composition des eaux usées domestiques 4

2.2. Les eaux pluviales 5

2.3. Les eaux usées industrielles (effluents industriels) 5

2.3.1. Les différentes activités industrielles génératrices de rejets 5

2.3.2. Classes d'eaux usées industrielles 6

3. La pollution des eaux 6

4. Classification des substances polluantes 7

4.1. Pollution physique 7

4.1.1. Substances insolubles 7

4.1.2. Pollution thermique 7

4.2. Pollution chimique 7

4.2.1. Pollution minérale 8

4.2.2. Pollution organique 8

4.3. Pollution radioactive 8

4.4. Pollution biologique 8

5. Impact de la pollution sur l'homme 9

6. Historique et rôle de l'assainissement 9

Chapitre II : caractéristiques des eaux

1. Paramètres de mesure de la pollution des eaux 10

1.1. Les paramètres physico-chimiques 10

1.1.1. Les matières en suspension (MES) 10

1.1.2. Les matières décantables 10

1.1.3. La température 10

1.1.4. La conductivité	10
1.1.5. Lacouleur	11
1.1.6. Laturbidité	11
1.1.7. Alcalinité de l'eau... ..	11
1.1.8. PotentielHydrogène (pH)... ..	11
1.1.9. La demande enoxygène	11
1.1.10. Les nutriments	12
1.2. Les paramètres spécifiques	13
1.3. Les paramètres biologiques.....	13

Chapitre III : Traitement des eaux usées

1. Les étapes de traitement des eaux usées	16
2. Les procédés de traitements des eaux usées.....	16
2.1. Les prétraitements	16
2.1.1. Le dégrillage.....	17
2.1.2. Dessablage.....	17
2.1.3. Dégraissage–Déshuilage	17
2.2. Traitement primaire (physico-chimique)... ..	17
2.2.1. Décantation primaire.....	17
2.2.2. Coagulation –Floculation... ..	18
2.2.3. Flottation... ..	18
2.2.4. Filtration... ..	18
2.3. Traitement secondaire ou traitement biologique.....	18
2.3.1. Les différents types de traitement biologique	19
2.3.1.1. Techniques intensives	19
2.3.1.1.1. Lits bactériens « filtres bactériens».....	19
2.3.1.1.2. Bio-filtres	19
2.3.1.1.3. Disques biologiques	20
2.3.1.1.4. Les boues activées.....	20
2.3.1.2. Techniques extensives.....	20
2.3.1.2.1. Le lagunage	21
2.4. Le traitement tertiaire	21
2.4.1. Élimination de l'azote	22
2.4.2. Élimination du phosphore (dé-phosphatation)...	22

2.4.3. Les procédés de désinfection...	22
3. Traitement et élimination des boues	23
3.1. L'épaississement des boues	23
3.2. La stabilisation des boues	23
3.3. La déshydratation des boues	24

Chapitre IV : Réutilisation des eaux usées

1. Réutilisation des eaux usées épurées (REUE) pour l'irrigation	25
2. Les principales voies de réutilisation des eaux usées	26
3. Domaines de réutilisation des eaux épurées	26
3.1. La réutilisation agricole	27
3.2. La réutilisation industrielle	27
3.3. La réutilisation en zone urbaine	27
3.4. La production d'eau potable	27
3.5. La recharge de nappe	28
4. Les fertilisants dans les eaux usées traitées	28
4.1. Les sources NPK utilisées	28
4.1.1. L'azote	28
4.1.2. Le phosphore	29
4.1.2.1. Problématique de la pollution phosphatée	29
4.1.2.2. Traitement biologique du phosphore	29
4.1.2.3. Le phosphore dans les eaux usées	29
4.1.3. Le potassium	30
5. Contraintes liées aux risques infectieux des eaux usées	30
6. Notion de l'irrigation avec des eaux usées	31
6.1. Irrigation par les eaux usées d'origine urbaine	31
6.2. Critères de qualité des eaux pour l'irrigation	31
6.2.1. Critères physico-chimiques	31
6.2.1.1. La salinité	32
6.2.1.2. La sodisation	32
6.2.1.3. Les éléments fertilisants (N,P,K)	32
6.2.1.4. Les éléments traces métalliques ETM	33
6.2.1.5. Alcalinité et dureté	33

6.2.1.6. Critère de qualité biologique	33
6.3. Irrigation avec l'eau usée traitée	34
6.3.1. Méthodes d'irrigation	34
6.3.2. Choix du système d'irrigation	35

Chapitre V : Réglementation en vigueur

1. Les réglementations mondiales	38
1.1. Recommandations de l'OMS	38
1.2. Directives de la FAO	39
2. Réglementation Algérienne de REUE	40
3. Modes de réutilisation des eaux usées traitées	44
3.1. Usage en agriculture	44
4. Risques de la réutilisation des eaux usées	44
4.1. Risque sanitaire	44
4.2. Le risque environnemental	44
5. Arrêtés interministériels	44
6. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation	46

Partie expérimentale

Chapitre I : Présentation de la STEP de Boumerdès

1. Présentation de l'Office National de l'Assainissement	48
2. Présentation de l'unité d'assainissement de Boumerdès	48
3. Le réseau d'assainissement	50
4. Les données de base de la station	50
5. Objectif de traitement	51

Chapitre II : Traitement actuel

1. Introduction	52
2. Différents procédés de traitement des eaux usées	53
2.1. Arrivée des eaux, comptage et bassin d'orage	55
2.2. Prétraitement et traitement primaire	55
2.2.1. Le dégrillage	55
2.2.2. Dessablage	56
2.2.3. Le dégraissage-déshuilage	56
2.3. Traitement secondaire	57
2.3.1. Ouvrage de répartition	57

2.3.2. Bassins d'aération(aérationbiologique).....	57
2.3.3. Clarification.....	58
2.4. Traitement complémentaire	59
2.5. Traitement et éliminationdesboues	59
2.5.1. Destination des boues etleurtraitement	60
2.5.2. Épaississeurdesboues	60
2.5.3. Déshydratation mécanique des boues surbandespresseuses	60
2.5.4. Avantages et inconvénients du traitement parboueactivée	62

Chapitre III : Méthodes, résultats et interprétation

1. Lesprélèvementsd'échantillons	64
2. Echantillonnage.....	64
3. Méthodeset Matériel.....	65
3.1. Méthodesappliquées	65
4. Résultats et interprétation desanalyses.....	65
4.1. Les analyses physico-chimiques de l'eau brute etl'eauépurée.....	65
4.2. Les analyses physico-chimiques réalisées sur l'eau épurée à des fins de réutilisation.....	75
4.3. Les analyses des métaux lourds del'eau épurée.....	76
4.4. Analysesbactériologique	77
Conclusion Générale	79

Annexes

Références bibliographies

Liste des tableaux

Tableau N°1 : Origines et composition des eaux usées domestiques	4
Tableau N°2 : Les classes d'eaux résiduaires industrielles	6
Tableau N°3 : Les sous-produits du prétraitement.....	11
Tableau N°4 : La résistance des micro-organismes aux facteurs environnementaux varie selon les espèces	34
Tableau N°5 : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires que l'eau usée est utilisée en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS.....	36
Tableau N°6 : Recommandations microbiologiques de l'OMS pour le traitement des eaux usées destinées à l'irrigation	39
Tableau N°7 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO	40
Tableau N°8 : Normes de rejet pour l'irrigation	41
Tableau N°9 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.....	42
Tableau N°10 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation	43
Tableau N°11 : Les paramètres microbiologiques.....	46
Tableau N°12 : Les paramètres physico-chimiques	47
Tableau N°13 : Les sous-produits du prétraitement.....	57
Tableau N°14 : Résultats des analyses des eaux de chaque prélèvement.....	66
Tableau N°15 : Moyennes des résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau épurée de la STEP.....	75
Tableau N°16 : Les analyses des métaux lourds de l'eau épurée	77
Tableau N°17 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau épurée de la STEP	77

Liste des figures

Figure N°1 : La réutilisation intentionnelle de réseaux usés	25
Figure N°2 : Station d'Épuration de Boumerdès vue par satellite	49
Figure N°3 : Diagramme représentant les différentes étapes du traitement de réseaux usés...	53
Figure N°4 : Les différentes étapes du traitement de réseaux usés	54
Figure N°5 : Bassin d'orage et canal d'alimentation	55
Figure N°6 : Dégrilleur	56
Figure N°7 : Vis à sable	56
Figure N°8 : Dégraissages-déshuilage	57
Figure N°9 : Racleur des graisses d'un dégraisseur	57
Figure N°10 : Bassin d'aération	58
Figure N°11 : Aération dans un bassin biologique	58
Figure N°12 : Clarificateur	59
Figure N°13 : Ouvrage de désinfection	59
Figure N°14 : Préparation du polymère	60
Figure N°15 : Déshydratation mécanique	61
Figure N°16 : Boue déshydratée destinée à la décharge	62
Figure N°17 : Les ouvrages de la STEP de Boumerdès	63
Figure N°18 : Evolution du pH des eaux brutes et de réseaux épurés	67
Figure N°19 : Evolution de la température des eaux brutes et de réseaux épurés	67
Figure N°20 : Evolution de la conductivité électrique des eaux brutes et de réseaux épurés	68
Figure N°21 : Evolution de MES dans les eaux brutes et de réseaux épurés	69
Figure N°22 : Evolution de la DBO ₅ dans les eaux brutes et de réseaux épurés	70
Figure N°23 : Evolution de la DCO dans les eaux brutes et de réseaux épurés	70
Figure N°24 : Evolution du rapport de biodégradabilité (DCO/DBO ₅) dans les eaux brutes ..	71
Figure N°25 : Evolution de la teneur en NO ₂ ⁻ dans les eaux brutes et de réseaux épurés	72
Figure N°26 : Evolution de la teneur en NO ₃ ⁻ dans les eaux brutes et de réseaux épurés	72
Figure N°27 : Evolution de la teneur en NO ₄ ⁺ dans les eaux brutes et de réseaux épurés	73
Figure N°28 : Evolution de la teneur en NTK dans les eaux brutes et de réseaux épurés	74
Figure N°29 : Evolution de la teneur en PO ₄ ³⁻ dans les eaux brutes et de réseaux épurés	74

Liste des abréviations

- DBO₅** : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.
- DCO** : Demande chimique en oxygène.
- EB**: Eau brute.
- EE** : Eau épurée.
- MES**: Matières en suspension.
- MMS** : Matières minérales en suspension.
- MVS** : Matières volatiles en suspension.
- MO**: Matière organique.
- MS** : Matière sèche.
- N**: Azote.
- NTK**: Azote kjeldhal.
- NH₄⁺**: Azote ammoniacal.
- NO₂⁻**: Nitrites.
- NO₃⁻**: Nitrates.
- PO₄³⁻**: Phosphore.
- CT**: Coliformes totaux.
- CF** : Coliformes fécaux.
- FAO**: Food and Agriculture Organization of the United Nations
(Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.
- STEP** : Station d'épuration.
- ERU** : Les eaux résiduaires urbaines.
- Métaux lourds:**
- **Cd**:Cadmium.
 - **Cu**:Cuivre.
 - **Cr**: Chrome.
 - **Pb**:Plomb.
 - **Hg**:Mercure.
 - **Ni**: Nickel.
 - **Zn**:Zinc.

Introduction

Introduction :

L'activité humaine, même la plus élémentaire comme le fait de s'alimenter génère des déchets solides ou liquides qui en s'accumulant finiraient par rendre notre cadre de vie inhabitable.

C'est pour cela que depuis l'antiquité, les hommes ont mis en place, dans les villes des systèmes d'assainissement. D'abord de simples égouts pour conduire les eaux usées et les eaux de pluies vers la rivière.

Avec le développement de l'urbanisation et de l'industrialisation ainsi que l'évolution des modes de consommation, les rejets d'eaux usées ont considérablement évolué en quantité et en qualité. Lorsque les eaux usées ne sont pas traitées, les cours d'eau sont dépassés dans leur capacité naturelle d'épuration et se retrouvent pollués.

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent, elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu, de boues et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

En Algérie, les procédés d'épuration adoptés sont limités à deux procédés dont l'objectif principal est l'élimination de la pollution carbonée :

- Procédés à boues activés.
- Lagunage naturel.

Aujourd'hui, les usines de traitement des eaux usées sont devenues des usines de dépollution compactes, couvertes, désodorisées, automatisées. Elles mettent en œuvre des traitements de plus en plus performants, capables d'éliminer à la fois la pollution carbonée, azotée et phosphorée. Ces usines sont dimensionnées pour traiter une certaine charge de pollution et assurer un rejet conforme aux normes en vigueur.

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs, notamment ceux des régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables.

Ce travail a pour but l'étude du rendement épuratoire de la station d'épuration (STEP) des eaux usées de Boumerdès en vue d'une utilisation agricole des eaux usées épurées afin de combler des déficits hydriques.

Ce travail comporte deux parties principales en plus de l'introduction :

- La partie théorique est composée essentiellement de cinq chapitres:
 - Le 1^{er} chapitre : Généralités sur les eaux usées.
 - Le 2^{ème} chapitre : Caractérisation des eaux usées.
 - Le 3^{ème} chapitre : Traitement des eaux usées.
 - Le 4^{ème} chapitre : Réutilisation des eaux usées.
 - Le 5^{ème} chapitre : Réglementation en vigueur.
- La partie expérimentale est composée de deux chapitres, à savoir:
 - Le 1^{er} chapitre : Présentation de l'unité.
 - Le 2^{ème} chapitre : Traitement actuel.
 - Le 3^{ème} chapitre : Méthodes, résultats et interprétations.

Enfin, nous terminons notre étude par une conclusion générale.

Partie théorique

Chapitre I

Généralités sur les eaux usées

Sous la terminologie d'eaux résiduaires, on groupe habituellement des eaux d'origines très diverses. On trouvera donc dans cette catégorie les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (la lessive corporelle et le lavage des locaux et les eaux de cuisine) et les eaux vanes chargées de fèces et d'urines. Toute cette masse d'effluent est plus ou moins diluée par les eaux de lavage, de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas, les eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. A cette charge s'associent presque toujours des matières grasses et des matières colloïdales.

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée indépendamment de la charge de la pollution. Elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propre liée aux produits chimiques transportés étant donné la très grande variété des produits utilisés dans l'industrie. Le travail de l'analyste sera toujours délicat et compliqué par la présence de matières organiques et minérales en quantités importantes [1].

1. Les eaux usées

L'eau usée est une eau dont les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques sont dégradées suite à son utilisation dans différents domaines (domestique, agricole, industriel, etc.). Pour cette raison, ces eaux usées devront être traitées avant d'être restituées au milieu naturel et éviter ainsi de causer d'autres pollutions notamment des sols et de l'atmosphère. Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. L'eau de pluie, ainsi que les différents polluants qui s'écoulent dans les égouts aboutissant dans les centres de traitement. Les eaux usées peuvent aussi provenir de sources agricoles et industrielles. Généralement, les eaux usées issues des unités industrielles sont plus difficiles à traiter que les eaux usées domestiques. Par ailleurs, ces dernières peuvent être difficiles à traiter en raison de l'augmentation du nombre de produits pharmaceutiques et de soins personnels qui s'y trouvent.

2. Les catégories des eaux usées

De la manière générale, une eau résiduaire est une eau dont le déversement à pour effet de provoquer ou d'accroître la pollution du milieu naturel dans lequel elle est rejetée. Cette pollution peut être provoquée par des matières en suspension, colloïdales ou en solution d'origine organique ou chimique. Selon leur origine, on peut les classer comme suit :

- les eaux usées d'origine urbaine,
- les eaux usées d'origine pluviales,
- les eaux usées d'origine industrielle.

2.1. Les eaux usées domestiques:

Les eaux usées domestiques issues de la cellule d'habitation familiale représentant un volume de 100 l/h/j, elles comprennent :

- les eaux ménagères (lavage corporel et lavage du linge, eaux de cuisine).
- les eaux vannes chargées de fèces et d'urines.
- les eaux de lavage de voirie.

Elles contiennent des matières minérales et organiques dans les trois phases solides liquides et gazeuses et dans les trois états de dispersion : débris grossiers, suspensions (émulsions), colloïdes et molécules dissoutes dissociées ou non. Les eaux usées véhiculent aussi des microorganismes pathogènes ou des saprophytes et virus.

2.1.1. Origine et composition des eaux usées domestiques :

Le tableau N°1 présente la composition moyenne d'une eau dite domestique : le volume moyen journalier rejeté par habitant est variable et fonction du tissu industriel, de 150 L en région agricole à 250L pour une agglomération plus de 50000 habitants [2].

Tableau N°1 : Origines et composition des eaux usées domestiques.

Origines des eaux.	Volume (%)	Matières organiques (%)	MES (%)	Charges bactériennes (%)
Eaux de vannes	20	30	55	95
Eaux ménagères et de cuisine Lessives et vaisselles	15	25	10	0
	35	30	25	1
Bain	30	15	10	4

2.2. Les eaux pluviales

Elles peuvent elles aussi constituer la cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. Au moment de la condensation de l'eau dans l'atmosphère, elles se chargent de polluants de différentes natures issus de sources diverses. Après leur précipitation, les eaux de pluies ruissèlent et se chargent d'avantage d'une variété de résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles, gasoil, résidus de pneus, métaux lourds, etc.). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites font augmenter la superficie de substrat imperméable d'où le risque d'inondation à celui de la pollution.

2.3. Les eaux usées industrielles (effluents industriels):

Elles sont extrêmement variées selon le genre d'industrie dont elles proviennent. Elles contiennent des diverses substances, pouvant être acides ou alcalines, corrosives ou entartrâtes, à température élevée, souvent odorantes et colorées. Ces eaux peuvent être particulièrement nocives lorsqu'elles contiennent des produits tels que les phénols, les cyanures, le chrome hexavalent, ..., etc. Leur rejet direct dans le réseau, s'il est possible, nécessite une étude soignée du nombre d'équivalents / habitants auquel correspond l'industrie étudiée[3].

Et concernant la classification, il est difficile de faire une classification complète de ces eaux en raison :

- des différences importantes qui existent dans les rejets d'établissements industriels de la même branche d'activité (dilutions, volumes de polluants...).
- de la diversité des activités industrielles.

2.3.1. Les différentes activités industrielles génératrices de rejets:

Tout rejet industriel doit faire l'objet d'une autorisation et bien aux différentes stipulations et circulaires réglementaires. Les conditions techniques tendent à réduire au minimum la détérioration du milieu récepteur et à permettre un contrôle aisé des rejets.

Il existe des prospections communes à tous les types de rejets, à savoir :

- La température : $< 30^{\circ}\text{C}$.
- Le pH : $5.5 < \text{pH} < 8.5$.
- La couleur : aucune coloration visible du milieu récepteur.
- La toxicité : aucune destruction de poissons
- L'absence de mousse et de corps flottants.

2.3.2. Classes d’eaux usées industrielles:

Elles sont très diversifiées mais peuvent être regroupées en trois grandes classes [4].

Tableau N°2 : Les classes d’eaux résiduaires industrielles.

type d'eau	Caractéristiques	Exemple	Traitement
Organique	DCO élevée	- Industrie agroalimentaire.	Biologique
	DBO élevée	- Sucrerie, conserveries, abattoirs. - Laiteries, fromageries.	
Inorganique	MES élevée	- Industrie sidérurgique et traitement de surface.	Physico-chimique
	DBO faible	- Industrie d'extraction (minerais, charbon actif, sels) - Industries chimiques.	
Mixte	MES élevée	- Cellulose et pâtes à papier.	Biologiques adaptés
	DBO moyenne à élevée	- Blanchisseries - Plastiques, textiles, teintureries.	

3. La pollution de seaux

La pollution désigne l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère, mais aussi les substances qui sont vraiment dangereuses pour les êtres vivants, exerçant une influence perturbatrice sur l'environnement. En ce qui concerne l'eau, la distinction entre l'eau polluée et non polluée est souvent relative et dépend des exigences d'utilisation. Différentes définitions ont été données par des experts assimilant la pollution à : « une composition ou un état directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme de telle façon que cela se traduit par une moindre utilisation de l'eau ». La composition et les propriétés physico-chimiques des eaux résiduaires alimentant une station d'épuration sont fonction d'une part du type du réseau d'égout qui véhicule ces eaux (réseau unitaire, séparatif, pseudo-séparatif) ainsi que la quantité des égouts et d'autre part de l'origine de ces eaux.

Les eaux résiduaires comprennent plusieurs matières ou polluants classés selon :

- **Leur état** : matières en suspension ou matières en solution.
- **Leur nature** : matières organiques ou minérale.
- **Leur réaction** : face aux organismes vivants (matière biodégradable, inerte ou toxique).

4. Classification des substances polluantes

Les matières polluantes qui existent dans les eaux usées sont nombreuses et d'origines très variées. On peut les différencier en fonction de leurs aspects physiques, de leur composition chimique ou de leurs impacts sur les espèces vivantes (toxiques ou non)[3].

4.1. Pollution physique:

4.1.1. Substances insolubles

Les polluants peuvent être présents sous différentes formes : débris grossiers, matières en suspension ou sous forme colloïdale. Selon la taille des particules polluantes :

-Si la taille des particules est supérieure à 1 micron : ce sont des matières en suspension, responsables essentiellement de trouble de l'eau.

-Si la taille des particules est comprise entre 1 et 1/1000 micron, ces particules correspondent aux matières colloïdales, qui participent au trouble et à la coloration de l'eau. Ces matières colloïdales ne sont pas décantables.

-Si la taille des particules est inférieure à 1/1000 micron : ce sont des matières dissoutes, des sels minéraux et des molécules organiques. Certaines de ces molécules organiques (huiles, hydrocarbures,...) ne se mélangent pas à l'eau. Déposés en fines gouttes, on dit qu'elles forment alors des émulsions.

4.1.2. Pollution thermique

Elle résulte d'eau à température trop élevée influant, à la fois, sur la solubilité de l'oxygène et sur l'équilibre biologique. Les systèmes de refroidissement de l'eau des industries et des centrales notamment les centrales nucléaires représentent une source de pollution par réchauffement de la température de l'eau [4].

4.2. Pollution chimique

Elle est due à des substances minérales ou organiques, solubles ou insolubles [5].

4.2.1. Pollutionminérale

Elle est due à la présence des matières azotées (nitrates, nitrites,...) et des matières phosphorées (orthophosphates, polyphosphates). Ces dernières favorisent la prolifération des algues dans les milieux aquatiques : c'est le phénomène d'eutrophisation qui provoque l'appauvrissement en oxygène. La pollution minérale est également due à des éléments solides tels que les oxydes métalliques et le sable.

4.2.2. Pollutionorganique

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante. Elle résulte de diverses activités : urbaines, industrielles, artisanales et rurales. Chaque activité rejette des composés spécifiques biodégradables ou nonbiodégradables.

- la matière organique biodégradable est consommée par des microorganismes dans le milieu récepteur. Quand celle-ci est en excès, la biodégradation devient très limitée avec un déficit enoxygène.
- la matière organique non biodégradable tel que les hydrocarbures, une fois rejetés, diminuent la pénétration de la lumière et de l'oxygène de l'air[5].

4.3. Pollutionradioactive

La radioactivité libérée dans l'eau peut provenir d'une radioactivité naturelle, d'une contamination liée à des retombées atmosphériques, des champs de rayonnements d'origine industrielle ou de contaminations accidentelles de l'eau à partir de rejets des centrales nucléaires. Les dommages causés par l'accumulation accidentelle de radioéléments dans l'organisme se présentent sous forme de lésions biologiques (irradiations, brûlures, cancer...) et par des répercussions d'ordre génétique grave en particulier des malformations congénitales.

4.4. Pollutionbiologique

Les eaux usées peuvent être chargées en germes pathogènes provenant de la flore intestinale de l'être humain (exemple : eaux vannes), d'effluents hospitaliers, ainsi que des déversements de certaines industries (abattoirs, tanneries...).

Les microorganismes pathogènes présents dans les eaux usées peuvent être classés en quatre principaux groupes :

- Les bactériespathogènes.
- Lesvirus.
- Lesparasites.
- Les champignons[3].

5. Impact de la pollution sur l'homme:

Les impacts de la pollution sur l'homme concernent :

- Les troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou cutanés.
- Les effets allergènes (provoquant des allergies).
- Les intoxications alimentaires.
- Les cancers.
- les perturbations endocriniennes.

6. Historique et rôle de l'assainissement

Les grandes civilisations de l'Antiquité connaissaient déjà des systèmes d'évacuation très perfectionnés. On citera le modèle Romain de la Cloaca Maxima qui déverse dans le Tibre les eaux usées de Rome. L'idée qui prévaut jusqu'au XIX^e siècle est d'éloigner les effluents des cités pour éviter les inondations et les épidémies. En 1843 à Hambourg (Allemagne), le premier réseau d'assainissement moderne a été créé à l'occasion de la reconstruction de la ville à la suite d'un incendie. Quant au traitement des eaux usées lui-même. En 1940, la première station d'Achères en région parisienne utilisant les techniques des boues activées et du lit bactérien inaugure l'ère de la station d'épuration et des traitements plus rigoureux. Il fallait attendre jusqu'aux années 1960 pour que le programme d'installation des stations d'épuration prenne son essor. Entre temps, les eaux superficielles se sont fortement dégradées. Il ne faut pas confondre le traitement des eaux qui a pour fonction de les transformer en eau potable et l'assainissement des eaux usées rejetées par le consommateur après utilisation. L'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux usées avant de les rejeter dans le milieu naturel, afin de les débarrasser de la pollution dont elles sont chargées. L'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour les sociétés modernes. En effet, le développement des activités humaines s'accompagne inévitablement d'une production croissante de rejets polluants. Les ressources en eau ne sont pas inépuisables. Leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement mais aussi entraîner des risques de pénurie.

Chapitre II

Caractérisation des eaux usées

L'eau usée rejetée directement dans la nature provoque une dégradation sérieuse de cette dernière, afin de protéger notre environnement, on se voit contraint de traiter les eaux des rejets, ces eaux peuvent être valorisées ou réutilisées dans d'autres domaines.

1. Paramètres de mesure de la pollution des eaux:

L'évolution globale de la qualité d'une eau usée s'appuie sur les paramètres physico-chimiques et biologiques :

1.1. Les paramètres physico-chimiques:

1.1.1. Les matières en suspension (MES):

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal. Les MES qui comportent des matières organiques et minérales constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Ces MES peuvent mener aux dépôts de boues dans les conduites et peuvent causer le colmatage des systèmes d'irrigation. Elles se subdivisent en deux groupes :

- **Les matières volatiles en suspension (MVS) :** Elles représentent la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2h.
- **Les matières minérales (M.M) :** Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire l'extrait sec constitué à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (chlorures, phosphates...etc.).

1.1.2. Les matières décantables:

Elles sont composées des matières en suspension qui sédimentent en 2h dans une éprouvette. Cette analyse est surtout réalisée sur les effluents de sortie de certains ouvrages d'épuration pour juger le rendement d'élimination de la pollution [6].

1.1.3. La température:

C'est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau. Ce paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains mais qui devrait être plus souvent mesuré surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration est très sensible à des températures trop élevées ainsi tout rejet doit être inférieur à 30°C [4].

1.1.4. La conductivité:

Ce paramètre mesure la capacité d'un liquide à transmettre un courant électrique à une température précise, il est défini comme étant la réciproque de la résistance électrique de l'eau mesurée entre deux électrodes occupant 1 cm² et éloignées l'une de l'autre de 1 cm. Le test de conductivité consiste à introduire la cellule de conductivité dans l'échantillon et à lire directement la valeur sur l'appareil. Elle permet également d'estimer le degré de minéralisation

d'une eau et elle est liée à la force ionique. Elle est proportionnelle à la teneur de sels dissous (TDS). Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tableau N°3 : La qualité des eaux en fonction de la conductibilité

Conductivité < 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation faible
200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne
333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
666 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
Conductivité > 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

1.1.5. La couleur:

L'eau domestique est de couleur grisâtre, elle peut être dans certains cas noir, à cause de la décomposition partielle. Par contre, l'eau industrielle peut être incolore, comme elle peut avoir plusieurs couleurs à cause du déversement de colorants industriels [8].

1.1.6. La turbidité:

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes fines telles que les argiles, les limons, les grains de silice et les matières organiques...etc. [8].

1.1.7. Alcalinité de l'eau:

L'alcalinité mesure les concentrations d'ions bicarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. Elle est exprimée en tant que concentration équivalente de carbonate de calcium (CaCO_3) [10]. Elle permet de définir la dureté de l'eau qui elle s'exprime en mg/l de CaCO_3 ou en degré Français ($1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l de } \text{CaCO}_3$).

1.1.8. Potentiel Hydrogène (pH):

Le pH d'une eau est dû à la concentration de cette eau en ions H^+ ou OH^- . Une eau équilibrée aura un pH neutre de 7. Des variations trop élevées du pH par rapport à cette valeur moyenne de 7 constitue une pollution. Des eaux dont les pH présentent de grands écarts par rapport à la neutralité sont polluées[5].

1.1.9. La demande en oxygène:

Lors de libération dans les milieux récepteurs, les matières contenues dans les eaux résiduaires sont susceptibles d'être transformées selon différents processus suivant une voie consommatrice.

- **La demande totale en oxygène (DTO)** : Elle permet de déterminer l'apport d'oxygène nécessaire pour amener les composants d'une eau usée à leur stade final d'oxydation (CO₂ + H₂O), c'est-à-dire dans les conditions supercritiques.
- **La demande biologique en oxygène (DBO)** : Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation et la métabolisation des matières organiques dans l'eau usée après incubation. L'évaluation de la pollution par la quantité d'oxygène demandée se fait sur une période de cinq jours.
- **La demande chimique en oxygène (DCO)** : Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau. Elle permet la mesure globale des matières organiques biodégradables et réfractaires, à l'exception de certains composés tels que les composés aromatiques[7].

La DBO₅ et la DCO sont composées principalement de protéines, d'hydrates de carbone et de graisse. Elles peuvent mener à l'épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau et au développement de conditions septiques.

1.1.10. Les nutriments:

La détermination des quantités de nutriments (les macroéléments et les microéléments) contenus dans les eaux usées est indispensable pour contrôler les rejets dans le milieu récepteur.

- **L'Azote (N)** : C'est un élément qui se trouve sous forme ammoniacale ou organique. La concentration de l'azote dans l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l, il peut donc dépasser les besoins des cultures. L'azote constitue la majeure partie de l'azote total[7].

$$N_{\text{total}} = N(\text{NH}_4^+) + N_{\text{organique}} + N(\text{NO}_2^-) + N(\text{NO}_3^-) \tag{1}$$

Azoteréduit

Azoteoxydé(Kjeldal)

NTK

- **Le Phosphore (P)** : est un élément limitant pour la croissance et le développement des organismes dans le milieu aquatique. On mesure généralement trois types de phosphore, à savoir:

- **Le phosphore particulaire** : comprenant le phosphore organique et le phosphore inorganique.

- **Le phosphore soluble** : constitué des poly-phosphates, du phosphore colloïdal et des ortho-phosphates. Les ortho-phosphates (PO_4^{3-}) sont les principaux éléments nutritifs dans les systèmes aquatiques continentaux. Ils jouent un rôle déterminant dans l'induction des phénomènes d'eutrophisation lorsqu'ils atteignent des concentrations élevées. Les premières nuisances apparaissent à partir de 0,2 mg/l. Le dosage des ortho-phosphates est basé sur le développement de la coloration au bleu de molybdène.

- **Le phosphore total dissous** : on estime qu'il y'a 90 % de phosphore particulaire et 10 % de phosphore soluble. Les eaux de surface ou de nappes peuvent être contaminées par des rejets industriels : (Industries agro-alimentaires, ateliers de traitement de surfaces, laveries), et domestiques ou par lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides[3].

➤ **Le Potassium (K)** : Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement, c'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité.

L'azote, le phosphore et le potassium sont indispensables à la croissance des plantes et leur présence bonifie la valeur de l'eau pour l'irrigation. Mais, une fois déchargés dans l'environnement aquatique, ils peuvent mener au développement d'une vie aquatique indésirable et s'ils sont déchargés sur les sols en quantités excessives, ils peuvent polluer les eaux souterraines [8].

➤ **Autres nutriments** : La plupart des eaux usées présentent des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Une attention particulière doit être portée au bore. L'eau usée traitée contient aussi du bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément.

1.2. Les paramètres spécifiques : Ce sont des paramètres rendant compte des pollutions spécifiques. Il s'agit de:

- la teneur en hydrocarbures.
- la teneur en graisses et huiles.
- la teneur en métaux.
- la teneur en substances toxiques spécifiques.

1.3. Les paramètres biologiques:

Les eaux usées évacuent les matières fécales et les urines des populations. Elles sont chargées en germes commensaux habituels de l'homme et des germes pathogènes en provenance de porteurs sains ou de malades.

❖ **Les éléments pathogènes :** Ces éléments sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite:

- **Les helminthes:**

Ces éléments sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et $10^3/l$. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Ces derniers sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires [8].

- **Les protozoaires:**

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer l'Entamoeba Histolytica, responsable de la dysenterie amibienne et la Giardia Lamblia. Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance (les kystes) qui peut être véhiculée par les eaux résiduaires.

- **Les bactéries:**

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml, dont 10^3 sont pathogènes. Les plus connues sont les salmonelles responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux, sans oublier les colibacilles qui ont une durée de vie de 2 à 3 mois et qui se multiplient dans l'environnement.

- **Les virus:**

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10^3 à 10^4 particules par litre. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus importants, on cite les entérovirus, les rotavirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A qui ont une durée de vie d'environ trois mois.

- Les parasites:

Ces organismes peuvent survivre entre une vingtaine de jours et une dizaine de mois, les plus connus sont le Ténia et la Giardia Lambia. Tous les paramètres précédemment décrits sont pris en considération par les employés des filières du traitement, que ce soit ceux qui mettent au point la conception de la station ou ceux qui surveillent le bon déroulement du traitement tels que les laborantins, qui, tous les jours analysent les eaux, à l'entrée et à la sortie de la station et s'assurent que les résultats du traitement sont dans les normes fixés par les organisations de la santé et de l'environnement.

- Les champignons:

Ils sont essentiellement les levures et les saprophytes normalement présents dans l'air et ils ne sont généralement pas pathogènes pour les animaux et les hommes sauf pour certains qui peuvent le devenir lorsque les conditions sont défavorables et doivent être éliminées avant l'utilisation des boues en agriculture comme par exemple le fusarium ou les dématinés [9].

Chapitre III

Traitement des eaux usées

1. Les étapes de traitement des eaux usées:

Ladépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitement sont définis:

- Les prétraitements consistent à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, dégraissage). Ce sont de simples étapes de séparation physique.
- Les traitements primaires regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. A l'issue du traitement primaire, seules 50 à 60 % des matières en suspension sont éliminées. Ces traitements primaires ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. Ils ont d'ailleurs tendance à disparaître en tant que seul traitement
- notamment lorsque l'élimination de la pollution azotée est requise. Pour répondre aux exigences réglementaires, une phase de traitement secondaire doit être conduite.
- Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote, et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique. Pour satisfaire à la réglementation actuelle. Le traitement secondaire est donc désormais le niveau minimal de traitement qui doit être mis en œuvre dans les usines de dépollution.
- Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans les lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières.

2. Les procédés de traitements des eaux usées:

Plusieurs niveaux de traitements sont définis :

2.1. Les prétraitements:

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement proprement dit. Un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Selon la nature des eaux à traiter et la conception des installations, le prétraitement peut comprendre

les opérations de dégrillage (principalement pour les déchets volumineux), de dessablage (pour les sables et graviers) et de dégraissage-déshuilage (pour les huiles et les graisses).

2.1.1. Le dégrillage :

Les eaux usées d'origine urbaine ou industrielle qui arrivent à la station d'épuration passent d'abord à travers des grilles à barreaux plus au moins espacés ou des tamis rotatifs qui retiennent les éléments les plus volumineux [10]. Ce traitement permet de protéger les ouvrages contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.

2.1.2. Dessablage:

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, le sable et les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites et les installations et de protéger les unités de traitement contre l'abrasion [11].

2.1.3. Dégraissage - Déshuilage:

Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs, ..., etc. Le dégraissage et le déshuilage permettent de récupérer grâce à des racleurs les huiles et les graisses domestiques ou industrielles qui tendent généralement à remonter en surface des eaux usées par flottation [11]. Ces deux procédés visent à éliminer la présence de corps gras dans les eaux usées qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient ensuite.

2.2. Traitement primaire (physico-chimique):

Les procédés de traitement physico-chimique font appel à des procédés physiques. Ces traitements sont la décantation, la coagulation-floculation, la flottation et la filtration.

2.2.1. Décantation primaire:

La décantation est la méthode la plus fréquente de séparation de MES et des colloïdes. C'est un procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité.

2.2.2. Coagulation – Flocculation:

La coagulation-flocculation est une méthode qui favorise la sédimentation des particules flottantes dans les eaux usées grâce à l'action de réactifs chimiques ajoutés artificiellement (les coagulants ou les flocculants). Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et la matière organique d'une eau est essentielle.

2.2.3. Flottation:

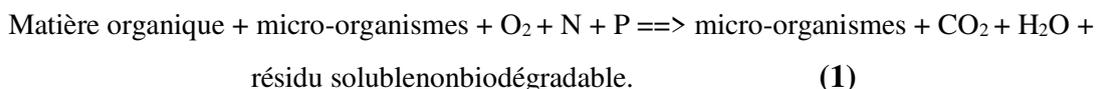
La flottation est un procédé de séparation des matières en suspension dans l'eau utilisant la densité apparente plus faible de ces matières et conduisant à leur rassemblement et à leur collecte à la surface libre [12].

2.2.4. Filtration:

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui idéalement retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat). L'utilisation de membrane ayant des pores de plus en plus petits permettent de pousser très loin le seuil de séparation de la matière pour aller jusqu'à la rétention de molécules et de sels [10].

2.3. Traitement secondaire ou traitement biologique:

Les traitements biologiques reproduisent artificiellement ou non les phénomènes d'auto-épuration existant dans la nature. Ils regroupent l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution. Son principe est de provoquer une prolifération de micro-organismes aux dépens des matières organiques apportées par l'effluent et en présence ou non d'oxygène. Il s'agit en fait d'un véritable transfert d'une forme non préhensible (matières colloïdales et dissoutes) en un élément manipulable (suspension de microorganismes).



Selon que l'oxydation se produit grâce au gaz oxygène dissous dans l'eau (processus aérobie) ou qu'au contraire le processus se fasse sans oxygène (processus anaérobie). Le moteur de décomposition (aérobie ou anaérobie) des substances organiques est constitué par des enzymes catalyseurs organiques sécrétés par les organismes. On distingue les enzymes extracellulaires qui provoquent la destruction des structures moléculaires trop complexes pour pénétrer au sein de la cellule, les enzymes intracellulaires qui assurent l'assimilation et par conséquent, sont à l'origine des phénomènes vitaux provoquant la prolifération des cellules. Les traitements biologiques sont bien adaptés pour éliminer la pollution carbonée mais également les pollutions azotées et phosphorées [13,14].

2.3.1. Les différents types du traitement biologique:

En traitement biologique, on distingue des procédés intensifs et d'autres extensifs :

2.3.1.1. Technique intensives:

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel [15]. Quatre grands types de procédés sont utilisés :

- Litsbactériens.
- Disquesbiologiques.
- Bouesactivées.
- Bio filtre.

2.3.1.1.1. Lits bactériens « filtres bactériens »:

Les processus des lits bactériens sont une technique de traitement qui s'inspire de la filtration par le sol. Le principe des lits bactériens consiste à faire ruisseler l'eau à traiter préalablement décantée sur une masse de matériaux poreux (filtrant) qui sert de support aux microorganismes (bactéries). Ils sont généralement réalisés en forme circulaire en se basant sur les trois paramètres suivants [15] :

- ✓ Choix desmatériaux.
- ✓ Répartition del'effluent.
- ✓ Utilisation derecyclage.

Pour un bon rendement, une aération apporte l'oxygène nécessaire aux microorganismes qui se développent sous forme d'un fil biologique en surface de matériaux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de laDBO₅.

2.3.1.1.2. Bio-filtres:

Le développement actuel des techniques par cultures fixées sur milieu granulaire vise à réaliser la réaction biologique de dégradation de la pollution par la biomasse épuratrice et la clarification par filtration de l'effluent traité. Elle ne comporte pas de clarification finale par décantation. L'ouvrage se présente comme un filtre garni en matériaux de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace dans lequel l'accroissement de la biomasse et les matières en suspensions de l'effluent à traiter, retenues dans le matériau vont colmater progressivement lelit.

2.3.1.1.3. Disques biologiques:

Le dispositif consiste en un ensemble de disques en matière plastique, parallèles et régulièrement espacés par un axe commun. Pour constituer un tambour, les disques sont immergés à 40% approximativement dans un bassin recevant l'eau à traiter. L'écartement entre les disques qui est d'environ 2 cm qui permet la circulation de l'eau. La rotation des disques permet le contact du film biologique qui les recouvre avec l'eau usée et l'air. C'est presque le même système que le lit bactérien traditionnel[15].

2.3.1.1.4. Les boues activées:

Les procédés par boues activées comportent essentiellement une phase de mise en contact de l'eau à épurer avec un floc bactérien en présence d'oxygène (aération) suivie par une phase de séparation de ce floc (clarification). La différence provient d'une plus grande concentration en micro-organismes et par conséquent, d'une demande volumique en oxygène plus importante. De plus, pour maintenir en suspension la masse bactérienne, une agitation artificielle est nécessaire. Les micro-organismes épurateurs sont en suspension dans un bassin aéré, on parle alors de procédé à boues activées. Le réacteur est alimenté en continu (eau usée) et la biomasse transforme les polluants :

- Par adsorption ou absorption des matières polluantes sur le floc bactérien.
- Par conversion de la DBO₅ en matières cellulaires : croissance de la culture bactérienne et des micro-organismes associés ; insolubilisation de la pollution.
- Par oxydation en CO₂ et H₂O qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et la production de nouveau matériau cellulaire : transformation de la pollution dissoute en gaz.

Environ un tiers de la matière organique de l'eau usée doit être oxydée pour produire l'énergie requise. En conséquence, deux tiers subsistent sous forme de boues en excès (biomasse épuratrice générée). Comme dans le traitement physico-chimique des eaux usées, on aura deux phases:

- **Phase biologique** : transformation de la pollution dissoute en gaz ou en biomasse.
- **Phase physique**: séparation de la biomasse épuratrice de l'eau épurée: décantation

[16, 17].

2.3.1.2. Techniques extensives:

Les solutions extensives correspondent à des procédés d'épuration dans lesquels la concentration en organismes épurateurs est faible. Parmi ces procédés on note le lagunage [11].

2.3.1.2.1. Le lagunage:

Le lagunage secondaire utilise des mécanismes naturels pour traiter les eaux usées : bactéries, photosynthèse et pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues. Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassins : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeur, notamment à cause de la formation de composés soufrés. Le bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique. Enfin, le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes, sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues.

Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. L'élimination des virus est un peu moins efficace [18]. D'après Faby, écrit que pour un lagunage secondaire à plusieurs bassins dont les profondeurs sont comprises entre 0,7 et 1,2 m et pour une durée de rétention supérieure à 60 jours, la concentration finale en bactéries dans l'effluent est inférieure à 10^4 bactéries par litre [19]. Si la durée de rétention est suffisante, les œufs d'helminthes peuvent être éliminés à 100 % par décantation. Le lagunage secondaire est donc un moyen peu coûteux et efficace de traiter les eaux usées. Il nécessite peu de moyens financiers, techniques et humains. Cependant, il requiert une surface importante. L'efficacité du traitement dépend surtout de la durée de rétention et des conditions climatiques. Ainsi, il est moins efficace en hiver qu'en été.

2.4. Le traitement tertiaire:

Appelés aussi les traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques, ayant déjà subi au préalable des traitements primaires et secondaires qui s'avèrent insuffisants pour arriver au bout de ces polluants. Pour cela les traitements tertiaires s'imposent et deviennent plus que nécessaires, afin de garantir une meilleure protection des milieux naturels récepteurs.

Les traitements tertiaires souvent considérés comme facultatifs ou complémentaires permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. De telles opérations sont nécessaires pour assurer une protection complémentaire de l'environnement récepteur ou une réutilisation en agriculture ou en industrie. Les traitements tertiaires visent à améliorer la qualité générale de l'eau. Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige. On distingue généralement les opérations suivantes:

- la nitrification-dénitrification et dé-phosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique) ;
- la désinfection bactériologique.

2.4.1. Elimination de l'azote:

- L'ammonification : première étape de la dégradation des déchets azotés organiques. L'azote organique est converti en ammoniac (NH₄⁺ et NH₃) par réaction chimique, cette réaction chimique est complète en milieu boues activées.
- La nitrification (croissance des bactéries autotrophes en phase aérobie) : en environnement aérobie, les bactéries autotrophes Nitrosomonas et Nitrobacter transforment l'azote ammoniacal (NH₄⁺) en présence d'oxygène pour se développer et produire des nitrites (NO₂⁻) puis des nitrates (NO₃⁻).
- La dénitrification (croissance de bactéries hétérotrophes en phase anoxique) : en environnement anoxique, certaines bactéries hétérotrophes consomment les nitrates, à la place de l'oxygène et le carbone pour se développer et produire de l'azote gazeux (N₂).

2.4.2. Elimination du phosphore (dé-phosphatation):

L'élimination du phosphore, ou "dé-phosphatation" peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. La dé-phosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes de la dé-phosphatation biologique sont relativement complexes et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées).

Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à une déphosphatation physico-chimique pour atteindre les niveaux de rejets requis.

2.4.3. Les procédés de désinfection:

Le procédé de désinfection est appliqué dans le cas d'un milieu récepteur sensible (zone de baignade ou de conchyliculture...) car une épuration classique n'élimine pas la pollution bactériologique. On applique une désinfection qui est assurée, le plus souvent, par ajout de chlore en sortie de station d'épuration dans un bassin de "contact", ou par des traitements aux ultra-violets.

- Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques et avec les micro-organismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore. D'autant plus que le coût de la déchloration qui permet de limiter considérablement l'effet toxique de certains produits dérivés formés lors du traitement est élevé.

- Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s). L'efficacité du traitement dépend essentiellement de deux paramètres:
 - Les lampes, doivent être remplacées régulièrement : elles sont usées au bout d'un an et demi. De plus, elles doivent être nettoyées car elles ont tendance à s'encrasser;
 - La qualité de l'effluent, dont les MES et certaines molécules dissoutes absorbent les UV, ce qui diminue l'efficacité des lampes.

3. Traitement et élimination des boues:

Les traitements biologiques ou physico-chimiques utilisés pour l'épuration des eaux résiduaires génèrent une production importante de boues diluées (> 99% d'eau) et contenant de la matière organique fermentescible. Les deux principaux objectifs de la filière de traitement des boues seront donc:

- De stabiliser les matières organiques pour éviter toute fermentation incontrôlée qui entraînerait des nuisances olfactives,
- D'éliminer un maximum d'eau afin de diminuer les volumes de boues à évacuer.

Après une étape préalable d'épaississement permettant de concentrer les boues, la stabilisation de la matière organique est réalisée grâce à des procédés biologiques ou physico-chimiques. L'étape finale de déshydratation permettra d'extraire le maximum d'eau.

3.1. L'épaississement des boues:

L'épaississeur est le passage obligé pour réduire à faible coût le volume des boues à traiter. Il agit comme un décanteur et réduit légèrement la teneur en eau. Son efficacité s'accroît s'il est précédé de l'injection de réactifs améliorant la décantation (poly électrolytes).

3.2. La stabilisation des boues:

La stabilisation a pour but de réduire la matière organique contenue dans les boues ; elle peut être :

- Biologique, par séjour d'environ un mois dans un digesteur où la matière organique est soumise à l'action de bactéries anaérobies. Leur activité exige le maintien du milieu à une température voisine de 35°, ce qui est facilité par la production de méthane issu de la fermentation.
- Chimique, par injection de chaux.

3.3. La déshydratation des boues:

La déshydratation réduit la teneur en eau. On utilise le plus souvent des centrifugeuses ou des filtres presse ou filtres à bandes, précédés d'un conditionnement des boues qui favorise la séparation de la phase liquide. Elle s'accompagne d'une modification de la texture de la boue : de liquide elle devient pâteuse puis solide selon la quantité d'eau extraite. Lorsque la teneur en eau atteint 70 %, la boue est dite "pelletable". Elle peut être transportée en benne et épandue avec un épandeur à fumier. Elle est solide et tient en tas lorsque la teneur en eau descend en dessous de 60 %. Elle est alors aisément transportable et peut être stockée dans les champs.

Chapitre IV

Réutilisation des eaux usées

1. Réutilisation des eaux usées épurées (REUE) pour l'irrigation:

On appelle réutilisation des eaux, l'emploi nouveau des « eaux de deuxième main » pour un usage différent de celui de son premier emploi grâce à des actions volontaires. La réutilisation peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

- La réutilisation directe correspond à l'emploi immédiat des eaux déjà utilisées, après épuration, sans dilution de ces eaux dans le milieu naturel.
- La réutilisation indirecte correspond à l'emploi, sous forme diluée, des eaux déjà utilisées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel.

Après leur passage en station d'épuration, au lieu d'être rejetées dans les eaux superficielles des cours d'eau, plans d'eau ou littorales, les eaux usées peuvent faire l'objet d'une épuration supplémentaire et être réutilisées notamment pour des usages agricoles. Cette réutilisation permet d'une part de mobiliser une ressource en eau supplémentaire et d'autre part de protéger les eaux réceptrices accueillant les eaux usées traitées.

La figure ci-dessous représente la réutilisation intentionnelle des eaux usées.

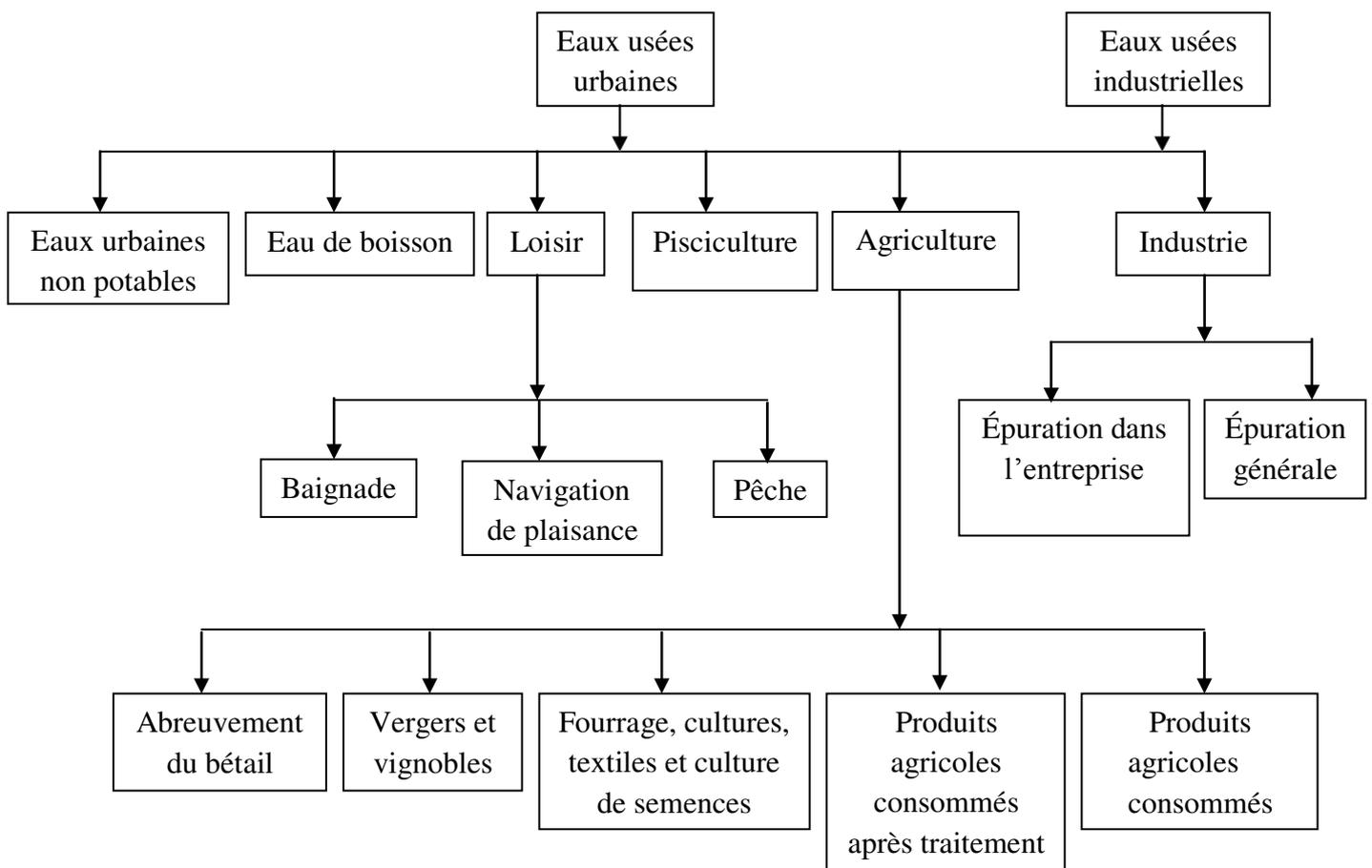


Figure N°1 : La réutilisation intentionnelle des eaux usées.

2. Les principales voies de réutilisation des eaux usées:

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel.
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriels et urbains.

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau. L'évolution de la réutilisation des eaux usées a connu et connaît encore à l'heure actuelle différentes phases en fonction des intérêts mis en jeu, qu'ils soient économiques, sanitaires, socioculturels ou environnementaux. Elle est liée aux développements de l'ingénierie des eaux usées, couplés aux pressions croissantes exercées sur les ressources en eau. Actuellement, les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très larges, quand la qualité est en adéquation avec l'usage.

3. Domaines de réutilisation des eaux épurées:

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisations. Selon Boxio et al, Il existe des milliers de projets de réutilisation des eaux usées. On peut distinguer cinq catégories de réutilisation:

- **réutilisation pour l'irrigation** : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc.
- **réutilisation industrielle** : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc.
- **réutilisation en zone urbaine** : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc...
- **la production d'eau potable;**
- **la recharge de la nappe phréatique.**

3.1. La réutilisation agricole:

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.). Qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs [20].

3.2. La réutilisation industrielle:

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique dans le monde. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau [21].

3.3. La réutilisation en zone urbaine:

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

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

3.4. La production d'eau potable:

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel. Les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « pipe to pipe »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie. La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, la réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement.

3.5. La recharge de lanappe.

La principale motivation concernant la recharge de la nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

4. Les fertilisants dans les eaux usées traitées:

La concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur agronomique des eaux usées. Toutefois, ces éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée ou à un apport d'eau usée important. Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments : NPK, Ca, Mg et micronutriments : Fe, Zn, Cu, Mn...), qui sont essentiels à la nutrition des plantes. Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constitue ainsi une source potentielle de pollution des eaux de la nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale.

4.1. Les sources NPK utilisées:

- Le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) est utilisé comme source d'azote.
- Le disodium hydrogénophosphate (Na_2HPO_4) comme source de phosphore.
- Le chlorure de potassium (KCl) comme source de potassium.

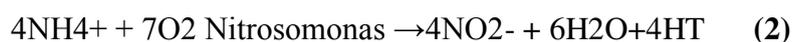
4.1.1. L'azote:

L'azote est présent dans les eaux usées sous les différentes formes chimiques suivantes : ion ammonium (N-NH_4^+), ion nitrite (N-NO_2^-) et ion nitrate (N-NO_3^-).

$$\text{Azote global} = \text{Azote kjeldahl} + \text{Nitrites} + \text{Nitrates} \quad (1)$$

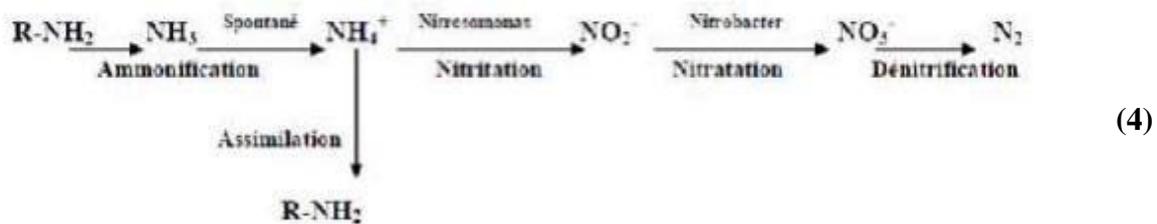
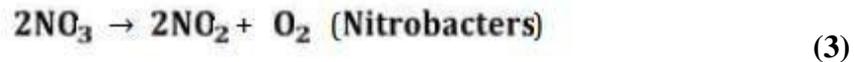
- **Nitrites (NO_2^-):**

Les ions nitrite sont le produit soit de l'oxydation de l'ion ammonium (NH_4^+) dans les conditions d'aérobie par les nitrosomonas. Soit de la réduction des ions nitrate (NO_3^-)



- **Nitrates (NO_3^-):**

Les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par l'action des nitrobacters en transformant les nitrites en nitrates selon la réaction suivante :



4.1.2. Le phosphore:

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphates, poly-phosphates, phosphore organique etc. L'ion ortho-phosphate (PO_4^{-3}) est la forme la plus abondante dans l'eau et provient en majeure partie des déjections animales et des produits de lessive. Il joue un rôle important dans la respiration des cellules vivantes.

4.1.2.1. Problématique de la pollution phosphatée:

Les micro-organismes assurant la dégradation du carbone et de l'azote intègrent du phosphore à leur matériel cellulaire (structure membranaire. Adénosine triphosphate ATP. Acide ribonucléique ARN...). Le phosphore éliminé simplement par cette voie représente environ 25 % de la quantité journalière à dégrader. Pour augmenter les performances d'élimination du phosphore, les installations à boues activées réalisent un transfert sous forme particulaire soit par précipitation (voie physico chimique). Soit par suraccumulation au sein de la biomasse épuratrice (voie biologique), soit par combinaison des deux processus (filère combinée).

Le phosphore est le facteur limitant sur lequel il est possible de jouer efficacement pour réduire l'eutrophisation continentale.

4.1.2.2. Traitement biologique du phosphore:

Le traitement biologique, au sens large, englobe d'une part l'assimilation du phosphore par la biomasse pour ses besoins métaboliques minimums et d'autre part la sur accumulation du phosphore par des bactéries dé-phosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques.

Par convention, on parle de traitement biologique du phosphore (au sens strict) lorsqu'il s'opère une suraccumulation du phosphore.

4.1.2.3. Le phosphore dans les eaux usées:

Le phosphore des eaux usées, soluble ou particulaire, peut se trouver sous différentes formes chimiques. On distingue les formes minérales des formes organiques et le phosphore total correspond à la somme des deux. La première catégorie correspond notamment à l'ensemble

des phosphates (forme oxydée du phosphore) comprenant les sels d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) pouvant s'ioniser en $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} selon le pH, et les polyphosphates [22].

4.1.3. Le potassium :

Cet élément est très mobile dans la plante et est rapidement distribué dans les différents organes du végétal. Le potassium joue un rôle fondamental dans l'absorption des cations, dans l'accumulation des hydrates des protéines, l'organisation de la cellule, le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie de l'eau des plantes (régulation des stomates). Le potassium est un élément de résistance des plantes au gel et à la sécheresse ; c'est un activateur du système enzymatique. Il est essentiel pour le transfert des assimilés vers les organes de réserve (bulbes et tubercules). Dans toutes les conditions de stress, l'apport de K permet de corriger les perturbations éventuelles. Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30mg/l.

5. Contraintes liées aux risques infectieux des eaux usées:

Les contraintes principales sont donc celles posées par l'adaptation aux usages, des normes commencent à être établies pour les divers usages de l'eau qui précisent les teneurs limites des différents composants qu'elle a dissous ou transportés pour permettre une utilisation sans risque. Il en est de même pour de nombreux usages industriels pour lesquels on a établi la liste des corps à ne pas tolérer et les teneurs à ne pas dépasser. Ces normes guides ou impératives édictées par les organisations internationales (Organisation mondiale de la Santé OMS, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture FAO) ou par les gouvernements qui fixent l'objectif à obtenir grâce à des traitements appropriés. La réglementation prévoit ainsi la possibilité d'irriguer les cultures ou d'arroser les espaces verts. Elle distingue les garanties à apporter sur cette activité en fonction des risques (type de culture, environnement proche et qualité des eaux traitées).

Cette réutilisation doit être compatible avec les impératifs de protection de la santé publique et de l'environnement. Le risque sanitaire lié à la réutilisation dépend à la fois des concentrations des contaminants et du degré d'exposition des populations. Les populations exposées sont principalement les travailleurs agricoles, les consommateurs et les populations vivant à proximité des zones d'irrigation[23].

6. Notion de l'irrigation avec des eaux usées:

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides. L'irrigation par les eaux usées proviennent des rejets d'eaux urbains, qui sont utilisées soit à l'état brutes, soit après traitement d'épuration de type secondaire (boues activées ou lagunage le plus souvent) avec ou sans chloration. Dans le cas spécifique de l'irrigation par les eaux usées, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphopotassium) ainsi que des oligo-éléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique.

L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertilisation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertilisation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais, elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols [24].

6.1. Irrigation par les eaux usées d'origine urbaine:

La récupération et la réutilisation de l'eau usée s'est avérée être une option réaliste pour couvrir le déficit en eau et les besoins croissants en eau dans les pays arides et semi-arides comme l'Algérie. Mais aussi pour se conformer aux règlements relatifs au rejet des eaux usées, en vue de la protection de l'environnement et de la santé publique, en outre, du point de vue environnemental.

6.2. Critères de qualité des eaux pour l'irrigation:**6.2.1. Critères physico-chimiques:**

Les principaux critères pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation sont :

1. Lasalinité.
2. Lasodisation.
3. Les éléments defertilisants.
4. Les éléments tracesmétalliques.
5. Le pH de l'eaud'irrigation.
6. L'alcalinité et ladureté.

6.2.1.1. La salinité:

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. On estime que la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelque 200mg/l. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont le calcium, le magnésium, les chlorures, les sulfates et les bicarbonates. Elle s'exprime en concentration pondérale (mg/l ou ppm) ou en conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les plantes. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

6.2.1.2. La sodisation:

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation, leur problème principal avec une grande quantité de sodium peut dégrader les propriétés physico-chimiques des sols qui influent sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement d'agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact, lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour les cultures sensibles comme les carottes, les haricots et les fraises. La concentration de sodium dans l'eau irriguée peut être estimée par le rapport d'adsorption de sodium (SAR).

6.2.1.3. Les éléments fertilisants (N, P, K):

Les fertilisants sont les composés de l'eau usée qui sont indispensables à la croissance des végétaux. L'eau apporte de l'azote, phosphore et du potassium.

Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Les nutriments constituent une caractéristique spécifique de l'eau usée traitée qui intéresse particulièrement les agriculteurs.

6.2.1.4. Les éléments traces métalliques ETM:

Il s'agit essentiellement des métaux lourds et du bore. Pour leur développement, les plantes ont besoin d'un certain nombre d'oligo-élément dont font partie certains métaux lourds.

Cependant, des quantités trop importantes peuvent être néfastes au développement. Il est très difficile de préciser pour chaque élément le seuil de photo-toxicité, ce seuil étant fonction des différents types de plantes. Le bore, en raison de sa toxicité pour certaines plantes est également un élément -trace qui nécessite d'être pris en considération lors de l'étude de faisabilité d'un projet d'irrigation.

6.2.1.5. Alcalinité et dureté:

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides. En d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonate de calcium et de magnésium dessous dans l'eau, lorsque on ajoute de l'acide pour neutraliser l'alcalinité. La réaction produit de l'eau, du dioxyde de carbone qui libre dans l'air, ainsi que des cations accompagnateurs (Ca^{2+} et Mg^{2+}). Donc il est très important de casser cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponible à la plante.

6.2.1.6. Critère de qualité biologique:

Les critères de qualité de l'eau usée traitée et les directives de son utilisation sont les bases essentielles d'une installation réussie de tout projet de recyclage d'eau usée traitée. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Une réutilisation restrictive ou non restrictive peut être adoptée en fonction de la qualité microbiologique. Les eaux usées traitées contiennent tous les micro-organismes (bactéries fécales, virus, protozoaires intestinaux, œufs d'helminthes intestinaux) [25]. D'après Shuval le temps de survie des agents pathogènes en eaux usées et dans les sols à une température comprise entre 20°C et 30°C est très élevé pour certain survie des différents agents pathogènes dans l'environnement.

Tableau N°4 : La résistance des micro-organismes aux facteurs environnementaux varie selon les espèces.

Agents pathogènes	Temps des survies (en jours)	
	Dans les eaux usées 20°C à 30°C	Dans les sols à 20°C
Virus entérovirus	<à50	120
Bactéries		
• Coliformesfécaux	<à30	60
• Salmonella	< à 30	60
• Shigehlla	<à10	30
Protozoaires		
Entamoebahistolytica (Kystes)	<à15	30
Helminthes		
Ascaris lumbricoides(Œufs)	Plusieurs mois	>à une année

6.3. Irrigation avec l’eau usée traitée:

L’irrigation joue un rôle essentiel dans l’accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l’irrigation est essentielle pour une agriculture économiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l’irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie.

6.3.1. Méthodes d’irrigation:

➤ **Méthodes (traditionnelles) de surface:**

Les méthodes consistent à :

- L’irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface duterrain.
- L’irrigation partuyaux.
- L’irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain esthumectée.

Ces méthodes sont utilisées sur presque 95% des superficies irriguées à travers le monde. Elles sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Elles conviennent à

beaucoup de pays en voie de développement, en particulier si l'eau n'est pas le facteur limitant pour la production agricole [26].

➤ **Les méthodes d'irrigation sous pression:**

On cite pour ces méthodes :

- **Les asperseurs** (asperseurs de capacité élevée, mini asperseurs ordinaires et asperseurs). Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie.
- **La goutte à goutte** (système d'irrigation ponctuel ou localisé). Les caractéristiques principales du système sont:
 - Efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la meilleure méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème.
 - Méthode appropriée pour faire face aux problèmes associés à la salinité de l'eau d'irrigation et à l'alcalinité du sol.
 - Cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
 - Le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
 - Aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

➤ **Irrigation souterraine** : Ce système n'est pas encore employé avec l'eau usée, mais il pourrait être utile pour irriguer avec de l'eau usée de mauvaise qualité et à risque sanitaire élevé. L'irrigation souterraine et l'irrigation localisée peuvent assurer une meilleure protection sanitaire.

➤ **Irrigation par Bubbler** : C'est une technique d'irrigation localisée avec régulation de l'écoulement. Lorsqu'il y a danger de colmatage, ce système convient mieux que l'irrigation goutte à goutte et les miniasperseurs.

6.3.2. Choix du système d'irrigation:

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public. Le tableau N°4 représentant la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, l'araie (ousillon), l'aspersion, la goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est

également valable pour l'eau usée traitée, en particulier en ce qui concerne la salinité. Les problèmes de colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs et des systèmes d'irrigation souterrains peuvent être sérieux. Leur développement (dépôts biologiques, bactéries, etc.) dans les asperseurs, les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation, produit le colmatage. Les sels et les solides en suspension peuvent également produire le colmatage. Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme le système idéal, en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension (MES).

Tableau N°5 : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires que l'eau usée est utilisée en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS [28] :

Méthode d'irrigation	Facteurs affectant le choix	Mesures spéciales pour les eaux usées
Irrigation à la planche	Plus faible coût, planage précis non nécessaire	Protection complète pour les ouvriers agricoles, les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage précis peut être nécessaire	Protection pour les ouvriers agricoles, éventuellement pour les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation par aspersion	Efficacité moyenne d'utilisation de l'eau, nivellement nonrequis	Quelques cultures principalement les arbres fruitiers, ne devraient être irrigués. Distance minimum de 50 – 100 m des maisons et des routes. Des eaux ayant été traitées par voie anaérobie ne devraient pas être employées, en raison des nuisances olfactives.
Irrigation souterraine et localisée	Coût élevé, efficacité d'utilisation de l'eau élevée, rendements plus élevés	Filtration pour prévenir le colmatage des distributeurs

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion, principalement associée à l'agriculture. De nombreuses solutions techniques permettent de répondre aux normes de réutilisation existantes, en particulier aux directives de l'OMS sur l'irrigation restreinte et sans restrictions. Dans les pays où les réserves actuelles d'eau douce sont, ou seront prochainement, à la limite du niveau de survie, le recyclage des eaux usées semble être la technique alternative la plus abordable, tant au niveau financier (les traitements extensifs sont les plus adaptés) qu'au niveau technique pour les réutilisations agricoles, industrielles et urbaines ne nécessitant pas une eau de qualité potable.

Chapitre V

Réglementation en vigueur

1. Les réglementations mondiales:

L'élimination des risques microbiologiques et chimiques est le principal objectif du traitement des eaux usées destinées à être réutilisées. Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures[24].

1.1. Recommandations de l'OMS:

L'OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées, qui tiennent compte des situations locales et privilégient les moyens à prendre pour réduire au minimum les risques sanitaires posés par ces eaux. L'approche innove surtout parce qu'elle encourage l'adoption de mesures relativement simples pour protéger la santé à tous les maillons de la chaîne alimentaire. Il s'agit d'une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants: le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d'irrigation, le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et la cuisson des produits[27].

Tableau N°6 : Recommandations microbiologiques de l'OMS pour le traitement des eaux usées destinées à l'irrigation [27].

Catégorie	Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (nombre d'œufs par litre – moyenne arithmétique)*	Coliformes intestinaux (nombre par 100 ml – moyenne géométrique)*	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^d	Ouvriers agricoles, consommateurs, public	≤ 1	≤ 1000	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8–10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B, si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

* Dans certains cas, il faut tenir compte des conditions locales épidémiologiques, socio-culturelles et environnementales et modifier les directives en conséquence.

^b Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes.

^c Pendant la période d'irrigation.

^d Une directive plus stricte (≤ 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

^e Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

1.2. Directives de la FAO:

La FAO établit en 1974 des directives concernant la qualité physicochimique et d'éléments traces métalliques de l'eau d'irrigation dans lesquelles l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau, sur la production agricole, sur les conditions du sol et les techniques culturales [29].

Tableau N°7 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO [29].

		Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité (influe sur l'eau disponible pour la plante)				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR)				
SAR = 0-3 et CEi =		>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR = 3-6 et CEi =		>1.2	1.3-0.3	<0.3
SAR = 6-12 et CEi =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR = 12-20 et CEi =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR = 20-40 et CEi =		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium :				
Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	□
Chlore :				
Irrigation de surface	méq/l	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers (affecte les cultures sensibles)				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃) (pour aspersion sur frondaison)	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5-8.4		

2. Réglementation Algérienne de REUE:

La réglementation algérienne de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture a été préparé par les structures algériennes responsables pour l'introduction des EUE comme alternatives efficaces contre la pénurie des eaux conventionnelles à l'échelle national (Tab.4 et 5). Dans les zones sahariennes, les ressources en eaux souterraines sont vulnérables et non renouvelables, la réutilisation des eaux usées traitées on respectant les normes cité ci-dessous (voir tableaux) apparait comme une solution très conseillé[30].

- **Loi 05-12 relative à l'eau** : fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien pour la collectivité nationale[30].

• **Décret exécutif n° 07-149** du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Les principaux axes de ce décret sont les modalités de Concession d'utilisation des EUE, les risques liés à l'usage des EUE (interdictions, distance à respecter...), Les contrôles sanitaires, Le Cahier des charges-type relatif à la REUE la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par les eaux usées épurées[31].

Tableau N°8 : Normes de rejets pour l'irrigation [31].

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

Source : ANRH (ALGER)

Tableau N°9 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées [31].

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO *(1985)	OMS **(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4 *		6,5-8,5
CE	ds/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée > 3,0 * Forte restriction		3
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O ₂ / l	< 40 **		90
DBO₅	mg O ₂ / l	<10 **		30
NO₃⁻	mg/l	50 **		30
NO₂⁻	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH₄⁺	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO₄³⁻	mg/l	< 0,94 **		Non disponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction		Non disponible
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **		Non disponible

Tableau N°10 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation.

Paramètre	Long terme ^a (mg/L)	Court terme ^b (mg/L)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.1	2.0
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Cyanures	0.05	0.5
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Phénols	0.005	0.002
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Mercure	0.01	0.01
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

a : pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

b : pour l'eau utilisé pendant une période de 20ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins.

3. Modes de réutilisation des eaux usées traitées:

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées, mais dans la plupart des cas, les eaux usées sont utilisées à l'état brut ou après un traitement minimal, et pratiquement aucune mesure n'est prise pour protéger la santé [28].

Les différents types de réutilisation sont :

3.1. Usage en agriculture :

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concernent des utilisations agricoles, la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles [32].

4. Risques de la réutilisation des eaux usées:

4.1. Risque sanitaire:

Des virus, des bactéries, des protozoaires et des helminthes pathogènes passent dans les excréta des personnes infectées et peuvent être transmis soit par voie (par exemple, par la consommation de légumes contaminés), soit par la peau [28].

4.2. Le risque environnemental:

Il réside dans la dégradation de la qualité des sols, des eaux souterraines et de surface, Les sols ayant une perméabilité interstitielle (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols fissurés (calcaire, dolomies, granit, etc.). Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque[33].

5. Arrêtés interministériels:

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées des fins d'irrigation.

- La présence de normes de rejets spécifiques à la réutilisation de ces eaux usées en agriculture [31].

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Le ministre des ressources en eau, Le ministre de l'agriculture et du développement rural,

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement,

Vu le décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la normalisation,

Vu le décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées Epurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y affèrent :

Arrêtent :

Article 1^{er}—En application des dispositions de l'article 2 du décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation conformément à l'annexe jointe.

Article 2^{ème}—Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012.

Le ministre des ressources en eau : Abdelmalek SELLAL

Le ministre de l'agriculture et du développement rural Rachid BENAÏSSA

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalières Djamel OULD ABBES

6. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation :

Tableau N°11 : Les paramètres microbiologiques.

I. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

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

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

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

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

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

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

Tableau N°12 : Les paramètres physico-chimiques.

2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES

	PARAMETRES	UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = $\sigma \cdot 3 \text{ CE}$		0.2
	3 - 6	ds/m	0.3
	6 - 12		0.5
12 - 20	1.3		
20 - 40	3		
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

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

Partie pratique

Chapitre I

Présentation de l'unité

L'Office national de l'assainissement est un établissement public dont la raison d'être est d'absorber la pollution des effluents liquides urbains afin de protéger le milieu récepteur. Il s'est donc inscrit dans une démarche de performance et d'efficacité environnementale en tenant compte de la dimension « protection de l'environnement » dans toutes les activités de façon coordonnée. Il vise non seulement à traiter les eaux usées mais également à leur réutilisation après traitement dans l'irrigation des cultures et des espèces vertes en en tenant compte des risques sanitaires. Afin d'assurer la couverture des besoins en eau pour l'agriculture. C'est dans ce cadre que l'office national de l'assainissement (ONA) de Boumerdes nous a confié le thème portant sur la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation.

1. Présentation de l'Office National de l'Assainissement:

L'ONA est placé sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau (MRE). C'est un établissement public national à caractère industriel et commercial qui a été créé par décret exécutif n°01 -102 du 21 Avril 2001. Son siège social est : se trouve au carrefour de Sidi Arcin route de Baraki.

L'office est chargé de la gestion, de l'exploitation et de la maintenance des ouvrages et infrastructures d'assainissement assurant notamment les missions de :

- Protection et de sauvegarde des ressources et de l'environnement hydrique,
- Lutte contre les sources de pollution hydrique,
- Préservation de la santé publique,
- Proposition au ministère de tutelle des mesures d'encouragement de l'état ou d'incitations à caractère technique ou financier dans le domaine de l'assainissement,
- Réalisation de nouveaux projets financés par l'état ou les collectivités locales.

L'ONA assure également pour le compte de l'état, la maîtrise d'ouvrage déléguée concernant les projets d'études, de réalisation, de réhabilitation, des diagnostics de station d'épuration, des réseaux d'assainissement et de collecte d'eau pluviale ainsi que des stations de relevage.

2. Présentation de l'unité d'assainissement de Boumerdes:

La station d'épuration de Boumerdes est conçue pour traiter les eaux usées domestiques de la ville de Boumerdes ainsi que d'autres communes à savoir Corso et Tijalabine. Elle s'étend sur une surface de 3.11 hectares et peut traiter jusqu'à 75000 éq/hab. L'eau épurée issue de la station est acheminée directement vers la mer par l'oued Tatareg.



Figure N°3 : Station d'Épuration de Boumerdès vue par satellite
Source : Google earth.

L'unité d'assainissement de Boumerdès a été mise en chantier en juillet 2004, date de sa création. Depuis sa création, plusieurs objectifs ont été atteints dont nous citons :

- L'adoption du terrain et les reconnaissances de l'environnement de la wilaya.
- La réception des transferts de la direction hydraulique de wilaya DHW (infrastructures et équipements).
- Le maintien et l'entretien des systèmes d'assainissement de la wilaya.

L'ONA unité de Boumerdes exploite sur le territoire de la wilaya:

- ✓ Trois Stations d'épuration:
 - STEP de Boumerdes 75000éq/h.
 - STEP de Zemmouri 25000éq/h.
 - STEP de Thénia 30000éq/h.
 - 12 stations de relevage.
- ✓ Environ 1000 Km linéaire de conduites tout diamètre confondu avec leurs ouvrages annexes (regards, avaloirs, chambres à sable, déversoirs d'orages,...etc.).
- ✓ Afin d'assurer une couverture équitable et efficace et un rapprochement des citoyens au niveau de toutes les communes de la wilaya, quatre centres d'assainissement ont été créés et rendus opérationnels au courant de l'année 2007 à savoir le:
 - Centre des Issers (couvrant 08 communes).
 - Centre de Boumerdès (couvrant 07 communes).
 - Centre de Baghliia (couvrant 08 communes).
 - Centre de Boudouaou (couvrant 09 communes).

L'unité d'assainissement de Boumerdès est composée de la direction, de quatre départements : ressources humaines (DRH), finances et comptabilité (DFC), administration des moyens (DAM) et l'exploitation et la maintenance (DEM), constituant le soutien aux quatre centres d'assainissement (Boumerdès, Isser, Baghlia et Boudouaou) répartis à travers le territoire de la wilaya englobant les 32 communes. Avec ses 292 éléments que compte à ce jour l'unité, elle gère 3 stations d'épuration. 13 stations de relevage et environ 1000km de réseau tout diamètre confondu.

3. Le réseau d'assainissement:

Le réseau d'assainissement est de type unitaire. Les collecteurs principaux s'orientent vers la station d'épuration en régime gravitaire et sont forcés à l'aide des stations de relevage. Les objectifs de l'assainissement :

- L'hygiène publique,
- La protection accrue du milieu naturel,
- L'accroissement du confort et la sécurité des habitants.

4. Les données de base de la station:

- Date de mise en service : Janvier 2001,
- Type de réseau : unitaire,
- Nature des eaux brutes : domestiques,
- Nombre d'équivalent par habitant : 75000,
- Volume journalier : 15.000m³/j,
- Consommation par habitation : 200l/j,
- Débit moyen journalier : 625m³/j,
- Débit moyen horaire : 26.04m³/h,
- Débit de pointe temps sec : 1063m³/h,
- Débit de pointe temps de pluie : 1944m³/h,
- DBO₅ éliminée: 4050kg/j,
- MES éliminées: 5250kg/j.

5. Objectif du traitement:

Il s'agit d'éliminer 90% de la teneur en matières décantables afin de respecter les normes avant le rejet des eaux épurées, à savoir : un DBO₅ de 30 mg/l, les MES de 30 mg/l, une DCO de 90 mg/l, le NTK de 40 mg/l, et un pH se trouve entre [6.5-8.5].

Actuellement, le rendement moyen atteint pour la DBO₅ est 88.88%, pour le MES 91.42%, et pour la DCO 88%.

Avant et après traitement, les eaux usées sont analysées pour pouvoir décider de leur rejets si les résultats d'analyses physico-chimique et biologiques respectant les normes, ces analyses sont effectuées au niveau du laboratoire de l'ONA.

Chapitre II

Traitement actuel

1. Introduction:

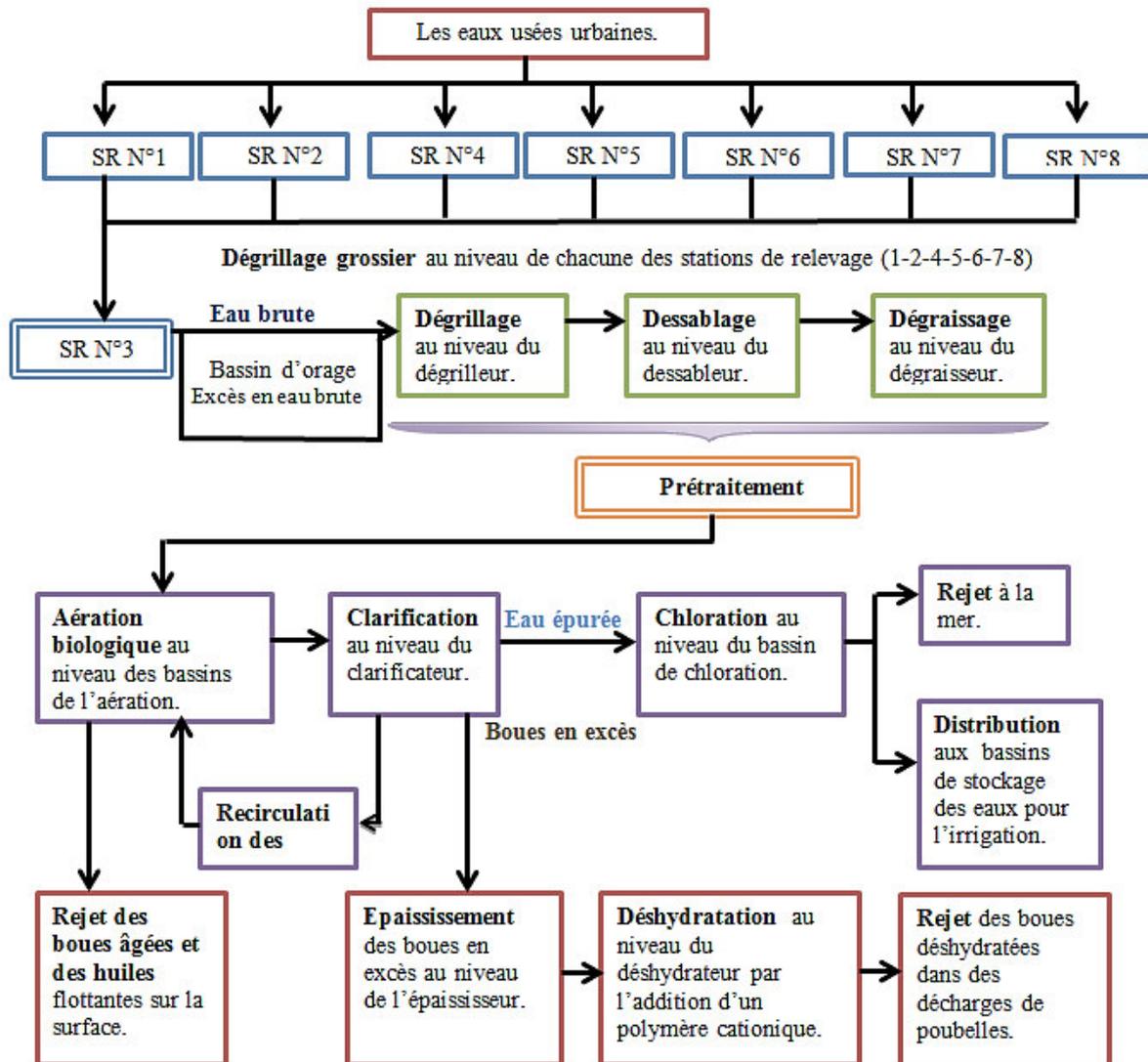
L'objectif principal du traitement est de produire des effluents épurés à un niveau approprié et acceptable du point de vue risque pour la santé humaine et l'environnement. Les eaux usées doivent subir une épuration ou une dépollution avant d'être rejetées dans le cycle naturel.

Pour cela, trois niveaux de traitements sont définis:

- Le prétraitement comportant des séparations physiques ou mécaniques consistent à débarrasser les eaux usées des débris les plus volumineux, des sables et des graisses (dégrillage, dessablage et dégraissage).
- Le traitement primaire visant à éliminer les matières minérales et organiques en suspension par une décantation.
- Le traitement secondaire permettant d'une part d'éliminer les matières organiques à l'aide des bactéries (traitement biologique). Le rôle de ces bactéries est de transformer naturellement la pollution organique en éliminant le carbone, le phosphore et l'azote. D'autre part, un traitement physico-chimique (la clarification) permet d'éliminer les matières résiduelles par décantation. Une fois le traitement achevé, l'eau épurée ou dépolluée (mais pas potable) est ensuite rejetée dans l'oued de Tatareg et par la suite vers la mer.

2. Différents procédés de traitement des eaux usées:

Un diagramme résumant les étapes de traitement est donné dans la figure N°5. Egalement la figure N°3 montre le détail des étapes de traitement.



SR : station de relavage.

SP : station principale

Figure N°3 : Diagramme représentant les différentes étapes du traitement des eaux usées.

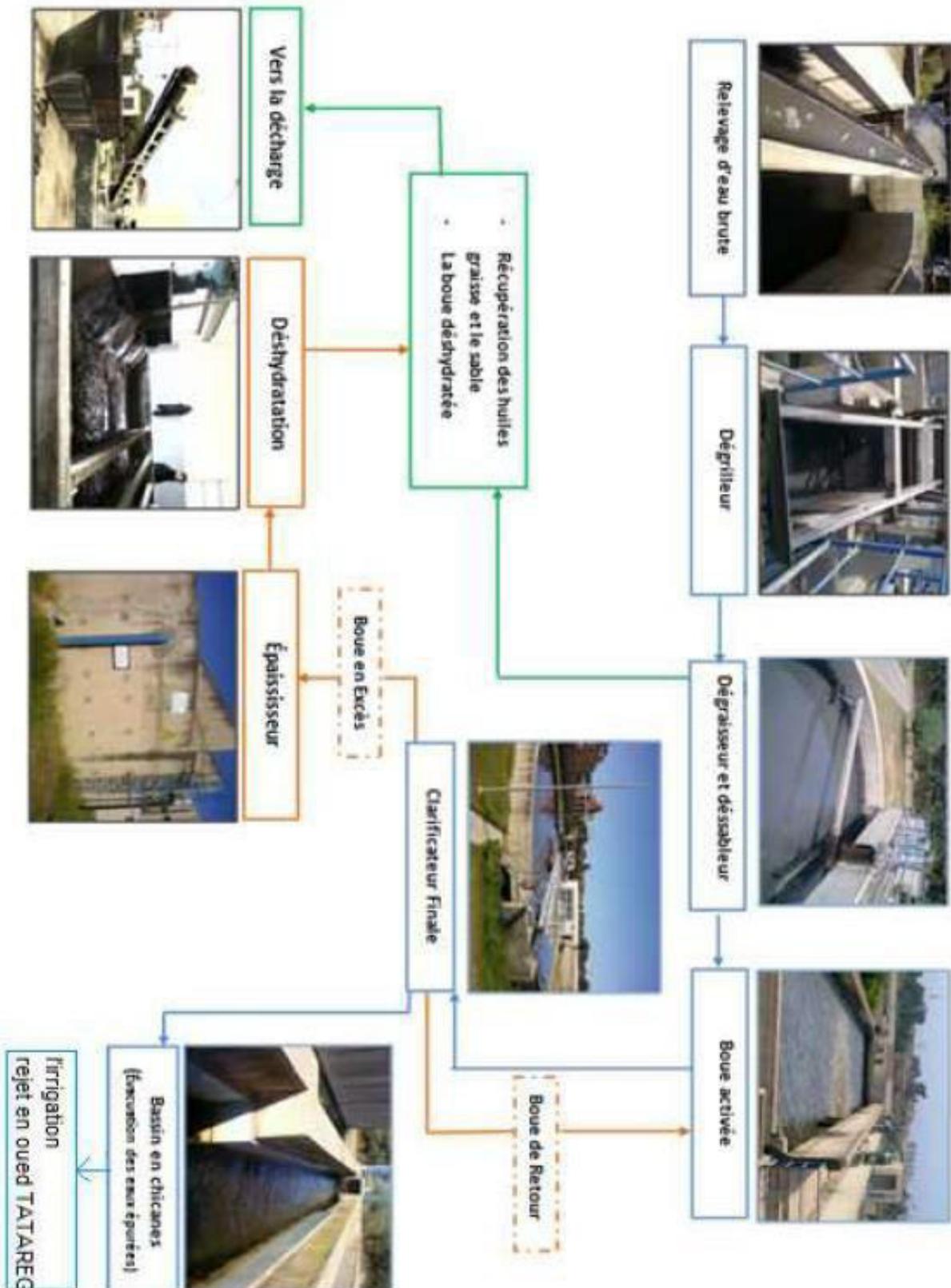


Figure N°4: Les différentes étapes du traitement des eaux usées.

2.1. Arrivée des eaux, comptage et bassin d'orage:

L'eau brute arrive d'une part, par pompage, d'autre part par gravité. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation suivant le nombre de bassins d'aération en service. Un bypass contrôle l'entrée générale de l'installation.



Figure N°5 : Bassin d'orage et canal d'alimentation.

2.2. Prétraitement et traitement primaire:

Cette phase consiste à retenir les déchets solides (papiers, plastiques...etc.) ainsi qu'une partie des graisses et de sable contenue dans les eaux usées dans le but est d'éliminer les éléments les plus grossiers susceptibles de gêner les processus des traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements. Le prétraitement peut comprendre les opérations de dégrillage (principalement pour les déchets volumineux), le dessablage (pour le sable et le gravier) et le dégraissage déshuilage (pour les huiles et les graisses).

2.2.1. Le dégrillage :

Le principe du dégrillage consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. Son objectif principal est l'élimination des matières volumineuses qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation.

L'ensemble du dégrillage comporte un dégrilleur automatique à champ courbé avec espacement entre barreaux de 20 mm et un dégrilleur manuel. Selon l'écartement des barreaux ou le diamètre des mailles, on distingue le:

- **Dégrillage grossier** : pour grille à barreaux espacés de 30 à 100mm,
- **Dégrillage moyen** : pour grille à barreaux espacés de 10 à 25mm,
- **Dégrillage fin** : pour grille à barreaux espacés de 3 à 10mm.



Figure N°6 : Dégrilleur.

2.2.2. Dessablage:

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, la sable et autre particule minérale de diamètre supérieure à 0,2 mm contenus dans les eaux usées, afin :

- d'éviter les dépôts dans les canalisations induisant leur bouchage,
- d'éviter de perturber les autres stades de traitement en particulier le réacteur biologique,
- d'éviter l'accumulation de sable dans les étapes ultérieures du traitement.

L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe (Air lift).



Figure N°7 : Vis à sable

2.2.3. Le dégraissage-déshuilage:

C'est une opération destinée à éliminer de l'effluent brut les huiles et les graisses, ayant des densités légèrement inférieures à l'eau, par simple sédimentation physique en surface (flottation). Les huiles et les graisses empêchent le transport d'oxygène et donc bloquent l'activité biologique. Les graisses sont récupérées en surface par un racleur manuel ou

mécanique, et dirigées vers un piège à graisse. La quantité de graisse piégée est de 5 - 15 mg/l et les sous-produits du traitement sont donnés dans le tableau N°13.

Tableau N°13 : Les sous-produits du prétraitement.

Déchets solides et refus des	Volume du Sable Graisses et huiles des grilleurs	
1.5 m ³ /mois	4.5 m ³ /mois	0.75 m ³ /mois



Figure N°8: Dégraissage-déshuilage



Figure N°9 : Racleur des graisses d'un dégraisseur

2.3. Traitement secondaire:

Après le prétraitement, l'eau coule par gravité dans les bassins biologiques et dans le clarificateur qui permettent l'élimination de la matière dissoute dans l'eau (minérale et organique) et le dégazage de l'azote. Cette eau séjourne environ 6h. Ce temps est jugé nécessaire pour la dégradation de la matière organique (matière polluante soluble) et ce par les boues activées contenant des micro-organismes. Cette boue est formée puis injectée dans le bassin.

2.3.1. Ouvrage de répartition:

Cet ouvrage permet d'aguiller l'eau à traiter vers les files de traitement par l'intermédiaire de batardeaux, une lame de surverse sert de by-pass en cas de sur débit.

2.3.2. Bassins d'aération (aération biologique):

Trois bassins munis de trois turbines chacun (acti-rotor) permettent l'aération de la quantité des bactéries à l'origine du traitement. Les bassins reçoivent la liqueur mixte constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs finaux.

Ces trois bassins d'aération sont composés chacun de trois turbines acti-rotor en tôle d'acier au carbone de type RN 6518. La vitesse de rotation est de 57 tr /m, le Diamètre extérieur est de 2.15 m et également de trois groupes réducteurs.

Les caractéristiques techniques de ces bassins sont les suivants :

- Volume unitaire : 3600 m³,
- Profondeur : 4.5m,
- Nombre d'aérateurs : 9 x RN6518,



Figure N°10 :Bassin d'aération



Figure N°11 : Aération dans un bassin biologique.

Il est admis que la charge polluante à l'entrée du bassin d'aération est la même qu'à l'entrée de la station. En effet, le rendement d'élimination de MES et de la DBO₅ sur le dessablage – dégraissage est environ égal à la pollution provenant du retour en tête de la station et du filtrat de la déshydratation. À l'entrée de l'aération, le rapport MES/DBO₅ est égal à 0.85 et donc le procédé adapté pour le traitement biologique est une aération biologique.

2.3.3. Clarification:

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers trois clarificateurs pour séparer la boue qui est mélangée à l'eau. La surface requise est de 1330m². Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puits central de collecte. L'ensemble est repris par une tuyauterie les acheminant vers la bêche de recirculation attenante aux bassins d'aération. Une partie des boues est recirculée en tête d'aération sous le nom de liqueur mixte et une partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur. Les eaux décantées sont recueillies par surverse dans une rigole périphérique pour être dirigées vers la désinfection et le canal de comptage.



Figure N°12 : Clarificateur.

2.4. Traitement complémentaire:

L'eau clarifiée est dirigée vers une bêche de contact dimensionné pour 20 minutes de temps de rétention à plein débit, soit un volume 385m^3 .

La première partie de l'ouvrage sert de canal de comptage et de désinfection pour asservissement de l'injection du chlore (chose qui ne se fait plus actuellement, étant donné que le chlore est considéré comme un élément toxique pour la faune et la flore).



Figure N°13 : Ouvrage de désinfection.

2.5. Traitement et élimination des boues:

Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont les principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides. Ces sédiments résiduels sont surtout constitués de bactéries mortes et de matière organique minéralisée. Une installation moyenne produit environ un excès de 40 g de matière sèche par jour et par habitant. Elles sont caractérisées par leur taux de matière sèche et leur taux de matière organique. Ces deux paramètres dépendent du mode de traitement des effluents. Le procédé de traitement appliqué

au niveau de la station de Boumerdès est le traitement biologique à culture libre : les boues activées.

2.5.1. Destination des boues et leur traitement:

Après la décantation de la boue dans le clarificateur, elle sera divisée en deux parties. Une partie sera réinjectée dans le bassin biologique, on parle ici de la recirculation. L'autre partie, la boue subira deux étapes de traitement : un épaissement statique, et une déshydratation mécanique.

2.5.2. Épaississeur des boues:

L'épaississement est constitué d'un ouvrage en béton de diamètre intérieur de 13m, équipé d'un pont racleur diamétral à entraînement central supporté par une colonne centrale en béton armé. L'accès au centre se fait par une passerelle, elle même construite en béton armé. Les boues sont admises dans la partie centrale de l'ouvrage et guidées vers le fond à l'aide d'un déflecteur. L'épaississeur doit être considéré comme un ouvrage à part entière remplissant les mêmes fonctions qu'un décanteur. C'est-à-dire il permet la séparation du solide (boue épaisse) et du liquide (l'eau de surverse). Cette dernière sera envoyée vers l'entête de la station.

Les caractéristiques de l'épaississeur sont :

- Diamètre intérieur :13m,
- Charge massique :30kg/m²/j,
- Concentration de sortie moyenne : 20g/lminimum,
- Volume journalier à transférer en déshydratation :792m³.

2.5.3. Déshydratation mécanique des boues sur bandes presseuses:

La boue doit d'abord être floculée ou coagulée en ajoutant un polymère (la préparation et le dosage du polymère s'effectue dans le poste automatique) afin d'améliorer la séparation (boues + eau).



L'eau, mélangée à la boue formée dans le bassin d'aération est évacuée vers le clarificateur, ce mélange est séparé par décantation et les boues sont récupérées par une pompe qui les envoie vers l'épaississeur, où elles décantent encore une fois pour être plus épaisses et plus denses. L'eau qui reste à la surface est renvoyée vers le début de la station pour subir les mêmes traitements que l'eau brute. La boue épaissie est dirigée vers une machine, où elle est séparée de la petite quantité d'eau qui reste, puis elle est essorée sous un rouleau, pour enfin passer entre deux tapis où elle sera aplatie (forme pâteuse) puis évacuée à l'extérieur vers un camion qui la rejette dans une décharge publique pour être traitée avec le reste des ordures ménagères.

Les caractéristiques générales de la déshydratation sont :

- ✓ La largeur de bande :2m,
- ✓ La capacité unitaire :150kg/m/h,
- ✓ Le temps de fonctionnement (Superpress) :13.6h,
- ✓ La consommation de polymère moyenne :20kg/j,
- ✓ Le poids : 4tonnes,
- ✓ La siccité des boues déshydratées : 15 ±2%,
- ✓ La masse journalière de boues produites : 4 t/j de bouessèches.



Figure N°15 : Déshydratation mécanique.



Figure N°16 : Boue déshydratée destinée à la décharge.

2.5.4. Avantages et inconvénients du traitement par boue activée:

Les avantages de ce traitement sont :

- Adaptation pour toute taille de collectivité.
- Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, et azote par nitrification et dénitrification),
- Adaptation pour la protection de milieux récepteurs sensibles,
- Stabilisation légère des boues,
- Facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.

Par contre, les inconvénients de ce traitement sont:

- Les coûts d'investissement assez importants,
- La consommation énergétique importante,
- La nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière,
- La sensibilité aux surcharges hydrauliques,
- La dilatibilité des boues pas toujours aisée à maîtriser.

Dans la figure N°17, un récapitulatif des ouvrages de STEP de Boumerdès.

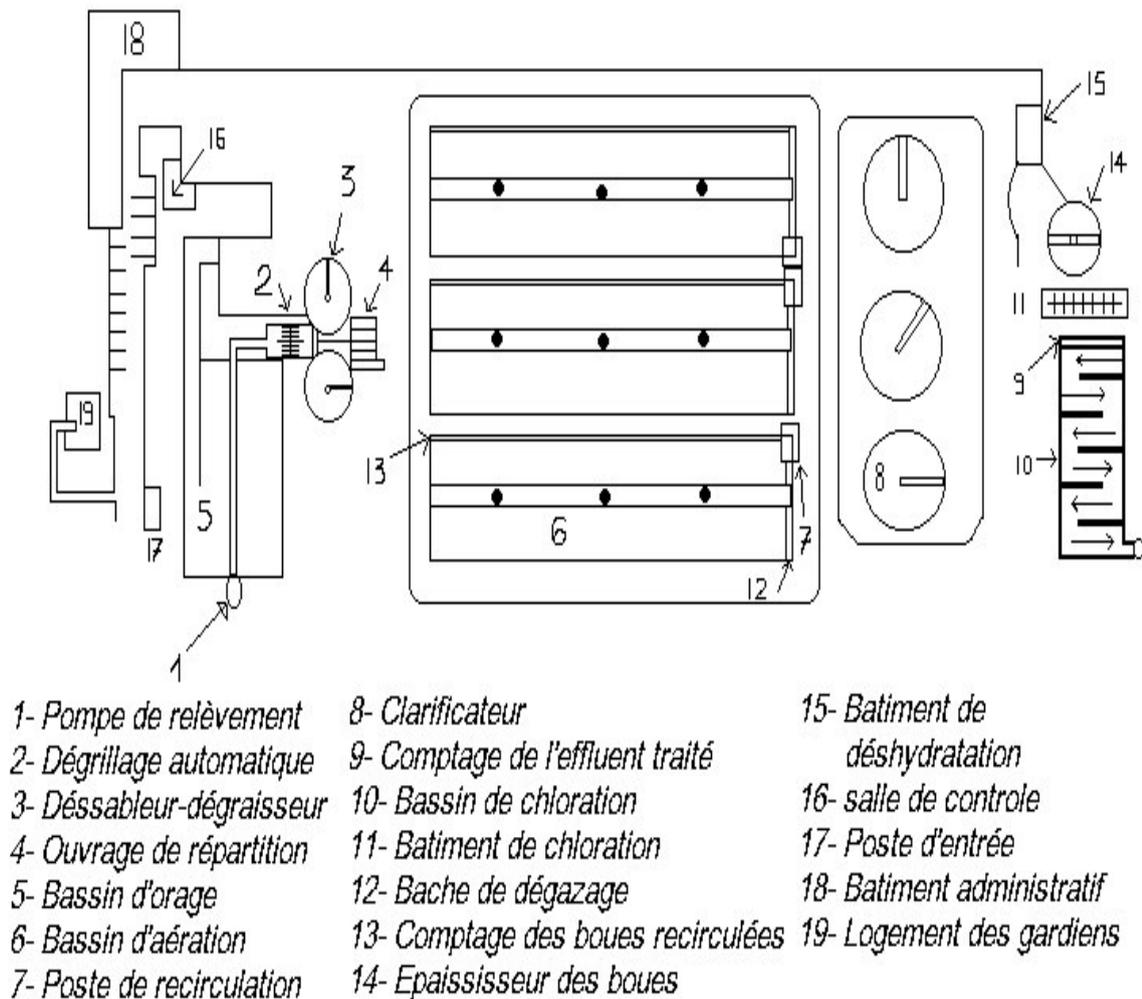


Figure N°17 : Les ouvrages de la STEP de Boumerdès.

Pour éliminer la pollution des eaux usées, les techniques d'épuration dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des eaux usées à traiter et du degré d'épuration désiré ont recours à des processus simples dans leurs principes, reposant sur des séparations physiques, des transformations biologiques et correctionchimiques

Chapitre III

Méthodes, résultats et interprétations

Il existe plusieurs paramètres à suivre pour vérifier si les eaux usées épurées de l'ONA de Boumerdès sont conformes aux normes de réutilisations agricoles.

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les paramètres physico-chimiques (pH, DBO₅, DCO, MES, MVS, etc.), les paramètres biologiques et les métaux lourds.

1. Les prélèvements d'échantillons:

Les prélèvements d'échantillons ont été faits à la STEP de Boumerdès.

Pour les analyses physico-chimiques, trois prélèvements mensuels ont été réalisés en deux points : amont (eau brute) et aval (eau épurée). Ces analyses ont été réalisées au sein du laboratoire d'analyse de l'Office National d'Assainissement (ONA) qui se trouve à Baraki.

Concernant les analyses microbiologiques, deux prélèvements en trois points ont été effectués :

- Eaux épurées de la STEP de Boumerdès.
- Les agriculteurs

Et les analyses bactériologiques ont été réalisées au sein du laboratoire d'analyse de la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL) qui se trouve à Kouba.

2. Echantillonnage:

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération assez délicate, car la moindre erreur peut fausser plusieurs résultats d'analyse ainsi que leur interprétation. Pour cela on doit respecter les critères suivants :

- Le prélèvement doit être réalisé à un endroit où l'effluent est homogène et représentatif.
- On doit être positionné le plus proche possible du point de prélèvement.
- Les bouteilles doivent être en verre que l'on rince avant chaque remplissage avec l'eau à analyser
- Les données de base tels que : le nom, la date, l'endroit, le temps et d'autres doivent être mentionnées.
- Le stockage des échantillons sera réfrigéré et thermostaté. La température de l'enceinte sera comprise entre 2 et 5°C. Donc l'échantillon doit être transporté dans une glacière vers le laboratoire.

3. Méthodes et Matériel**3.1. Méthodes appliquées:**

Pour évaluer l'efficacité du traitement des eaux usées de la STEP de Boumerdès, nous avons analysé les paramètres suivants en utilisant les méthodes suivantes :

- Mesure du pH par pH-mètre.
- Mesure de la conductivité par la conductance électrique.
- Détermination des matières en suspension (MES) par filtration et évaporation.
- Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) par spectrophotométrie.
- Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅) par la méthode de HACH.
- Détermination de l'azote totale (NTK) par le digesteur, le distillateur et le titrateur.
- Détermination de l'azote ammoniacal (NH₄⁺) par spectrophotométrie.
- Détermination des nitrates (NO₃⁻) par spectrophotométrie.
- Détermination des nitrites (NO₂⁻) par spectrophotométrie.
- Détermination des phosphates (PO₄⁻³) par spectrophotométrie.
- Détermination des métaux lourds par l'absorption atomique.
- Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermo tolérants par filtration.
- Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux Méthode par filtration sur membrane.
- Recherche des salmonella dans les eaux.

Les protocoles expérimentaux des méthodes appliquées, le matériel et les réactifs sont décrits en annexe N°1 à N°15.

4. Résultats et interprétation des analyses:**4.1. Les analyses physico-chimiques de l'eau brute et l'eau épurée:**

Chaque prélèvement concernant l'eau brute et eau épurée a été analysé pour les paramètres mesurés sont : le pH, la température, les matières en suspensions (MES), la DCO, la DBO₅, les nitrates, les nitrites, les phosphates et NTK.

Les résultats sont donnés dans le tableau N°14.

Tableau N°14 : Résultats des analyses des eaux de chaque prélèvement.

Analyse	Eau brute						Eau épurée					
	pH	T	CON	MES	DCO	DBO ₅	pH	T	CON	MES	DCO	DBO ₅
Unité	/	°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	/	°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
Date												
02/04/17	7,67	17,63	1534	200	539	400	7,45	17,88	1312	10	8	4
05/04/17	7,57	17,95	1387	200	366	190	7,32	18,02	1304	10	13	3
09/04/17	7,34	17,21	1354	200	327	280	7,13	17,24	1222	10	61	4
12/04/17	7,23	17,67	1429	120	282	190	7,21	17,40	1384	10	15	4
16/04/17	7,66	19,43	1132	120	320	280	7,51	19,83	946	10	16	13
19/04/17	7,56	19,31	1028	240	524	340	7,30	19,37	998	20	10	6
23/04/17	7,37	19,37	1112	220	420	300	7,23	19,87	1060	10	21	8
26/04/17	7,36	20,73	1306	200	433	280	7,16	20,93	1062	10	26	6
03/05/17	7,41	19,61	1465	220	318	270	7,20	20,04	1265	20	25	3
07/05/17	7,45	19,93	1270	180	401	290	7,27	20,65	1175	10	26	5
21/05/17	7,53	20,30	1385	230	535	310	7,43	20,40	1240	20	25	13
28/05/17	7,42	21,08	1203	330	615	340	7,40	22,50	1012	20	14	6
Analyse	Eau brute						Eau épurée					
	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NTK	/	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NTK	/
Unité	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	/	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	/
Date												
02/04/17	46,87	0,07	2,30	2,67	53	-	4,37	0,06	7,50	0,78	15	-
16/04/17	13,12	0,06	10,20	4,90	46	-	2,50	0,10	6,10	2,61	8	-
07/05/17	32,50	0,05	2	5,35	57	-	6,25	0,08	4,30	2,48	10	-
28/05/17	20,30	0,03	7,70	4,55	49	-	5,31	0,05	1,80	1,23	9	-

- **Le potentiel hydrogène (pH):**

La figure N°18 montre l'évolution du pH des eaux brutes et épurées.

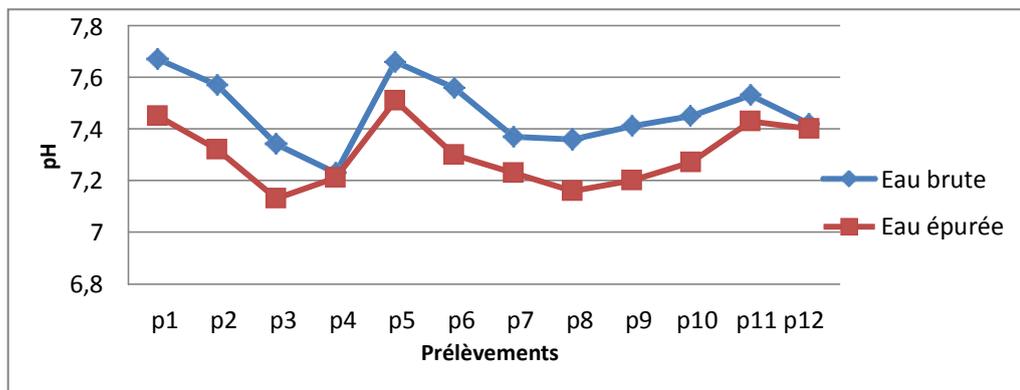


Figure N°18 : Evolution du pH des eaux brutes et des eaux épurées.

Le pH est paramètre qui indique la concentration en ions H^+ dans l'eau et qui exprime le degré d'acidité des eaux. C'est une mesure très importante pour évaluer le bon fonctionnement de la STEP. Nous observons que le pH relevé au cours de la période d'étude (avril -mai 2017) varie entre 7,23 et 7,67 à l'entrée de la station d'épuration et entre 7,13 et 7,51 à la sortie de la station d'épuration.

D'une façon générale, le pH des eaux brutes et des eaux épurées étudiées est relativement stable au voisinage de la neutralité avec une légère tendance à l'alcalinisation comme c'est le cas pour la plupart des eaux usées domestiques [26]. Il se situe dans l'intervalle de la norme exigée par l'Organisation Mondiale de la Santé OMS et de la réglementation algérienne [27, 28].

- **La température:**

L'évolution de la température dans pour les eaux brutes et épurées dans la période avril- mai est représentées sur la figure N°19.

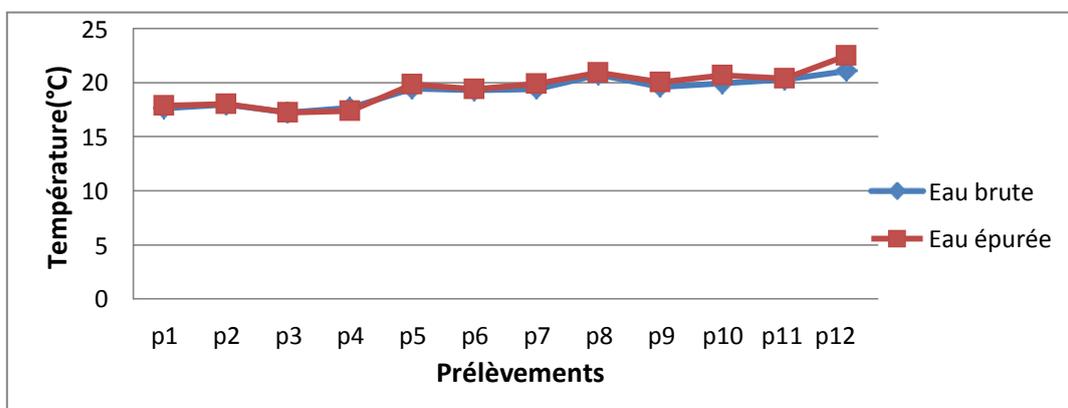


Figure N°19 : Evolution de la température des eaux brutes et des eaux épurées.

La température agit comme un facteur physiologique sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau et est de ce fait directement liée à la vitesse de dégradation de la matière organique [34].

Les valeurs des températures enregistrées sont comprises entre 17,21 °C et 21,08 °C pour les eaux brutes et entre 17,24 °C et 22,50 °C pour les eaux épurées.

Une température élevée réduit la solubilité des gaz dissous, en particulier l'oxygène. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la température d'une eau épurée ne doit pas dépasser 30°C [26]. Les eaux épurées de Boumerdès sont donc dans les normes puisque la température moyenne des échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie de la STEP est respectivement 19,18 °C et 19,51°C.

- Conductivité électrique (CE):

La figure N°20 représente la conductivité mesurée pour les prélèvements.

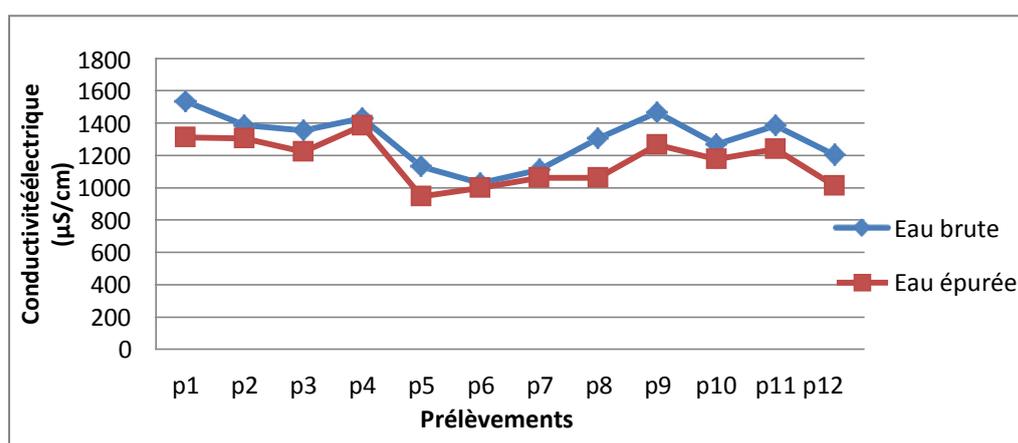


Figure N°20 : Evolution de la conductivité électrique des eaux brutes et des eaux épurées.

La conductivité électrique traduit le degré minéralisation globale et constitue de ce fait un bon indicateur d'appréciation des matières en solution lorsqu'on s'intéresse à la réutilisation des eaux usées en agriculture [34, 26]. Les résultats obtenus après analyse varient entre 1028 et 1534 µS/cm à l'entrée de la station d'épuration, et entre 946 et 1384 µS/cm à la sortie de la station d'épuration. Ces valeurs sont situées dans la plage des valeurs limites fixées à 3000 µS/cm recommandées par l'OMS et par la réglementation algérienne des eaux destinées à l'irrigation [27, 28].

La légère diminution des valeurs de la conductivité électrique entre l'entrée et la sortie de la STEP mène à conclure que l'élimination des matières en solution est très faible dans le traitement biologique par boues activées [35].

- **Matières en suspension (MES):**

La figure N°21 représente les matières en suspension mesurées pour les prélèvements.

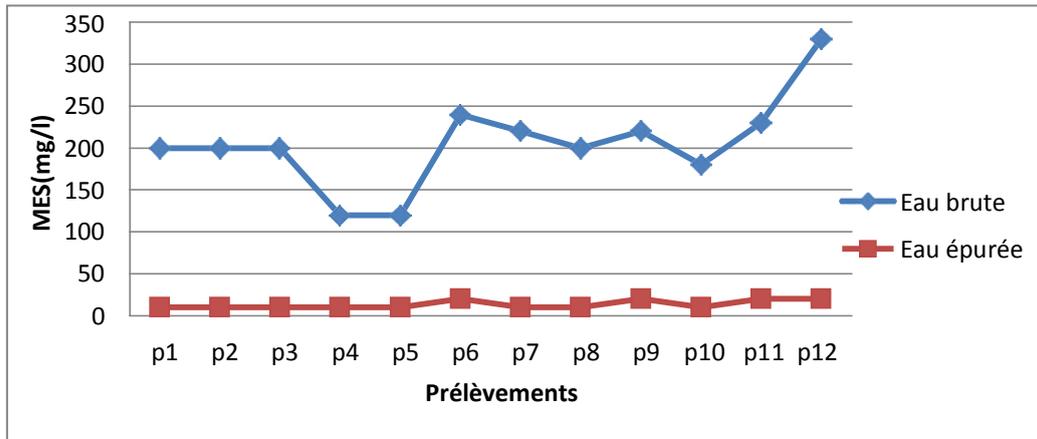


Figure N°21 : Evolution de MES dans les eaux brutes et les eaux épurées.

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules minérales et organiques insolubles, flottantes en suspension, contenues dans les eaux [26, 36].

Les valeurs de MES sont comprises entre 120 mg/l et 330 mg/l avec 205 mg/l comme valeur moyenne pour les eaux brutes et entre 10 mg/l et 20 mg/l avec 13,33 mol comme valeur moyenne pour les eaux épurées. Les valeurs de MES des eaux épurées sont inférieures au seuil maximum de l'OMS et de la réglementation algérienne (MES mg/l) [27,28].

La figure N°21 montre une baisse significative de la teneur en MES qui va dans le sens de l'élimination en passant des eaux brutes vers les eaux épurées avec un abattement moyen de 93.97%.

- **Demande biologique en oxygène (DBO₅):**

L'évolution de la DBO₅ dans les eaux brutes et les eaux épurées est représentée dans la figure N°22.

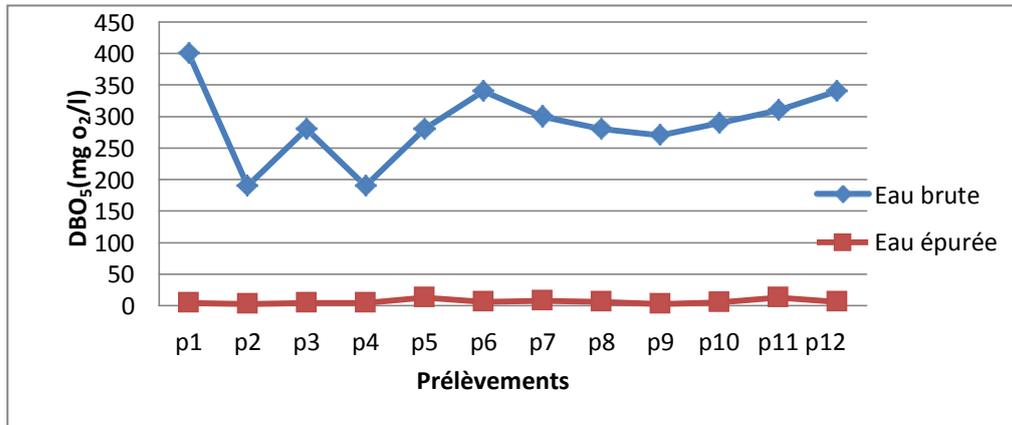


Figure N°22: Evolution de la DBO₅ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

Les résultats obtenus après analyse de la DBO₅ varient entre 190 mg/l et 400 mg/l à l'entrée de la station d'épuration et entre 3 et 13 mg/l à la sortie de la station d'épuration. A la sortie de la station, l'eau épurée présente une DBO₅ moyenne de 6,25 mg/l. Cette valeur est inférieure au seuil admissible par la réglementation algérienne pour la réutilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.

Le rendement moyen de la DBO₅ élevé de 97,83 % mène à conclure que le traitement biologique est efficace.

- **Demande chimique en oxygène (DCO):**

La figure N°23 montre l'évolution de la DCO dans les eaux brutes et les eaux épurées.

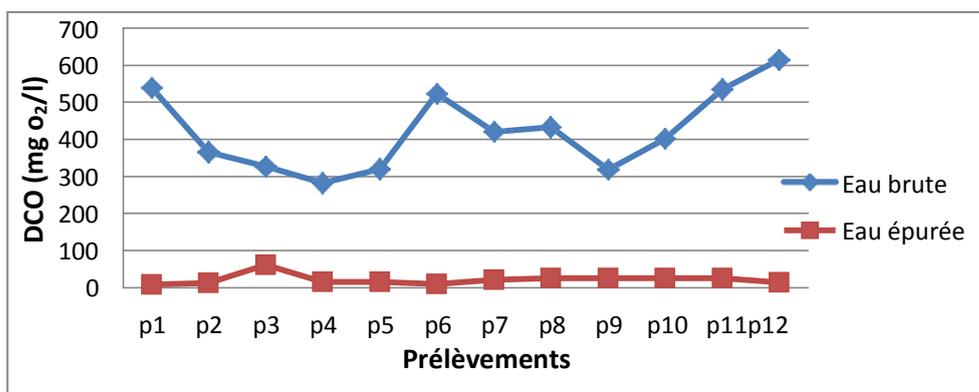


Figure N°23 : Evolution de la DCO dans les eaux brutes et les eaux épurées.

Les résultats obtenus après analyse donnent des valeurs de DCO variant entre 282 mg/l et 615 mg/l à l'entrée de la station d'épuration et entre 8 et 61 mg/l à la sortie de la station. Ce qui est en accord avec la concentration moyenne de la DCO à la sortie de la STEP qui est inférieure à la 90mg/l [24]. Le rendement moyen de la DCO est élevé 94,13 %. Ce qui traduit une bonne épuration des eaux usées par boues activées.

- **Rapport de biodégradabilité (DCO/DBO₅):**

La figure ci-dessous montre l'évolution du rapport DCO/DBO₅ des eaux brutes durant la période d'étude.

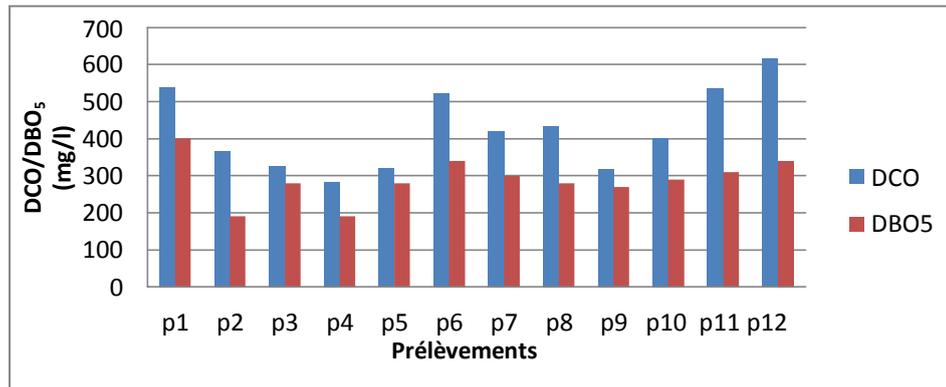


Figure N°24 : Evolution du rapport de biodégradabilité (DCO/DBO₅) dans les eaux brutes.

Les eaux usées peuvent être classées en deux catégories : biodégradables et non-biodégradables. Le calcul du rapport de biodégradabilité des effluents des eaux brutes permet de définir la biodégradabilité de l'effluent. Il est calculé par le rapport DCO/DBO₅ et dépend de la nature et de l'origine des eaux usées qui peuvent être domestiques ou industrielles, ce qui nécessite des traitements différents selon Metcalf & Eddy Inc [41]. Le rapport DCO/DBO₅ des eaux brutes varie entre 1,02 et 2,71 avec 1,64 comme valeur moyenne. Ces valeurs sont inférieures à 3 ce qui permet selon Rodier [37] de classer les eaux usées de la STEP de Boumerdès comme effluent d'origine domestique facilement biodégradable.

- Nitrites (NO₂⁻) :

La figure ci-dessous montre l'évolution de la teneur en NO₂⁻ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

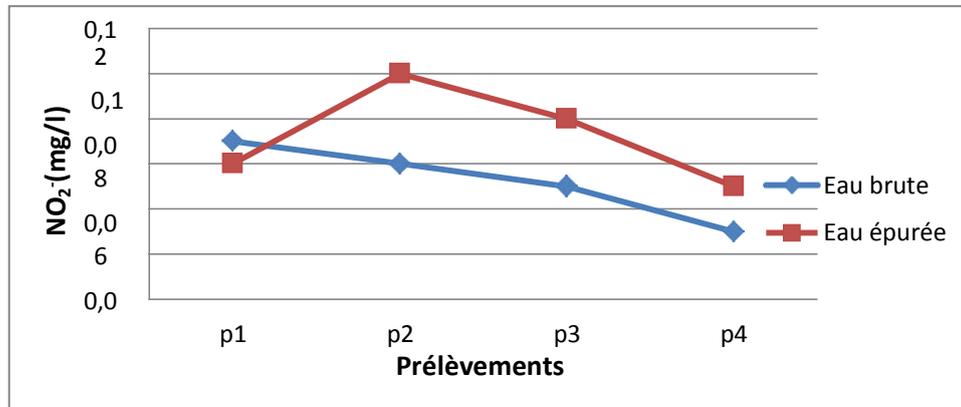


Figure N°25 : Evolution de la teneur en NO₂⁻ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

Les résultats obtenus après analyse des nitrites (NO₂⁻) varient entre 0,03 et 0,07 mg/l pour les eaux brutes et entre 0,05 et 0,10 mg/l pour les eaux épurées. Les faibles concentrations enregistrées montrent que l'ion nitrite (NO₂⁻) est un composé intermédiaire instable en présence de l'oxygène dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées (les ions nitrates et ammonium) [38, 36]. Les nitrites sont soit réduits en ammoniac ou oxydés en nitrates.

- Nitrates (NO₃⁻):

La figure N°26 représente l'évolution de la teneur en NO₃⁻ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

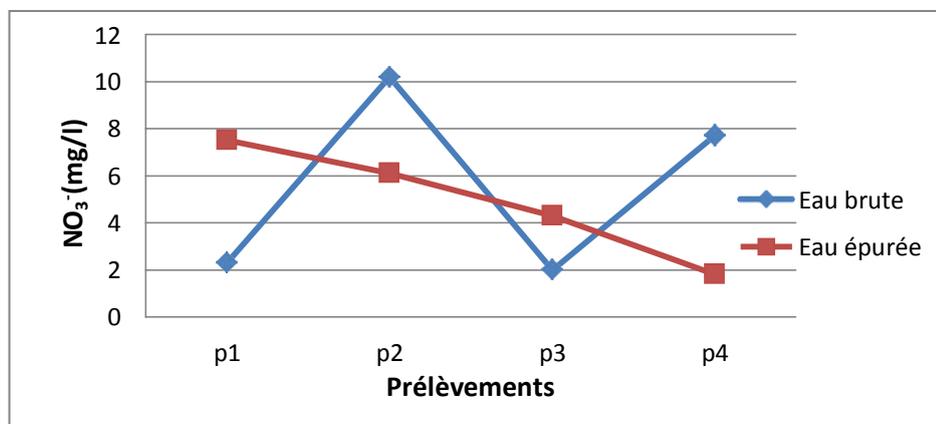


Figure N°26 : Evolution de la teneur en NO₃⁻ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

Les teneurs obtenues après analyse des nitrates (NO_3^-) varient entre 2 et 10,2 mg/l à l'entrée de la station d'épuration et entre 1,8 et 7,5 mg/l à la sortie de la station d'épuration.

La figure ci-dessus montre une légère augmentation de la teneur en nitrates dans les eaux épurées. Ceci peut être expliqué par une réaction de nitrification au niveau des bassins d'aération, due à une bonne oxygénation, de l'azote organique présent dans l'effluent entrant dans La STEP. En effet, la nitrification est un processus composé de deux étapes au cours duquel l'azote ammoniacal est oxydé en nitrites (NO_2^-) puis en nitrates (NO_3^-) [39].

- L'azote ammoniacal (NH_4^+):

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la teneur en NH_4^+ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

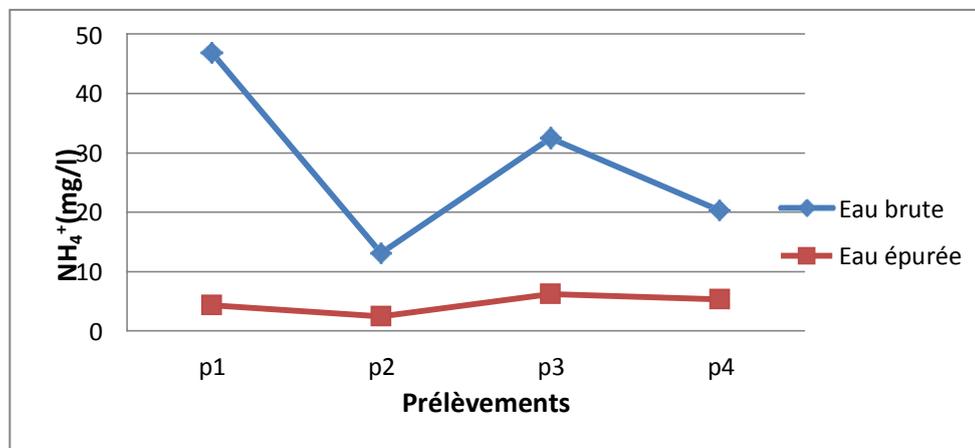


Figure N°27 : Evolution de la teneur en NH_4^+ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

Les eaux usées qui arrivent aux STEP contiennent majoritairement de l'azote organique qui se présente à l'entrée de bassin à boues activées principalement sous forme ammoniacale [39].

La valeur moyenne de la teneur en ammonium (NH_4^+) enregistrée au niveau des eaux brutes est de 28,20 mg/l alors que dans les eaux épurées elle est de 4,61 mg/l induisant ainsi un abattement moyen élevé de 95,88 %.

- Azote Total Kjeldhal (NTK):

La figure N°28 représente l'évolution de la teneur en NTK dans les eaux brutes et les eaux épurées.

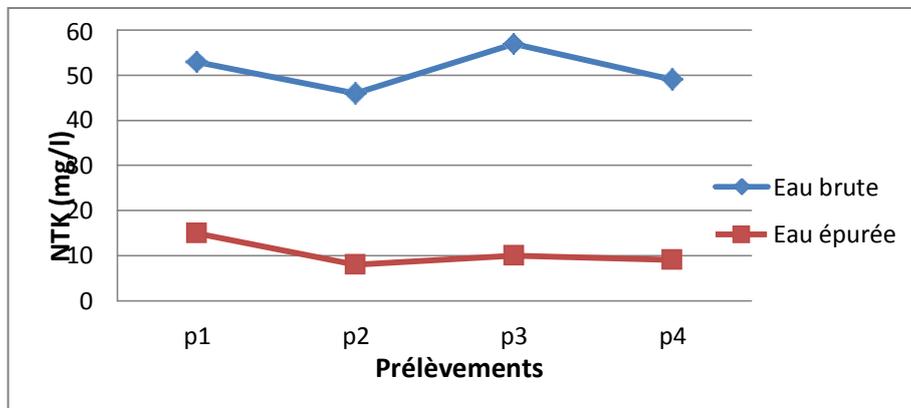


Figure N°28 : Evolution de la teneur en NTK dans les eaux brutes et les eaux épurées.

La teneur en NTK varie entre 46 et 57 mg/l à l'entrée de la station d'épuration et entre 8 et 15 mg/l à la sortie de la station d'épuration. La concentration moyenne en NTK enregistrée à la sortie de la station est de 10,5 mg/l. Cette dernière est inférieure à la norme exigée par l'OMS qui est inférieure à 30 mg/l[40].

Le rendement épuratoire moyen en NTK est de 94,24 %. Le procédé par boues activées permet une élimination importante de l'azote présent dans les eaux brutes.

- Phosphates (PO₄³⁻):

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la teneur en PO₄³⁻ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

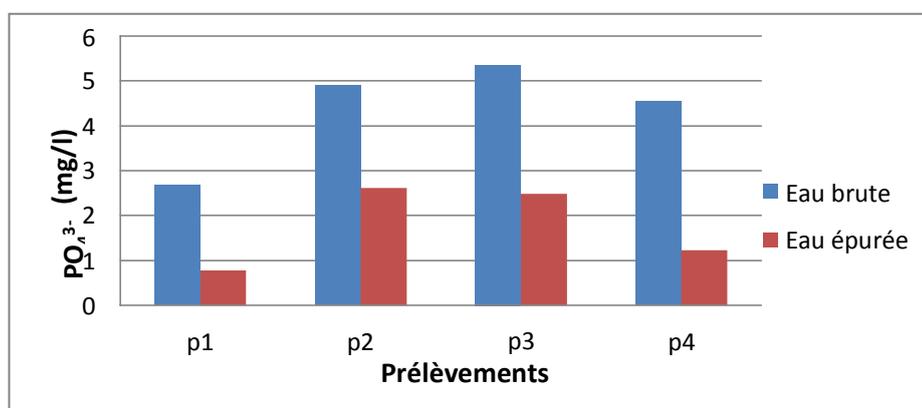


Figure N°29 : Evolution de la teneur en PO₄³⁻ dans les eaux brutes et les eaux épurées.

D'après les résultats obtenus après analyse, les teneurs (PO_4^{3-}) varient entre 2,67 mg/l et 5,35 mg/l pour les eaux brutes et entre 0,78 mg/l et 2,61 mg/l pour les eaux épurées. A noter que les principales sources du phosphore sont les activités humaines et industrielles. L'apport d'origine humaine représente 30 à 50 % du phosphore total, alors que l'apport des détergents dans une eau usée varie de 50 à 70% [26]. Le taux d'abattement (rendement) relativement faible de 71,30 % mène à conclure que l'épuration des eaux usées par boues activées ne permet pas une bonne élimination des phosphates.

4.2. Les analyses physico-chimiques réalisées sur l'eau épurée à des fins de réutilisation:

Un ensemble d'analyses physico-chimiques sur l'eau épurée a été effectué au niveau du laboratoire de la station d'épuration de Boumerdès dans le but de vérifier si la qualité de l'eau épurée est conforme aux normes de réutilisation en agriculture.

Le tableau ci-après représente les moyennes des résultats obtenus pour l'eau épurée de la station d'épuration. Les paramètres analysés sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau N°15 : Moyennes des résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau épurée de la STEP

Paramètres	Résultats	Paramètres	Moyennes obtenu
Manganèse Mg^{2+} (mg/l)	10.0	pH	7,16
Chlorure Cl^- (mg/l)	370.48	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{m}$)	1050
Bicarbonate HCO_3^- (meq/l)	5,9	MES (mg/l)	4,43
TAC (F°)	24	DCO (mg/l)	17,33
TA (F°)	0	DBO_5 (mg/l)	10,03
		NO_3^- (mg/l)	11,94
		PO_4^{3-} (mg/l)	4,52

Les valeurs portées sur le tableau ci-dessus montrent que mis à part de la conductivité et les nitrates toutes les valeurs sont dans les normes et qui sont les suivantes:

- Une valeur de pH comprise dans la norme de la FAO qui est de 6.5 à 8.4.
- Une valeur des matières en suspension (MES) nettement inférieure à la norme recommandée par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) qui est de 10mg/l.
- Une valeur de phosphore dans la norme de l'OMS qui est inférieure à 16mg/l.
- Une valeur de nitrates (11.94 mg/l) comprise entre 5 à 30 mg/l dans les normes de la FAO qui sont des valeurs à restriction légère à modérée.

- D'après les normes recommandées par la FAO, les eaux usées épurées doivent présenter une DBO₅ de 10 à 20mg/l et une DCO de 30 à 60mg/l.
 - L'eau épurée présente une DBO₅ de 10.03mg/l et une DCO de 17,33mg/l.
 - La valeur de la DBO₅ est dans la norme de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), et celle de la DCO est peu inférieure à la norme de la FAO.
- **La salinité:**

La salinité est un paramètre essentiel pour juger de la qualité d'une eau d'irrigation. Elle est le plus souvent calculée en fonction de la conductivité car il existe une relation entre la teneur en sels dissous et la résistance qui opposent au passage d'un courant électrique.

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), le problème de la tolérance en sels ne se pose pas si la conductivité inférieure à 700 µS/cm (entre 700 µS/cm et 3000µS/cm), il faut choisir des cultures tolérantes aux sels.

Les eaux épurées de la STEP de Boumerdès ont une conductivité moyenne de 1050 µS/cm. Cette valeur coïncide avec les cultures les plus importantes en Algérie.

Les principaux sels rencontrés dans les eaux usées épurées sont les nitrates, les phosphates, les chlorures et les bicarbonates. L'évolution de la salinité doit être contrôlée. Concernant les bicarbonates, l'eau étudiée présente une valeur moyenne de 5.9 méq/l. selon les directives de la FAO, les valeurs admissibles pour l'irrigation se situent entre 1.5 et 8.5 méq/l.

Pour les chlorures, cette eau présente une teneur de 370.48 mg/l (5meq/l), cette concentration est admissible pour l'irrigation en surface selon la FAO (4 à 10méq/l).

4.3. Les analyses des métaux lourds de l'eau épurée:

Le risque posé par les métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée), ils s'éliminent facilement par des traitements physiques (décantation) et se retrouvent généralement dans les boues.

On notera donc qu'avec un bon traitement, les concentrations de la majorité des métaux lourds dans les eaux épurées domestiques sont trop faibles pour poser un réel problème sanitaire, quelle que soit la réutilisation envisagée même agricole.

Les résultats d'analyse de métaux lourds de l'eau usée épurée de la station d'épuration de Boumerdès sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau N°16 : Les analyses des métaux lourds de l'eau épurée.

Les métaux lourds	Résultats (mg/l)	Les métaux lourds	Résultats (mg/l)
Chrome	< 0.01	Sélénium	0,02
Nickel	0.007	Vanadium	1,0
Cuivre	< 0.01	Arsenic	2,0
Cobalt	0.004	Béryllium	0,5
Cadmium	0,01	Bore	2,0
Zinc	< 0,04	Cyanure	0,2
Fer	0,1	Fluorure	15,0
Aluminium	20,0	Phénol	0,002
Mercure	0,01	Plomb	10,0
Molybdène	0,05	Lithium	2,5

Les résultats d'analyses montrent l'existence de quelques métaux lourds dans l'eau épurée à des concentrations très faibles par rapport aux normes recommandées par la FAO.

4.4. Analyses bactériologique:

Les analyses bactériologiques de l'eau ont pour but de mettre en évidence la présence de bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée. Les eaux usées contiennent les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'eau usée urbaine contient environ 10^6 à 10^7 bactéries /100ml dont 10^5 Proteus et Entérobactéries, 10^3 à 10^4 Entérocoques et 10^2 à 10^3 Clostridies.

L'analyse a été effectuée au niveau du la Centre Hospitalo-Universitaire Mustapha à Alger sur les eaux épurées et les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N°17 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau épurée de la STEP.

Germes pathogènes	Eau épurée
Coliformes totaux	Présence de 12 dans 100 ml
Coliformes fécaux	Absence dans l'échantillon analysé
Salmonelles	Absence dans l'échantillon analysé
Œufs d'helminthes	Absence dans l'échantillon analysé

En comparant les résultats obtenus avec les normes, nous obtenons une :

- Présence de coliformes totaux avec une valeur supérieure à la norme de l'OMS qui est de 2.2/100ml pour les cultures destinées à être consommées crues.
- Absence de conformes fécaux, d'où l'eau épurée est conforme à la norme de l'OMS qui est de 1000/10ml.
- Absence desalmonelles.
- Absence d'œufsd'helminthes.

Comme la réutilisation des eaux usées épurées dépend des trois paramètres essentiels, à savoir la salinité, la présence des métaux lourds et la qualité bactériologique, donc d'après les résultats d'analyses obtenus, on constate que cette eau est conforme aux normes de la réutilisation agricole dont on a remarqué que :

- Les valeurs des paramètres physico-chimiques sont conformes aux normes de réutilisation agricoles.
- La présence des métaux lourds avec des faibles concentrations.
- La bonne qualité bactériologique.

Conclusion générale

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer. C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux. Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques. Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie, qui dispose d'un volume d'eau traité de 560 000 mètres cubes, consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture.

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire d'analyse physico-chimique de l'Office National d'Assainissement (ONA), unité de Boumerdès afin d'évaluer le rendement épuratoire de la STEP de Boumerdès dans le but de valoriser les eaux épurées par l'irrigation.

Le suivi de la qualité des eaux aussi bien brutes qu'épurées a permis de dégager un ensemble de renseignements tant au niveau des performances épuratrices du traitement biologique dans la STEP qu'au niveau de la qualité des eaux usées épurées en vue d'une réutilisation ultérieure en agriculture.

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent une bonne efficacité épuratoire du traitement biologique par boues activées pour les MES, l'ammonium, le NTK, la DCO et la DBO₅ mais une moindre élimination des phosphates. Enfin les eaux épurées évacuées à la sortie de STEP de Boumerdès sont conformes à la réglementation algérienne et peuvent être réutilisées dans l'irrigation.

Comme la réutilisation des eaux usées épurées dépend des trois paramètres essentiels tels que la salinité, la présence des métaux lourds et la qualité bactériologique et d'après les résultats d'analyses obtenus, nous pouvons conclure que cette eau est conforme aux normes de la réutilisation agricole dont on a remarqué que :

- Les valeurs des paramètres physico-chimiques sont conformes aux normes de réutilisation agricoles.
- La présence des métaux lourds avec des faibles concentrations.
- La bonne qualité bactériologique.

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation. Du point de vue sanitaire, la quantité de contaminants qui parvient dans l'environnement se nomme la charge excrétée, sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux

usées et notamment de la proportion d'individus infectés et des conditions d'hygiène. Pour les eaux traitées de la station d'épuration de Boumerdès, la charge excrétée est considérablement réduite grâce à la performance des installations de traitement.

Les résultats d'analyses de l'effluent traité respectent les normes les plus rigoureuses en matière de valorisation dans le domaine agricole.

A cet effet, nous suggérons la réutilisation de ses eaux dans :

- L'irrigation des espaces,
- Les terrains de sport,
- Le lavage des voiries,
- Les travaux de construction en génie-civil.

Annexes

Annexe N°1 :

Détermination du pH et la température

1. Principe:

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogènes $[H^+]$ présents dans l'eau ou les solutions. La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCL saturé) plongeant dans une même solution est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

2. Appareillage:

- pH mètre (Réf : pH/OXI340i/SET).
- Electrode de pH combiné

3. Réactifs:

- Solution tampon pH =7
- Solution tampon pH =4

4. Mode opératoire:

❖ Etalonnage de l'appareil:

- Allumer le pH mètre (bouton rouge).
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bécher la solution tampon pH =7.
- Mettre un agitateur dans la solution avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH =7.
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à l'affichage pH = 7 (ajuster avec les boutons des deux flèches à pH =7.00).
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau.
- Ré étalonné de la même manière avec la solution tampon pH =4.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

❖ Dosage de l'échantillon:

- Prendre environ 100ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Appuyer sur le bouton (AR).
- Laisser stabiliser un moment avec une faible agitation (stabilisation du signe AR sur l'écran).
- Puis noter le pH et la température.

Annexe N°2

Détermination des matières en suspension (MES) : NFT 90 - 105

1. Principe:

La séparation de MES de l'eau se fait par centrifugation. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse, l'application de la force centrifuge sur les particules solides permet de rassembler dans le fond du tube un culot. Ce culot sera lavé puis récupéré et mis à sécher à 105°C, le résidu sec est ensuite pesé, il correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

2. Domaine d'application:

Cette méthode est réservée aux cas où les méthodes par filtration ne sont pas appliquées par suite du colmatage des filtres et si la durée de filtration doit être supérieure à 1 heure environ.

3. Appareillage:

- Four (Etuve universelle Prolabo).
- Centrifugeuse (Hettich Universal) constituant à une accélération moyenne de 28000 – 32000 m/s² à la surface du liquide munie de pots d'au moins 200ml et préférence de 500ml.
- Dessiccateur.
- Balance électrique.
- Bols en céramique.

4. Mode opératoire:

- Peser les bols vides.
- Centrifuger 200 ml de l'échantillon pendant 20 min.
- Récupérer le culot dans le bol déjà pesé en prenant soin de rincer le fond des tubes avec de l'eau distillée pour ne rien perdre de l'échantillon.
- Mettre le bol dans l'étuve à 105°C pendant 24h.
- Retirer le bol de l'étuve et le mettre à refroidir dans le dessiccateur afin d'éviter toute infiltration d'humidité.
- Peser à nouveau le bol.

5. Expression des résultats:

La teneur en MES est calculée à partir de la formule suivante :

$$[\text{MES}] = \frac{(M_2 - M_1) \times 1000}{V_e} \quad (1)$$

Où : [MES] : La concentration de MES en mg/l.

M₁ : La masse en milligramme (mg) du bol vide.

M₂ : La masse en milligramme (mg) du bol après séchage.

V_e : Le volume en millilitre (ml) de la prise d'essai.

Annexe N°3 :

Détermination des matières volatiles en suspension (MVS) :

1. Principe:

Les matières organiques ont la propriété d'être minéralisées à haute température.



Les molécules produites par calcination de la matière organique sont sous forme gazeuse à haute température et vont donc se volatiliser c'est pour cette raison que l'on détermine la teneur en matières organique par calcination à 550°C et par pesée du résidu (les cendres) qui représente les matières minérales par différence entre la masse de matières sèches initiale et la masse de matière minérale restante, on détermine la masse de matière organique.

On peut donc écrire :

$$\text{MES} = \text{matière organique (MVS)} + \text{matière minérale (MM)} \quad (2)$$

2. Appareillage:

- Four (Naber).
- Dessiccateur.
- La coupelle en porcelaine.

3. Mode opératoire:

L'analyse est effectuée après la détermination de MES.

A la fin de l'analyse de MES, déterminer le poids P_1 en gramme (g), correspondant au poids de la coupelle en porcelaine et des matières sèches qu'elle contient. La coupelle est placée ensuite dans un four à 550°C pendant une durée de 2 heures. Après refroidissement dans un dessiccateur, la coupelle ne contenant que des cendres est à nouveau pesée P_2 en gramme (g).

La différence ($P_2 - P_1$) représente le poids des MVS de l'échantillon.

4. Expression des résultats:

Le taux de MVS en % est donné par la formule suivante :

$$\text{MVS en \%} = (P_1 - P_2 / P_1 - p_0) \times 100 \quad (3)$$

P_0 : poids de la coupelle vide initialement.

Annexe N°4 :

Mesure de la conductivité électrique (CE) :

1. Principe:

La mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (PT) (ou couvert de noir de platine) maintenus parallèles.

Si R est la résistance de la colonne d'eau en ohms

S est la section en cm^2 et l sa longueur en cm.

La résistivité électrique en ohms cm est :

$$P = R \frac{S}{l} \quad (1)$$

$$V = \frac{l}{P} = \frac{l}{R} = \frac{l}{S} \quad (2)$$

La conductivité électrique en S/cm est

$\frac{l}{S}$ est appelé constante de l'élément de mesure.

2. Mode opératoire:

D'une façon générale, opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincer avant usage avec de l'eau distillée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité d'abord avec l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner, faire la mesure.

3. Conductivité électrique:

Agiter le liquide (barreau magnétique afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes.

4. Expression des résultats:

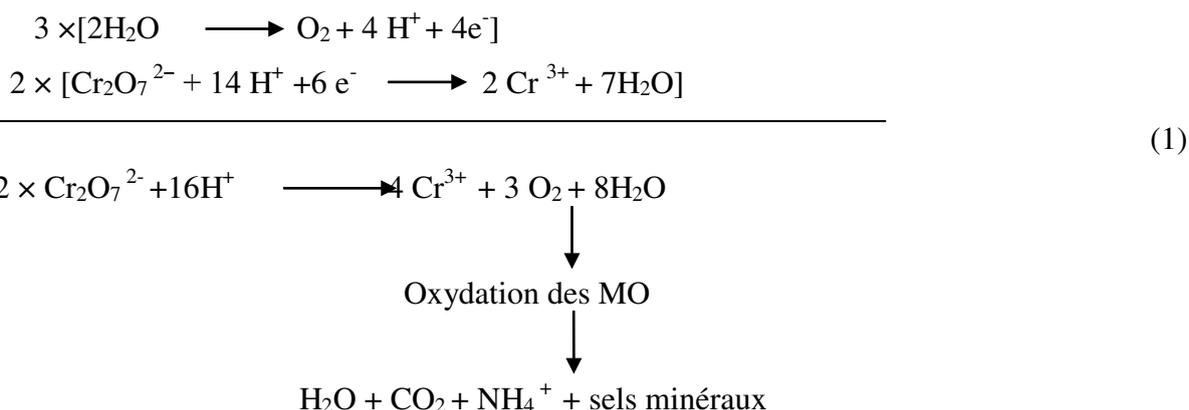
Le résultat est donné directement en centimètre $\mu S/\text{cm}$.

Annexe N°5 :

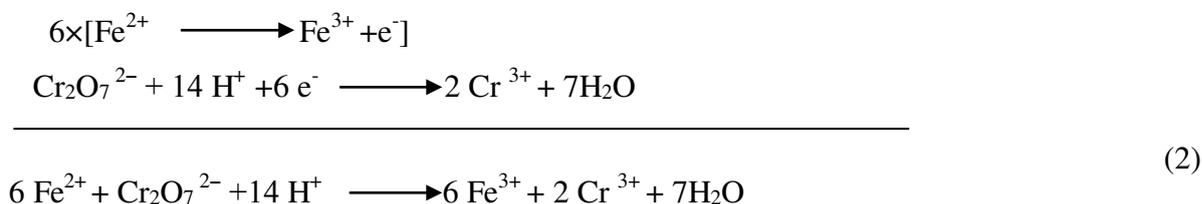
Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) : ISO 6060 / 1989

1. Principe:

C'est la demande chimique en oxygène qui consiste à oxyder les matières contenues dans l'eau par un excès de dichromate de potassium et la sulfate d'argent (catalyseur). La réaction se fait dans un milieu acide.



Dosage de l'excès de potassium par sel de Mohr après refroidissement



2. Appareillage:

- DCOmètre.
- Burette de précision.
- Régulateurs d'ébullition (billes en verre)

3. Réactifs:

- Acide sulfurique (H₂SO₄) environ 4 mol / l.
- Acide sulfurique – sulfate d'argent.
- Dichromate de potassium à 0.04 mol / l contenant le sulfate de mercure(II)
- Sulfate de fer (II) et d'ammonium ou sel de Mohr à 0.12 mol / l.
- Hydrogénéphthalate de potassium (KC₈H₅O₄) à 2.0824 mmol / l , 500 mg / l
- Ferroïne (solution d'indicateur).

4. Mode opératoire:

- Introduire 10 ml de l'échantillon à analyser dans un tube du DCO-mètre.
- Ajouter 5 ml de $K_2Cr_2O_7$.
- Ajouter quelques granulées régulateurs d'ébullition et homogénéiser.
- Ajouter lentement et avec précaution 15 ml d'acide sulfurique avec le sulfate d'argent en agitant soigneusement le tube.
- Porter à l'ébullition dans un bloc chauffant et laisser durant 2 heures à $150^\circ C$.
- Après refroidissement, compléter à 75 ml avec l'eau distillée et laisser refroidir à la température ambiante.
- Titrer l'excès de $K_2Cr_2O_7$ par la solution de sel de Mohr en présence de 1 à 2 gouttes de ferroïne (virage rouge brique), et noter V_E .

5. Expression des résultats:

La DCO est exprimée en milligramme (mg) d' O_2 par litre (l) est donnée par la formule suivante :

$$DCO = \frac{8000 \times T \times (V_1 - V_2)}{V_0} \quad (1)$$

Où :

T : Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium calculée auparavant ($T = 0.12 \text{ mol/l}$).

V_0 : le volume en millilitre de la prise d'essai avant dilution (s'il y a lieu).

V_1 : le volume en millilitre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium utilisée pour l'essai à blanc.

V_2 : le volume en millilitre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium pour le dosage de l'échantillon.

8000 : la masse molaire de $\frac{1}{2} O_2$ en milligramme par litre.

Annexe N°6 :

Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅) :

1. Principe:

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis à incuber en présence d'air, les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène en provenance du volume d'air située au-dessus de l'échantillon. Le gaz carbonique (CO₂) formé est piégé par l'hydroxyde de potassium.

2. Appareillage:

- DBO-mètre avec Oxitop (TS606–WTW)
- Enceinte thermostathée (T =20°C).
- Plaque jaune(agitateur).
- Bureau magnétique.
- Flacon échantillon brun (volume de 510ml).

3. Mode opératoire:

La prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, elle dépend de l'origine de l'échantillon industrielle ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en MES.

Voici le volume de l'échantillon d'après la plage de mesure.

V. Echantillon (ml)	Plage de mesure (mg/l)	Facteur
432	0 – 40	1
365	0 – 80	2
250	0 – 200	5
164	0 – 400	10
97	0 – 800	20
43.5	0 – 2000	50
22.7	0 – 4000	100

4. La procédure:

- Prendre une prise d'essai d'après la charge del'échantillon.
- Mettre l'échantillon dans les flacons bienpropres.
- Mettre dans les flacons un aimantmagnétique.
- Mettre dans la capsule en caoutchouc deux pastilles deNaOH.
- Fermer les flacons avec desOxitops.
- Mettre les flacons dans l'enceinte et laisser agiter pendant 5jours.

5. Expression des résultats:

Pour une prise d'échantillon le système de mesure Oxitop donne directement la teneur en oxygène (après 5 jours) qu'on multiplie par le facteur déterminé à partir du tableau.

$$\text{DBO}_5 = \text{lecture au bout des 5 jours} \times \text{facteur} \quad (2)$$

Annexe N°7 :

Détermination de l'azote totale(NTK): ISO 5663 /1984

1. Principe:

La minéralisation des matières organiques en milieu acide et en présence de catalyseur. Après la minéralisation (le minéralisant contient que les NH_4) le dosage de l'ammonium par distillation est effectué.

2. Appareillage:

- Digesteur (Buchi K -424).
- Distillateur (Buchi B -324).
- Titrateur

3. Réactifs:

- Acide sulfurique pur H_2SO_4 (d =1.84).
- 1g du mélange catalyseur (sulfate de potassium +sélénium).
- Solution acide sulfurique(0.1N).
- Acide borique H_3BO_3 (10g/l).
- Solution de $[\text{NaOH}] =400\text{g/l}$.
- Indicateur colorée : rouge de méthyle, vert de bromocrésol (bleulavande)

4. Mode opératoire:**▪ Minéralisation:**

- On prendre 50mld'échantillon.
- Ajouter 1g decatalyseur.
- Ajouter 10ml d'acidesulfurique.
- L'ébullition pendant 4heures.
- A la fin de minéralisation laisser refroidir à une température ambiante

Essai à blanc : 50ml d'eau distillé puis suivre le même protocole que pour l'essai.

▪ Distillation:

- Verser le minéralisant de chaque tube dans uneéprouvette.
- Diluer jusqu'à100ml.
- Prendre 10ml du 100ml et le fixer dans un tube de Kjendal, introduire 50ml de NaOH, libération du (NH_3) à partir des ions ammonium, suivant la réaction:



- Puis on aura l'entraînement à la vapeur de l'ammoniac pardistillation.

La condensation des vapeurs l'ammoniac est piégée dans une solution d'acide borique 10ml :



▪ **Titration:**

Allumer le titrateur et titrer avec l'acide sulfurique à 0.1N tout en ajoutant l'indicateur coloré (rouge de méthyle et vert de bromocrésol). La titration est terminer lorsque la couleur virer du bleu au rose.

5. Expression des résultats:

$$\text{NTK (mg/l)} = (V_E - V_B) \times C \times 14 \times 1000 / \text{prise d'essai} \quad (3)$$

Annexe N°8 :

Détermination de l'azote ammoniacal(NH₄⁺): ISO 7150 / 1984(F)

1. Principe:

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

2. Domaine d'application:

Cette méthode est applicable aussi bien aux eaux potables, qu'aux eaux brutes, elle nécessite une dilution pour les eaux très salées et colorées.

3. Appareillage:

- UV visible spectrophotométrie (Ultrospec Amersham Biosciences 3100Pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à $\lambda = 655\text{nm}$.

4. Réactifs :

Réactif I:

- Acidedichloroisocyanurique.....2g.
- Hydroxyde desodium.....32g.
- L'eau distillée.....q.s.p 1000ml.

Réactif II (coloré) :

- Tricitrate de sodium.....130g.
- Salicylate de sodium.....130g.
- Nitroprussiate desodium.....0.97g.
- L'eau distillée.....q.s.p 1000ml.

5. Mode opératoire:

- Prendre 40 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de réactif coloré.
- Ajouter 4 ml de sel dichloroisocynurate desodium.
- Compléter jusqu'au 50 ml d'eau distillé.
- Attendre une heure et demie (1 h30)
- L'apparition de la couleur vert montre la présence des NH₄⁺ dans l'échantillon.
- Effectuer la lecture à 665nm.

6. Expression des résultats:

La valeur de la concentration en NH₄⁺ s'exprime comme suit :

$$[\text{NH}_4^+] = \text{la valeur lue sur l'appareille} \times \text{le facteur de dilution}(\text{mg/l}) \quad (1)$$

Annexe N°9 :

Détermination des nitrates(NO_3^-):

ISO 7890 – 3 /1988

1. Principe:

En présence de salicylate de sodium et après traitement en milieu alcalin, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune.

2. Appareillage:

- Etuve universelle Memmert (incertitude $\pm 5.79^\circ\text{C}$).
- Fiole 25ml.
- Bécher 25ml.
- Spectrophotomètre UVvisible.

3. Réactifs:

- Azoture de sodium..... 0.5g/l.
- Salicylate de sodium10g/l.
- Acideacétique.
- Solutionalcalin.
- Acidesulfurique.

4. Mode opératoire:

- Prendre 25 ml d'échantillon dans unbécher.
- Ajouter 2 réactifs (0.5 ml d'azoture de sodium et 0.2 ml d'acideacétique).
- Le mettre dans une étuve à 70° et 80°C pour séchage.
- Après séchage, on ajoute 1 ml de salicylate desodium.
- On le met dans une étuve pour un autreséchage.
- Après le séchage, on ajoute 1 ml d'acide sulfurique et laisser 5min.
- Ajouter 10ml de solution alcalin et 10 ml d'eau distillé et compléter à 25ml.
- L'apparition de la coloration jaune indique la présence de NO_3^- .
- La lecture au spectre à 415nm.

5. Expression des résultats:

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415nm.

Annexe N°10 :

Détermination des nitrites(NO_2^-):

ISO5667

1. Principe:

Les nitrites réagissent avec les sulfanilamides pour former un composé diazoïque qui après copulation avec le N-1-naphtyle et éthylène diamine dichloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543nm.

2. Appareillage:

- UV visible spectrophotométrie (Ultrospec Amersham Biosciences 3100pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à $\lambda = 543\text{nm}$.

3. Réactif mixte:

- Sulfanilamide..... 40g.
- Acide phosphorique 100ml
- N – 1 – Naphtyle éthylène diamine dichloride....2g.
- L'eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

4. Mode opératoire:

Dans une fiole de jaugée de 50ml :

- On prend 40ml de l'échantillon à analysé (le surnagent obtenu à partir de la centrifugation del'échantillon).
- Ajouter 1ml de réactif mixte (bienagiter).
- Puis, on ajuste à 50ml avec de l'eau distillé (trait repère de la fiole) et on le laisse repose pendant 20 minutes (20min). L'apparition de la coloration rose indique la présence des N-NO_2^- .
- Enfin, on fait passer l'échantillon dans le spectrophotomètre pour obtenir la concentration en N-NO_2^- à $\lambda = 543\text{nm}$.

5. Expression des résultats:

La valeur de la concentration en NO_2^- s'exprime comme suit :

$$[\text{N-NO}_2^-] = \text{la valeur lue sur l'appareille} \times \text{le facteurdedilution} \dots \text{mg/l} \quad (1)$$

Annexe N°11 :

Détermination des phosphates(PO_4^{3-}):

ISO N°6878

1. Principe:

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Réduction par l'acide ascorbique qui forme un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption vers 700nm, l'autre plus importante à 880nm.

2. Domaine d'application:

Cette méthode est utilisée pour toutes les eaux, la teneur en phosphates entre (0.005 et 0.8 mg/l) peut être déterminée sans dilution, et un processus d'extraction permet de déterminer des concentrations allant jusqu'à 0.0005 mg/l.

3. Appareillage:

- UV visible spectrophotométrie (Ultrospec Amersham Biosciences 3100Pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à $\lambda = 880\text{NM}$.

4. Réactifs:

- Héptamolybdate d'ammonium.....3g.
 - Eaudistillée.....10ml. A
 - Tartrate d'antimoine.....0.35 g.
 - Eaudistillée.....100ml. B
 - Acide sulfurique pur.....150ml.
 - Eaudistillée.....150ml. C
- (A + B)+ C → 500 ml d'eau distillée.
- Acide ascorbique à 10%.
 - Acide ascorbique.....10g.
 - Eau distillée.....100ml.

5. Mode opératoire:

Dans une fiole de jauge de 50 ml :

- On prend 50 ml de l'échantillon à analyser (le surnageant obtenu à partir de la centrifugation de l'échantillon). Puis, on enlève 10ml.
- Ajouter 1ml d'acide ascorbique (bien agiter).
- Ajouter 2ml de molybdate d'acide (bien agiter).
- Puis, on ajuste à 50ml avec de l'eau distillée (trait repère de la fiole) et on le laisse reposer pendant une demi heure(30min).
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des $\text{P} - \text{PO}_4^{3-}$.

- Enfin, on fait passer l'échantillon dans le spectrophotomètre pour obtenir la concentration en P-PO_4^{3-} à $\lambda = 880\text{nm}$.

6. Expression des résultats:

La valeur de la concentration en PO_4^{3-} s'exprime comme suit :

$$[\text{P-PO}_4^{3-}] = \text{la valeur lue sur l'appareille} \times \text{le facteur de dilution} \dots \text{mg/l} \quad (1)$$

Annexe N°12 :

Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermo tolérants :

1. Abréviation:

BGN : Bacille gram négatif.

T.S.A : Gélose tryptonée au soja.

T.T.C : Chlorure triphényl 2,3, 5-tétrazolium.

E. coli : Escherichia coli.

°C : degré Celsius.

2. Définition:

Bactéries coliformes : les coliformes sont des bacilles à gram négatif (BGN), aérobies ou anaérobies, non sporulées, ne possédant pas d'oxydase capable de se multiplier en présence de sels biliaires et capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à 37 °C .

Escherichia Coli : il s'agit là de coliformes fécaux qui produisent, en outre de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C.

3. Principe:

Filtration de la prise d'essai de l'échantillon à travers une membrane filtrante d'une porosité de 0.45 µm. Un dépôt de cette dernière sur un milieu sélectif : la gélose lactosée au Tergitol.

Incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 h.

Confirmation après incubation des colonies caractéristiques jaunes lactose positive, présentant une coloration jaune sous la membrane.

Bactéries coliformes : repiquage sur gélose T.S.A, Incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 h.

E coli : repiquage sur bouillon de tryptophane , Incubation à 44 ± 0.5 °C pendant 21 ± 3 h, mise en évidence de la production d'indole en ajoutant quelques gouttes du réactif de Kovacs.

4. Appareillage:

- Rampe de filtration en acier inoxydable stérilisable à la flamme.
- Membranes de filtration stériles de 0,45 µm de porosité.
- Pinces à creuset et brucelles.
- Etuves à (36 ± 2) °C et $(44 \pm 0,5)$ °C.
- Boîtes de Petri de Ø 55 mm.
- Bec Bunsen.
- Trompe à vide.
- Pipettes stériles à usage unique.

5. Milieux de cultures et réactifs:

- Gélose lactosebase.
- Additif Tergitol
- Additif TTC Tergitol.
- Gélose T.S.A (Tryptase Soja Agar)
- Bouillon tryptophane
- Réactif de Kovacs

❖ Préparation des milieux de culture:

- Utiliser un bain marie à une température de 100°C
- Faire fondre le flacon contenant la gélose stérile.
- Maintenir à une température de 80° C et laisser refroidir à une T°C de 50°C
- Rajouter le T.T.C

Couler la gélose contenant le T.T.C dans les boîtes de pétri et laisser solidifier.

6. Mode opératoire:

- Stériliser la surface supérieure de la rampe de filtration ainsi que la plaque poreuse (en ouvrant le robinet pour aspirer la flamme).
- Laissez refroidir.
- Prélever une membrane de son emballage à l'aide de pince stérile.
- La poser sur la plaque poreuse de la rampe de filtration.
- Agiter soigneusement le flacon d'eau analysé.
- Verser stérilement la quantité d'eau désirée (100ml pour une eau désinfectée et 250ml pour l'eau minérale).
- Ouvrir le robinet pour laisser l'eau s'écouler.
- Dès que la membrane paraît sèche enlever l'entonnoir et prélever la membrane avec une pince stérile en le saisissant par son extrême bord.
- Déposer la membrane sur le milieu sélectif (gélose TTC Tergitol) en prêtant attention à ne pas piéger de bulles d'air.
- Incubation à 36 ± 2 °C Pendant 21 ± 3 h les boîtes de pétri, le couvercle vers le bas.

7. Dénombrement et confirmation:

Après la période d'incubation, on dénombre les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contour régulier et pigmentées en jaune.

Repiquer 5 colonies bien déterminées (ou un nombre représentatif) sur le milieu TSA (glucose, lactose, saccharose) en stries et en piqûre central.

Incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 h. Repiquer 5 autres colonies dans le bouillon tryptophane et incuber à 44 ± 0.5 °C pendant 21 ± 3 h.

Après la période d'incubation les tubes de TSA présentent des colonies sur la pente de la gélose. Immédiatement effectuer le test de l'oxydase sur ces colonies.

Test d'oxydase :

Imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée puis déposer une colonie caractéristique.

Dans le cas où la réaction est positive est immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé.

Test d'indole :

L'apparition d'un anneau rouge dans les tubes du bouillon tryptophane après l'addition du réactif de Kovacs confirme la présence d'E. Coli par la production d'indole.

8. Expression des résultats:

Calcule de la valeur a du nombre de bactéries coliformes et la valeur a du nombre des Escherichiacoli.

Le résultat final sera exprimé selon l'équation mathématique suivante :

$$a = \frac{b}{A} \cdot C(1)$$

Où :

b : nombre de colonies répondant positivement aux critères du test de confirmation

A : nombre de colonies caractéristique repiquées (au moins cinq colonies).

C : nombre total de colonies trouvées dans la boîte.

Annexe N°13 :

Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux

Méthode par filtration sur membrane (Streptocoque)

1. Référence:

Norme NA 766 en ISO 7899-2 : « recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux. Partie 2 : Méthode par filtration sur membrane ».

2. Abréviation:

T.T.C : chlorure de 2, 3, 5-triphenyl-tetrazolium.

B.E.A : gélose bile esculine azide.

°C : degré Celsius.

3. Définition:

Les entérocoques intestinaux sont de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ce sont des bactéries en forme de Cocci ou Ovoïdes, a gram positif, capable de se développer en 24 à 48h à 37° C, sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium (Slanetz et Bartley), réduisant le chlorure de 2, 3, 5-triphenyl-tetrazolium en formosan (T.T.C) en donnant des colonies caractéristiques de couleur rose, rouge et de plus hydrolysent l'esculine à 44° C pendant 2h, formant généralement des chaînettes à catalases négatif, possédant l'antigèneD.

4. Principe:

Le dénombrement des entérocoques est fondé sur la filtration d'un volume d'eau à travers une membrane filtrante ayant une porosité de (0,45 µm) suffisante pour retenir les bactéries.

Le filtre est placé sur un milieu sélectif solide contenant de l'azoture de sodium pour supprimer la croissance des bactéries gram-négatif et du chlorure de 2, 3,5-triphenyl-tetrazolium, qui est réduit en formazan rouge par les entérocoques intestinaux.

Les colonies typiques sont bombées, de couleur rouge, marron ou rose soit au centre ou sur l'ensemble de la colonie.

Le filtre est ensuite transféré sur la gélose contenant de la bile et de l'esculine (B.E.A), qui est hydrolysé, donnant une coloration noire en se combinant à des sels de fer.

5. Appareillage:

- Rompe de filtration à un ou plusieurs postes, en acierinoxydable.
- Pompe sousvide.
- Pincés à creuset etbrucelles.
- BecBunsen.
- Membranes filtrantes stériles de porosité nominale0,45um.
- Incubateur 37°C.

- Incubateur 44°C.
- Bain marie maintenue à 100°C.
- Boite de pétries diamètre 55.
- Pipettes stériles à usage unique.
- Alcool.
- Stylo compteur de colonies.

6. Milieux de culture et réactif:

- Gélose de Slanetz et Bartley:

Est un milieu d'isolement gélosé très sélectif des entérocoques. Contenant de l'acide de sodium inhibiteur de la flore secondaire.

- Additif T.T.C (chlorure 2, 3,5 triphényl-tétrazolium) :

Est un colorant incolore qui est réduit en formazan rouge.

- Gélose Bile Esculine Azoture (B. E. A):

Est un milieu confirmatif des entérocoques intestinaux. Contenant de la bile et de l'esculine.

❖ Préparation des milieux de culture:

- Utiliser un bain marie à une température de 100°C.
- Faire fondre le flacon contenant la gélose stérile.
- Maintenir à une température de 80° C et laisser refroidir à une Température de 50°C
- Rajouter le T.T.C.
- Couler la gélose contenant le T.T.C, dans les boites de pétri et laisser solidifier

7. Mode opératoire:

- Stériliser la rampe de filtration à l'aide d'un Bec Bunsen.
- Prendre le filtre stérile à l'aide d'une pince stérilisée à l'alcool.
- Placer le filtre au centre de la membrane poreuse de la rampe.
- Fermer l'entonnoir et verser l'eau à analyser (100ml).
- Attendre que la totalité de l'eau soit filtré pour retirer le filtre.
- Placer le filtre dans la boite pétri contenant la gélose Slanetz et Bartly.
- S'assurer que le filtre adhère bien sur la surface de la gélose (absence de bulles d'air).
- Mettre la boite de pétri dans l'incubateur à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant $44 \pm 4\text{h}$.

8. Dénombrement et confirmation:

- Après incubation, les entérocoques intestinaux typiques donnent des colonies bombées de taille moyenne, rose ourouge.

- Si des colonies typiques se présentent sur le filtre, transférer le filtre au moyen d'une pince stérile, sans retournement sur la boîte de pétri contenant la gélose B.E.A qui a été préchauffé au préalable à 44°C.
- Faire incubé à 44° C pendant 2h, Retirer la boîte de pétri et compter les colonies entourées d'un halo noir indiquant l'esculine+.

9. Expression des résultats:

Compter le nombre de colonies et l'exprimer dans 100 ml d'eau.

Annexe N°14 :

Recherche des salmonella dans les eaux : Norme NF EN ISO9308

1. Définition.

Au sens de cette méthode, on entend par Salmonella, des bactéries qui se présentent sous forme de bacilles à Gram négatif et qui en se développant à température de 37°C en 24 à 48 heures, sur milieu Hektoen formant de petites colonies lisses, de contours réguliers, pigmentées en vert ou en bleu vert à centre noir.

Les Salmonella se divisent en deux grands groupes : les mineures et les majeures sont hautement pathogènes.

2. Mode opératoire:

La recherche des salmonella par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec-bunsen.
- Les refroidir tout de suite après avec l'eau à analyser si on dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau stérile.
- Mettre en place de façon aseptique la membrane de 0.45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Verser ensuite 250 ml, 500 ml ou plus selon la disponibilité jusqu'à 1 voire 5 litres d'eau à analyser, devant un bec-bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- **L'enrichissement primaire:**
 - Retirer la membrane à l'aide d'une pince stérile puis la placer dans un flacon contenant le milieu Eau Peptonnée Tamponnée ou bien dans le milieu SFB.
 - Bien mélanger le filtre dans le milieu, puis incuber ce dernier à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant $20 \pm 4\text{h}$.
- **L'enrichissement secondaire:**
 - Après incubation, procéder à un enrichissement secondaire en transférant 1 ml de l'enrichissement primaire sur le milieu Rappaport Vassiliadis.
 - Bien mélanger le milieu et l'inoculum, puis incuber ce dernier à $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$ pendant $20 \pm 4\text{h}$.
 - Après l'incubation, procéder à l'isolement sur milieu Hektoen ou XLD à incuber à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant $20 \pm 4\text{h}$.

3. Lecture et interprétation:

- Repérer les colonies caractéristiques
- Faire une identification biochimique basée essentiellement sur ONPG, TSI, Urée-Indole, LDC, ODC, ADH

Remarque :

Au cas où l'échantillon est chargé ou bien la quantité d'eau à analyser n'est pas suffisante, transférer 10 ml directement sur milieu d'enrichissement primaire et poursuivre les autres étapes comme décrits ci-dessus

Annexe N°15 :

Analyse des métaux lourds

1. Absorption atomique :

Pour le dosage des éléments métalliques à l'état de trace ou à faible concentration. L'absorption atomique reste sans conteste la méthode la plus adaptée.

Par ailleurs, il existe aussi en photométrie de flamme, la méthode d'émission atomique (torche de plasma) dont la précision est suffisante pour le dosage des alcalins et des alcalino-terreux.

Le principe de l'absorption atomique consiste à aspirer et à atomiser des atomes (à l'état fondamental) par une flamme. Cette flamme est traversée par un faisceau lumineux fourni Par une source de mie émettant des radiations caractéristiques de l'élément à doser. L'intensité de la radiation émise est sélectionnée par monochromateur.

De plus, un détecteur photosensible (photomultiplicateur) mesure l'intensité de la lumière absorbée par les atomes non excités vaporisés dans la flamme. Cette absorption est proportionnelle à la concentration dans l'échantillon de l'élément considéré.

Bibliographie

Références Bibliographiques

- [1]: Dugniolle.H, (1980). L'assainissement des eaux résiduaires domestique, CSTC –revue n°3- septembre.
- [2]: Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A. (2004) Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, page 220.
- [3]: Rodier J, (2005) L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Dunod, Paris.
- [4]: Gaujous D, (1995) Lapollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, page 220.
- [5]: Gomella C, Guerree H, (1978) Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles Paris, page 262.
- [6]: Duguet J-P, Bernazeau F, Cleret D, Laplanche A, Moles J, Monteil A. RIOU G. Simon P, (2006) Règlements et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1^{ère} Edition. ASTEE (association scientifique et technique pour 'l'environnement).
- [7]: Grosclaude.G, (1999) L'eau : usage et polluants. Edition INRA, page 210.
- [8]: Chapitre I, université kasdimarbah ouargla.
- [9]: Joly B, Reynaud A, (2003) Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation, Paris, page 356.
- [10]: Degrement, (2005) Mémento technique de l'eau. Tome1. 10^{ème} Edition. Page 466.
- [11]: Jarde E, (2002) Composition organique de boues résiduaires de station d'épuration lorraines : caractérisation moléculaires et effets de la biodégradation. Th. Doc. Univ. Henri Poincaré. Nancy I en sciences de l'Univers. Page 286.
- [12]: Bernard Pironin, Traitement des eaux.
- [13]: Boeglin J.C., L'épuration biologique des eaux résiduaires industrielles. Cours : effectués en Maîtrise de Biochimie (Faculté des Sciences de Metz), en Formation continue (IPI Environnement Industriel de Colmar »).
- [14]: Edeline. F,(1988) L'épuration biologique des eaux résiduaires. Technique et Documentation CEBEDOC.
- [15]: Bongiovanni, J.M, (1998) Traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique, Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour

- [16]: D.Zerouali, (2000) Traitement des eaux résiduaires. Centre inter- entreprises de formation industrielle. Seminaries.
- [17]: Tyrrell SA, Rippey SR, Watkins WD. Inactivation of bacterial and viral indicators in secondary sewage effluents, using chlorine and ozone. Water Research 1995.
- [18]: Asano T, (1998) Waste water reclamation and reuse. Water Quality Management library, 1475pages.
- [19]: Faby J.A, Brissaud F. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 1997, 76 pages.
- [20]: Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usée traitée, par des procédés mixtes. Cas de la ville detizi-ouzou/thèse.
- [21]: Spéciation de l'acide orthophosphorique. (Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphate>)
- [22]: [Http://www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr). Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie : La réutilisation des eaux usées. janvier 2012.
- [23]: F. VALIRON, La réutilisation des eaux usées. Edition du BRGM. 1983.
- [24]: FAO : l'irrigation avec des eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Septembre 2003
- [25]: Ogoshi, M. Y, Suzuki et T. Asano. Water Reuse in Japan. Water Science and Technology.2001.
- [26]: Tamrabet, I, thèse de doctorat, Université Hadj lakhdar, Batna (2011).
- [27]: Direction OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, volumes II : utilisation des eaux usées en agriculture, (2012) Page 200.
- [28]: Mara, D.D. and Cairncross, S. (1989) Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection. WHO Publication, Geneva.
- [29]: Ayers RS, Westcot DW (1994) Water quality for agriculture: FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Revision. 1. page 1-130.
- [30]: ONA : Office National de l'Assainissement Saida (2010)
- [31]: Arrêté interministériel du 8 safer 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, JO N° (2012) Page 18-20.
- [32]: Lazarova, V. (1998) La reutilisation des eaux uses: Un enjeu de l'an 2000. L'Eau, L'Industrie, Les Nuisances, 212, 39-46.
- [33]: Lazarova V. and Brissaud F. (2007) Intérêt bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. L'eau, l'industrie, les nuisances. Page43-53

- [34]: El Hachemi. O. thèses de doctorat, Université Mohammed premier, Maroc.
- [35]: Ayaz, Desalination. S, C, Vol 226 (2008) Page 249-255.
- [36]: N'diaye et al. A.D, Sciencelib Ed, Mersenne, Vol. 3 N° 110703 (2011)
- [37]: Rodire. J, Legubeb, Merlent, Analyses de l'eau, 9^{ème} Edition DUNDOD, Paris 2009
- [38]: N'Diaye et al, Vol. 3 N° 110704.
- [39]: Hamaidi.F et al, Sciencelib Ed, Mersenne, Vol. 4 N° 120503 (2012).
- [40]: Sorme. L, et al, Science of the Total Environnement, Vol 298, N°1-3 (2002). Page131-145.
- [41]: Metcalf, Eddy, Inc. 2003. Wastewater engineering: Treatment and Reuse. 4^{ème} Edition. Mc Graw-Hill New York, page 1819.
- ISO 5667-1: 2006, Qualité de l'eau – Echantillonnage – Partie 1 : lignes directions pour la conception des programmes et des techniques d'échantillonnage.
- ISO 5667-3: 2012, Qualité de l'eau – Echantillonnage – Partie 3 Conversation et manipulation des échantillons d'eau.
- ISO 7150-1: 1984, Water quality – Determination of ammonium – Part 1: Manuel spectrometric method.
- NF EN ISO 5667-1 Mars 2007, Qualité de l'eau – Echantillonnage – Partie 1: lignes direct.