



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ Djilali Bounaama de Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre

Département des sciences agronomiques

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Spécialité « Aménagement hydro-agricole »

Thème :

« Réutilisation des eaux épurées en agriculture dans

La wilaya de AIN DEFLA »

Présenté par : M^{elle} Bensalah soumia

Devant le jury composé de :

Président : RATIAT.AMAA UDBKM

Examineur : MEROUCHE.AMCAUDBKM

Promoteur : IMESSAOUDENE.Y MAA UDBKM

Année Universitaire : 2019 /2020

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des photos.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction général.....	1
Partie bibliographique	
Chapitre I :Généralités sur la qualité physico-chimique des eaux usées et leur traitement	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Traitement et réutilisation des eaux usées bilan mondial.....	3
I.3. Traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie.....	4
I.3.1. Changement climatique & ressources en eau.....	4
I.3.2. Mobilisation de L'eau en Algérie.....	4
I.4. Origine des eaux usées.....	6
I.4.1. Eaux usées domestiques.....	6
I.4.2. Eaux industrielles.....	7
I.4.3. Eaux pluviales.....	7
I.4.4. Eaux agricoles.....	7
I.5. Composition des eaux usées.....	8
I.5.1. Matières particulaires.....	9

I.5.2. Eléments traces minéraux ou organiques.....	9
I.5.2.1. Métaux lourds.....	9
I.5.2.2. Matières organiques.....	9
I.5.2.3. Eléments toxiques organiques.....	10
I.5.3. Substances nutritives.....	10
I.5.4. Microorganismes.....	10
I.5.4.1. Virus.....	11
I.5.4.2. Bactéries.....	11
I.5.4.3. Helminthes.....	11
I.5.4.4. Protozoaires.....	12
I.6. Caractéristiques des eaux usées.....	12
I.6.1. Paramètres physico-chimiques.....	12
I.6.1.1. Température.....	12
I.6.1.2. Matières en suspension.....	13
I.6.1.3. Turbidité.....	13
I.6.1.4. Potentiel Hydrogène (pH).....	14
I.6.1.5. Conductivité Electrique.....	14
I.6.1.6. Oxygène dissous.....	14
I.6.1.7. Demande chimique en oxygène.....	15
I.6.1.8. Demande biochimique en oxygène.....	15
I.6.1.9. Azote.....	15
I.6.1.9.1. Nitrites (NO ₂ ⁻).....	16
I.6.1.9.2. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	16

I.6.1.9.3. Azote ammoniacal.....	17
I.6.1.10. Phosphore.....	17
I.6.2. Critères de pollution.....	17
I.6.2.1. Biodégradabilité.....	17
I.6.2.2. Equivalent habitant (EH).....	18
I.7. Procédés de traitement des eaux usées.....	18
I.7.1. Prétraitement.....	20
I.7.2. Traitement primaire.....	20
I.7.3. Traitement secondaire.....	21
I.7.3.1. Traitements anaérobies.....	22
I.7.3.2. Traitements aérobies.....	22
I.7.4. Traitement tertiaire.....	22
I.7.5. Traitement des boues.....	23
Conclusion.....	24

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

II.1. Introduction.....	25
II.2. Qualité de l'eau d'irrigation.....	25
II.2.1. Salinité.....	25
II.2.2. Alcalinité.....	26
II.2.3. Critères déterminants de l'alcalinité et de la salinité de l'eau d'irrigation.....	26
II.2.3.1. Rapport d'adsorption du sodium SAR.....	26
II.2.3.2. Carbonate de sodium résiduel RSC.....	26
II.2.3.3. Combinaison de la conductivité électrique et rapport d'absorption du sodium.....	27

II.2.3.3.1. Diagramme de Riverside.....	27
II.3. Situation de l'irrigation en Algérie.....	28
II.4. Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation.....	29
II.5. Contexte juridique Algérienne.....	29
II.5.1. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.....	30
II.5.1.1. Paramètres microbiologiques.....	30
II.5.1.2. Paramètres physico-chimique.....	31
II.5.1.3. Liste des cultures autorisées.....	32
Conclusion.....	33

Partie expérimentale

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III.1. Introduction.....	35
III.2. Présentation de la zone d'étude.....	35
III.2.1. Situation géographique de la wilaya de Ain Defla.....	35
III.2.2. Situation de la zone d'étude.....	35
III.2.3. Réseau hydrographique.....	35
III.2.4. Etude climatologique.....	36
III.2.4.1. Pluviométrie.....	36
III.2.4.1.1. Précipitations moyenne mensuelles.....	36
III.2.4.2. Température.....	37
III.2.4.2.1. Températures moyennes mensuelles.....	37
III.2.4.3. Vents.....	38
III.3. Présentation de la STEP.....	39

III.3.1. Description et Fonctionnement de la STEP de Ain Defla.....	39
III.3.2. Filières de Traitement de la station.....	41
III.3.2.1. Prétraitement.....	42
III.3.2.2. Traitement biologique.....	43
III.3.2.3. Traitement des boues d'épuration.....	44
III.3.3. Description de laboratoire.....	45
Conclusion.....	46

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Prélèvement des échantillons.....	47
IV.3. Matériel et appareillages d'analyse.....	48
IV.4. Solutions chimiques et réactifs.....	49
IV.5. Analyses physico-chimiques.....	49
IV.5.1. Mesure de pH, température, conductivité, l'oxygène dissous et la salinité.....	49
IV.5.2. Mesure de matière en suspension (MES).....	51
IV.5.3. Mesure La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	53
IV.5.4. Mesure La demande chimique en oxygène (DCO).....	55
IV.6. Analyses biochimiques.....	56
IV.6.1. Dosage de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	57
IV.6.2. Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻).....	57
IV.6.3. Dosage des Nitrates (NO ₃ ⁻).....	58
IV.6.4. Détermination des phosphates (PO ₄ ³⁻).....	58
Conclusion.....	59

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Introduction.....	60
V.2. Résultats d'analyses physico-chimiques.....	60
V.2.1. Température.....	60
V.2.2. Conductivité électrique.....	61
V.2.3. Salinité.....	61
V.2.4. O ₂ dissous.....	62
V.2.5. Matières en suspension (MES).....	63
V.2.6. Demande chimique en oxygène (DCO).....	64
V.2.7. Demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	65
V.2.8. Azote ammoniacal N-NH ₄ ⁺	66
V.2.9. Nitrite (N-NO ₂ ⁻).....	66
V.2.10. Nitrate (N-NO ₃ ⁻).....	67
V.2.11. Ortho phosphates (PO ₄ ³⁻).....	68
V.2.12. Phosphore total PT(en mg /l).....	68
V.3. Performance de la STEP.....	69
V.3.1. Evaluation de la pollution organique des eaux usées.....	69
Conclusion.....	70
Conclusion générale	71
Référence bibliographique.....	73
ANNEXE.....	76



Remerciements

*Tout d'abord je remercie avant tous, Dieu le tout puissant qui
ma donné le courage, et la volonté pour atteindre mon
objectif.*

*Je porte avec gratitude de reconnaissance pour l'ensemble
des enseignants du département des sciences agronomiques
qui ont contribué à notre formation.*

*Mes remerciements s'adressent à Mr IMESAOUDENE
YASSINE de m'avoir aidé à réaliser ce travail.*

*Je ne saurai oublier de remercier les honorables membres des
Jury qui j'ai fait l'immense honneur de présider et d'examiner
ce modeste travail.*

*A tous ceux et/ou celles qui j'ai apporté leur soutien, trouvent
ici, l'expression de mes vives et sincère reconnaissance.*





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents Kamel & Aicha

Mes sœurs Fatima & Kawther

Mon frère Abdullah

Mes amis Ahlem, SouMi, Imane, Kouki, TaQiy,

A tous camarades des spécialités Aménagement

Hydro-agricole

*Mes enseignants (es) & toutes mes
connaissances.*

« Soumia.ben »

Résumé

La wilaya de Ain defla est exposée à la contrainte de rareté de l'eau. Ceci pousse à penser au traitement des eaux usées, pour son double avantage de protection de l'environnement contre la pollution et de production d'une nouvelle source d'eau (eau usée traitée) qui peut être réutilisée en agriculture.

Le présent travail consiste à vérifier la possibilité de la réutilisation des eaux usées traitées de la STEP de Ain defla en agriculture.

Des analyses physico-chimiques des eaux usées traitées ont été réalisées durant les mois : Jan, Fév, Mars, Avril, Mai, Juin, juill de l'année 2020, concernant les paramètres suivants : Température, conductivité électrique, matières en suspension, DBO₅, DCO, nitrates, nitrites, l'orthophosphates et l'ammonium.

Les résultats des paramètres étudiés soient conformes aux normes algérienne de qualité d'eau destinées à l'irrigation, Mais ces paramètres ne sont pas suffisants, pour assurer une bonne qualité de l'eau pour l'irrigation, il est faut suivre la qualité microbiologique, les métaux lourds, les éléments toxiques, les paramètres de salinité et d'alcalinités (SAR, RSC...).

Mots clés : Eau usés traité, qualité des eaux usée traité, analyse physicochimique de l'eau.

Summary

The city of Ain defla is exposed to the constraint of water scarcity, This leads to thinking about wastewater treatment, for its double advantage of protecting the environment against pollution and producing a new source of water (treated wastewater) that can be reused in agriculture.

The present work is to determine the operation of the wastewater treatment plant in the city of Ain defla, with the aim of verifying the possibility of the reuse of wastewater processed in agriculture.

Physico-chemical analyzes of treated wastewater were carried out during the months: Jan, Feb, March, April, May, June, jullay of the year 2020, concerning the following parameters: T ° C, electrical conductivity, suspended solids, BOD₅, DCO, nitrates, nitrites, orthophosphates and l'ammonium.

The results we obtained show that the wastewater treatment plant of Ain defla are lower than the Algerian water quality standards for irrigation, but these parametres are not sufficient, to ensure good water quality for irrigation, it is necessary to follow the microbiological parametres, the heavy metals, the toxic elements also the parametres of salinity and Alcalinity (SAR, RSC...).

Key words : Treated wastewater, treated wastewater quality, physico-chemical analysis of water.

ملخص

تتعرض مدينة عين الدفلى لندرة المياه ، مما يؤدي إلى التفكير في معالجة مياه الصرف الصحي ، لما تتمتع به من ميزة مزدوجة تتمثل في حماية البيئة من التلوث وإنتاج مصدر جديد للمياه (مياه الصرف الصحي المعالجة) التي يمكن إعادة استخدامها في الزراعة (الري الفلاحي).

يتمثل العمل الحالي في تحديد إمكانية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة دون تعريض المستهلك أو العامل إلى أية أضرار صحية.

تم إجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف الصحي المعالجة خلال الأشهر: جانفي ، فيفري ، مارس ، أفريل ، ماي ، جوان ، جويلية لعام 2020 ، فيما يتعلق بالمعايير التالية: درجة الحرارة ، الناقية الكهربائية ، المواد الصلبة العالقة، النترات ، النتريت ، الأورثوفوسفات ، الأمونيوم الطلب الكيميائي للاكسجين البيولوجي للاكسجن .

النتائج التي تحصلنا عليها من محطة معالجة مياه الصرف الصحي لعين الدفلى تتوافق مع معايير الجزائرية لجودة مياه الري ، لكن هذه المعايير غير كافية ، من الضروري مراقبة جودتها من الناحية الميكروبيولوجية ، و مراقبة نسبة المعادن الثقيلة، و العناصر السامة ، بالإضافة للمعايير الخاصة بالملوحة (SAR, RSC...).

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي المعالجة ، جودة مياه الصرف الصحي ، التحليل الفيزيائي الكيميائي للمياه.

Liste des figures

Figure 1 : Pourcentage du potentiel hydrique en Algérie.....	5
Figure 2 : Pourcentage de potentiel hydrique au Nord et au Sahara.....	5
Figure 3 : Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs dans le monde.....	6
Figure 4 : Diagramme de RIVERSIDE.....	27
Figure 5 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude.....	36
Figure 6 : Histogramme de précipitation moyenne annuelle (2017-2019).....	37
Figure 7 : Variation de température moyenne mensuelle (2017-2019).....	38
Figure 8 : Variation moyenne mensuelle des vitesses du vent (2017- 2019).....	39
Figure 09 : Localisation de la station d'épuration de Ain Defla.....	40
Figure 10 : Schéma représentent le fonctionnement de la STEP de Ain Defla.....	41
Figure 11 : Variation mensuel de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	60
Figure 12 : Variation mensuel de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	61
Figure 13 : Variation mensuel de la salinité à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	62
Figure 14 : Variation mensuel d'O ₂ dissous à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	62
Figure 15 : Variation mensuel de la concentration des matières en suspension (MES) à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	63
Figure 16 : Variation mensuel de la demande chimique en oxygène (DCO) à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	64
Figure 17 : Variation mensuel de la demande biologique en oxygène (DBO ₅) à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	65
Figure 18 : Variation mensuel de NH ₄ ⁺ à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	66

Figure 19 : Variation mensuel de (NO_2^-) à l'entrée et à la sortie de la STEP.....66

Figure 20 : Variation mensuel de NO_3^- à l'entrée et à la sortie de la STEP.....67

Figure 21 : Variation mensuel d'ortho phosphates à l'entrée et à la sortie de la STEP.....68

Figure 22 : Variation mensuel de phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP.....68

Liste des photos

Photo 1 : Dégrilleur.....	42
Photo 2 : Dessableur et déshuileur.....	43
Photo 3 : Ouvrages du traitement biologique.....	44
Photo 4 : Bassin d'aération.....	44
Photo 5 : Epaisseur.....	45
Photo 6 : Lits de séchages.....	45
Photo 7 : Laboratoire de STEP de Ain Defla.....	46
Photo 8 : Prélèvement des eaux usées traitées à l'entrée et à la sortie de la STEP de Ain Defla.....	47
Photo 9 : Multi-paramètre.....	51
Photo 10 : Eau usée brute et épurée.....	51
Photo 11 : Méthode de Filtration.....	52
Photo 12 : Dispositif de mesure de la DBO ₅	54
Photo 13 : Spectrophotomètre de paillasse UV-VIS Dr 6000.....	55
Photo 14 : Dosage des Réactifs.....	56
Photo 15 : Thermoréacteur (CR 2200).....	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques en Algérie.....	5
Tableau 2 : Constituants majeurs des eaux usées domestiques.....	8
Tableau 3 : Procédés utilisés pour les traitements des polluants de l'eau.....	18
Tableau 4 : Classes de la salinité des eaux d'irrigation.....	26
Tableau 5 : Classification des eaux d'irrigation : Méthode du SAR, Na, et RSC.....	28
Tableau 6 : Répartition de l'eau utilisée par usages.....	29
Tableau 7 : Réglementation algériennes des normes microbiologiques.....	30
Tableau 8 : Réglementation algériennes des Normes physico-chimiques.....	31
Tableau 9 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.....	32
Tableau 10 : Précipitation moyenne mensuelle (2017-2019).....	36
Tableau 11 : Température moyennes mensuelles (2017-2019).....	37
Tableau 12 : Variation moyenne mensuelle (2017/2019) des vitesses du vent.....	39
Tableau 13 : Types d'appareillages utilisés pour les différentes analyses.....	48
Tableau 14 : Paramètres et leurs réactifs.....	49
Tableau 15 : Volume d'échantillons simplifiés.....	53
Tableau 16 : Variation de la biodégradabilité à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	69

Liste des abréviations

EU : Eaux usées.

EUT : Eaux usées traitées.

STEP: Station de traitement des eaux polluées.

pH : Potentiel Hydrogène.

CE : Conductivité Electrique.

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

O : Oxygène dissous.

MES : Matière En Suspension.

MVS : Matières volatiles en suspension.

MMS : Matières minérales en suspension.

NT: Azote total.

NH₄⁺ : Azote ammoniacal.

NH₃ : Ammoniac.

NO₂⁻ : Nitrites.

NO₃⁻ : Nitrates.

PO₄⁻³: Ortho phosphates.

EH : Equivalent habitant.

K : Degré de biodégradabilité de la matière organique.

ONA : Office National d'Assainissement.

WWDR : World Water Development Report.

RSC : Carbonate de sodium résiduel.

SAR : Rapport d'adsorption du sodium.

Introduction générale

L'eau est un aliment, un bien économique, un facteur de production. Elle est à ce titre un élément essentiel de tout développement (Gaaloul, 2018).

Selon Gaaloul (2018), l'Algérie figure parmi les 17 pays africains les plus pauvres en termes de potentiel hydrique, la situation actuelle de l'eau en Algérie est très difficile :

- Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles : la croissance démographique et le développement économique et social du pays exigent la disponibilité de différents besoins, mais malheureusement en parallèle, on trouve un accroissement considérable de ces besoins en eau potable, industrielle et agricole.
- La pollution des nappes et des ressources superficielles : les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau devant être utilisés.

Les changements climatiques de ces dernières années, l'accroissement démographique et le développement de l'urbanisation ont conduit à des problèmes multiples et complexes. Au défi croissant que pose la demande en eau et sa gestion, s'ajoute les problèmes de rejet des eaux usées et leur influence directe ou indirecte à long ou à court terme sur l'environnement et la santé publique (Hamaidi-Chergui et *al*, 2016). Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne, on est passé de l'emploi des eaux de source et de nappe à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. Ainsi, il y-a actuellement un développement des techniques de dessalement de l'eau de mer, et des méthodes de recyclage des eaux usées (WWDR, 2017).

L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques. Les agriculteurs s'intéressent donc à l'utilisation des eaux usées dans des pays en situation d'accroissement du stress hydrique tel que l'Algérie. Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins. Selon Hannachi (2018), l'Algérie, qui dispose d'un volume d'eau usée traitée de 560000 m³, consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture. Les eaux usées traitées pourraient être considérées comme une « nouvelle »

ressource en eau, qui peut être ajouté au bilan général de l'eau d'une région. Elles peuvent remplacer l'utilisation de l'eau d'irrigation ou à d'autres fins, en même temps, en diminuant ainsi la pression sur les ressources en eau (EL Youssfi, 2013). Avec l'augmentation de la demande de produits agricoles, les agriculteurs se tournent vers des sources d'eau non conventionnelles, en raison de leur forte teneur en nutriments, les eaux usées domestiques et municipales offrent une possibilité intéressante, notamment lorsque les ressources en eau classiques sont rares ou absentes (WWDR, 2017).

L'objectif de notre travail est déterminer la qualité physico-chimique des eaux usées épurées de la STEP de la ville de Ain Defla et voir la possibilité de la réutilisation de ces eaux en agriculture dans la région. A cet effet, et pour rendre notre étude claire nous allons développer Cinq chapitres subdivisés en deux parties : bibliographique et expérimentale.

Partie bibliographique :

- Le premier chapitre traite les généralités sur la qualité physico-chimique des eaux usées et leur traitement.
- Le deuxième chapitre porte sur la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture, la qualité de l'eau d'irrigation et les normes algériennes des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Partie expérimentale :

- Le troisième chapitre concerne la présentation de la zone d'étude, et la station d'épuration de Ain Defla.
- Le quatrième et le cinquième chapitres sont consacrés à la description des méthodes d'analyse utilisées pour le suivi des traitements et s'attache à présenter l'analyse des résultats obtenus au cours de l'année 2020, et nous présenterons les principaux résultats de traitement obtenus ainsi que leurs interprétations et leur conformité aux normes algérienne de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation.

Et enfin une conclusion générale clôturera ce travail.

Partie bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur la qualité physico-chimique des eaux usées et leur traitement

I.1. Introduction

Ce chapitre définit des eaux usées, leurs origines, ainsi que leur composition et les paramètres caractéristiques physiques, chimiques et biologiques et enfin les différents types de procédés du traitement des eaux usées.

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autres. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (Tabet, 2015). Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage (Zobeidi, 2017). Les eaux résiduaires urbaines sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non (Abibsi, 2011). La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit (Metahri, 2012).

I.2. Traitement et réutilisation des eaux usées bilan mondial

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées, en moyenne, les pays à revenu élevé traitent environ 70% des eaux résiduelles municipales et industrielles qu'ils produisent. Ce pourcentage tombe à 38% dans les pays à revenu intermédiaire supérieur, et à 28% dans les pays à revenu intermédiaire inférieur. Dans les pays à faible revenu, seuls 8% de ces eaux usées subissent un traitement, quel qu'il soit, ces estimations vont dans le sens de l'appréciation souvent citée selon laquelle il est probable que plus de 80% des eaux usées du monde soient rejetées sans traitement (WWDR, 2017).

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 (Tabet, 2015). Selon Metahri (2012), les principales utilisations des eaux usées traitées dans le monde sont les suivantes :

- Utilisations urbaines : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation de plans d'eau, auxquelles on peut ajouter une utilisation périurbaine qui se développe comme l'arrosage des terrains de golfs ;

- Utilisations agricoles : irrigation ; utilisation pour la lutte contre les incendies ;
- Utilisations industrielles : cette réutilisation est importante en raison du recyclage fréquent des eaux de procédés qui est souvent justifiée par la réduction des consommations mais aussi par la récupération des sous-produits. Mais elle peut aussi concerner les eaux de refroidissement ;
- Recharge des nappes, protection contre l'intrusion du biseau salé en bord de mer.

I.3. Traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie

I.3.1. Changement climatique & ressources en eau

D'après Bouchaala et al (2017), Avec une superficie de 238 1741km², l'Algérie est divisée en 48 wilayas dont près de 80% du territoire représente une zone désertique où les précipitations sont quasi-nulles et les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'atlas. Les potentialités hydriques de l'Algérie sont estimées en moyenne à 18 milliards de m³/an, dont 12.5 milliards de m³ dans les régions Nord (10 milliards de m³ d'écoulements superficiels et 2.5 milliards de m³ de ressources souterraines renouvelables), 5.5 Milliards de m³ dans les régions sahariennes (0.5 milliards m³ d'écoulements superficiels, 5.0 milliards de m³ ressources souterraines fossiles), les ressources hydriques algériennes sont renouvelables, 60% pour les eaux de surface et 15% pour les eaux souterraines.

I.3.2. Mobilisation de L'eau en Algérie

En 2011 : 2,7 milliards m³/an (63 barrages) & En 2030 : 4,3 milliards m³/an (121 barrages) & Développement de la réutilisation des eaux usées (1,2 millions m³/an en 2015) & Dessalement (2,3 millions m³/jour). De part sa rareté, l'eau en Algérie, comme dans la plupart des pays du Sud de la Méditerranée, est un facteur limitant le développement, c'est une source de tensions sociales, la rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique (Moussaoui, 2017).

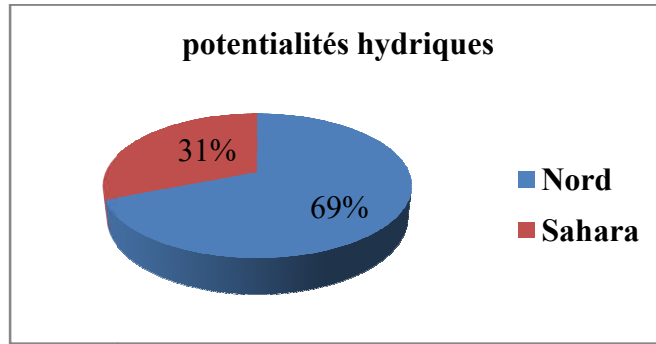


Figure 1 : Pourcentage du potentiel hydrique en Algérie. **Source :** Bouchaala, 2017.

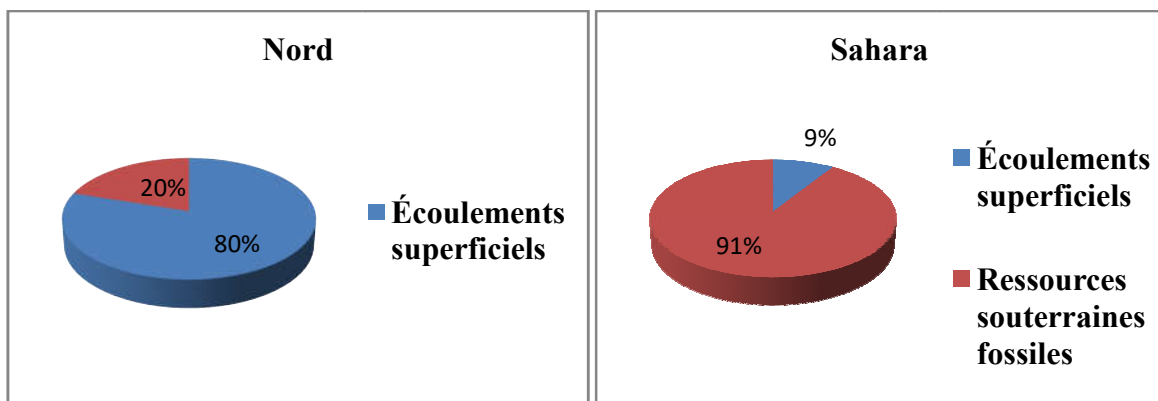


Figure 2 : Pourcentage de potentiel hydrique au Nord et au Sahara. **Source :** Bouchaala, 2017.

Tableau 1 : Ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques en Algérie.

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux Souterraines	Total de la ressource
Oranie, Chott	1 milliard de m ³	0.6 milliard de m ³	1.6 milliard de m ³
Chergui Cheliff, Zahrez	1.5 milliard de m ³	0.33 milliard de m ³	1.83 milliard de m ³
Algérois, Hodna, Soummam	3.4 milliard de m ³	0.74 milliard de m ³	4.14 milliard de m ³
Constantinois, Seybouse, Mellegue	3.7 milliard de m ³	0.43 milliard de m ³	4.13 milliard de m ³
Sahara	0.2 milliard de m ³	5 milliard de m ³	Nappe albiene

Source : Moussaoui, 2017.

Sachant que toutes les ressources souterraines du Nord sont mobilisées en plus de 70% des ressources superficielles. Le volume annuel d'eaux usées domestiques rejetées est estimé à 800 millions m³. Ce sont des quantités importantes et facilement localisables que le pays ne peut négliger (Metahri, 2012).

I.4. Origine des eaux usées

D'après Metahri (2012), suivant l'origine et la qualité des substances polluantes des eaux usées, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

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

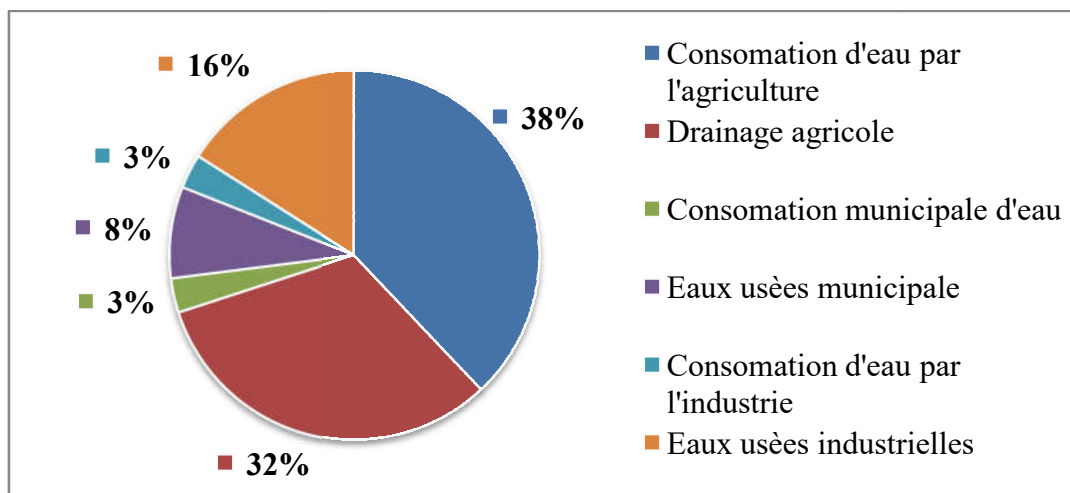


Figure 3 : Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs dans le monde. **Source :** WWDR, 2017.

I.4.1. Eaux usées domestiques

Essentiellement porteuses de pollution organique et se répartissant en eaux ménagères ou grises (salles de bains et cuisines) généralement chargées en détergents, en graisses, en solvant et en débris organiques ; et en eaux vannes (rejets des toilettes) caractérisées par une importante charge en diverses matières organiques azotées et en germes fécaux et pathogènes (EL Hachemi, 2012).

I.4.2. Eaux industrielles

Selon Tabet (2015), Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques, selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

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

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations.

I.4.3. Eaux pluviales

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, détritux, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (Metahri, 2012).

I.4.4. Eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes,

conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau (Tabet, 2015).

I.5. Composition des eaux usées

Rappelons que les eaux usées contiennent des déchets solides, des matières en suspension, des éléments nutritifs, des substances chimiques et des éléments biologiques nocifs (El Youssfi, 2013). Les constituants majeurs des eaux usées domestiques sont cités dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Constituants majeurs des eaux usées domestiques.

Constituants	Concentration (mg/l)		
	Elevée	Moyenne	Faible
Solides totaux	1 200	700	350
Solides totaux dissous	850	500	250
Matière en suspension	350	200	100
Azote total	85	40	20
Phosphore total	20	10	6
Chlorures	100	50	30
Alcalinité (CaCO³)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO₅ (*)	300	200	100

Source : El Youssfi, 2013.

*DBO₅ : La demande biochimique en oxygène en 5 jours à 20°C.

Ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (Belaid, 2010).

I.5.1. Matières particulières

La pollution particulaire est due à la présence des particules de grande taille, supérieure à 10 µm, qui explique qu'elles se retrouvent en suspension dans l'eau usée qui sert à leur transport (on parle donc de matières en suspension ou MES), une faible part peut être due également à la présence des matières colloïdales. On peut éliminer ces matières par des traitements physiques simples de décantation ou de filtration. Cette pollution particulaire est de nature organique (fragments d'aliments ou résidus de digestion) ou de nature minérale (sables ou argiles). Son rejet dans le milieu naturel réduit la limpidité de ce milieu, limitant la vie des organismes photosynthétiques et entraînant des dépôts qui peuvent perturber la vie benthique et crée un envasement du cours d'eau. La pollution particulaire est appréciée par la détermination de la concentration en MES et turbidité de l'eau (Zobeidi, 2017).

I.5.2. Eléments traces minéraux ou organiques

I.5.2.1. Métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux, les plus abondants (de l'ordre de quelques µg/l) sont le fer, le zinc, le cuivre (Cu) et le plomb (Pb). Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium (Cd), molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » (Tabet, 2015).

I.5.2.2. Matières organiques

Elles sont constituées par des molécules dont la structure de base comporte de liaisons covalentes au moins deux atomes de carbone, d'où le nom de pollution carbonée. Ces matières organiques proviennent surtout des sanitaires et des cuisines, sous forme de protéides, glucides (sucres), lipides (graisses), urée et produits du métabolisme et de dégradation. Une autre source de matières organique est constituée par les principes actifs de détergents (Zobeidi, 2017).

I.5.2.3. Eléments toxiques organiques

Les eaux usées contiennent des composés chimiques toxiques très persistants et qui ont une grande lipophilicité. Parmi ces composés, on peut citer les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien tel que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkylphénols. En effet plusieurs environnements aquatiques ont été pollués par ces composés en plus des autres substances pharmaceutiques dont la principale source est les eaux usées. Il s'est avéré que les stations d'épuration sont des sources potentielles de ces produits toxiques. Cependant, les faibles concentrations en ces composés dans les eaux usées limitent le risque d'exposition lors de leur réutilisation pour l'irrigation, de plus, En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues plutôt que dans les eaux résiduaires (Belaid, 2010).

I.5.3. Substances nutritives

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (Zobeidi, 2017). Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes (Belaid, 2010).

I.5.4. Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes (Zobeidi2017). La majorité des pathogènes présents dans l'eau sont d'origine entérique, ils sont issus des excréments d'individus infectés. Les différentes sources de pathogènes provenant de l'eau sont les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Rechercher l'ensemble des germes pathogènes est impossible et trop coûteux car les espèces sont nombreuses. Certaines analyses ne sont réalisables que par des laboratoires hautement spécialisés. Seuls certains

groupes de pathogènes ont été retenus comme indicateurs et servent de signal d'alarme en laissant présager la possibilité d'une présence d'autres pathogènes (Matthieu, 2011).

I.5.4.1. Virus

Les virus sont les plus petits pathogènes présents dans l'eau (taille entre 1 et 300 nm). Un virus isolé est incapable de métabolisme ou de multiplication, il ne peut que se répliquer aux dépens d'une cellule vivante infectée : c'est un parasite absolu. Pour cette raison, ils sont fréquemment associés à des matières organiques et à des particules. Ce sont des pathogènes très virulents qui nécessitent l'ingestion de seulement quelques particules pour causer une infection. Les entérovirus, les virus de l'hépatite A, les calicivirus, les adénovirus, les réovirus, les rotavirus, le coronavirus du SRAS, l'influenza et le papillomavirus sont les représentants principaux des virus dans l'eau (Matthieu, 2011).

I.5.4.2. Bactéries

Les bactéries sont les plus communes et les plus nombreux micro-organismes pathogènes dans l'eau. La plupart sont entériques, cependant certaines telles que *Legionella*, *Mycobacterium* et *Leptospira*, ne causent pas de gastroentérites. Les bactéries telles que *Salmonella* peuvent infecter aussi bien les humains que les animaux. Il est donc important d'évaluer le risque de la REUSE sur la faune à proximité. Les indicateurs les plus souvent utilisés sont le dénombrement des bactéries *E. Coli* et des coliformes totaux (Matthieu, 2011).

I.5.4.3. Helminthes

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 103 germes. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel. Les helminthes

pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricades*, *Oxyurisvermicularis*, *Trichuristrichuria*, *Taeniasaginata* (Belaid, 2010).

I.5.4.4. Protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires, ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voir même plusieurs années. Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées. Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoebahistolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (Belaid, 2010).

I.6. Caractéristiques des eaux usées

Pour un bon traitement des eaux usées il faut connaître la quantité, la qualité et les variations temporelles de la composition de l'effluent (Laabassi, 2016). Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physicochimique et biologique, ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs, pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les analyses suivantes (Tabet, 2015) :

I.6.1. Paramètres physico-chimiques

I.6.1.1. Température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique. Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C (Metahri, 2012).

I.6.1.2. Matières en suspension

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (Tabet, 2015). Selon Metahri (2012), les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

➤ **Matières volatiles en suspension (MVS)**

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

➤ **Matières minérales (MMS)**

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à l'aération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène (Metahri, 2012).

I.6.1.3. Turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées, elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (Tabet, 2015).

I.6.1.4. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH mesure la concentration des ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques (Anonyme, 2015). Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution bio disponible et donc leur toxicité, le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien, la nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9 (Metahri, 2012).

I.6.1.5. Conductivité Electrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la ce permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Anonyme, 2015). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500 $\mu\text{Sm/cm}$, la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire (Metahri, 2012).

I.6.1.6. Oxygène dissous

L'Oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ (Laabassi, 2016).

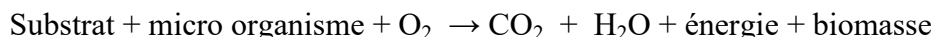
I.6.1.7. Demande chimique en oxygène

Selon Laabassi (2016), la demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques y compris les matières biodégradables et non dégradables par voie chimique. Vu la simplicité de mesure de DCO et sa précision, il s'est avéré nécessaire de développer des corrélations entre la DBO₅ et la DCO ainsi le rapport DCO/DBO₅ des eaux usées urbaines est proche de 2, le rapport DCO/DBO₅ des effluents domestiques est de 1,9 à 2,5. La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO (oxydation forcée) et donne une image de la matière organique présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible (présente d'un toxique par exemple) pour les eaux usées domestiques le rapport DCO/DBO₅ donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. La notion de la biodégradabilité présente la capacité de substance et son aptitude à être décomposée par les micro-organismes.

- $2 < \text{DCO/DBO}_5 < 5$ traitement biologique avec adaptation de souche ;
- $\text{DCO/DBO}_5 > 5$ traitement physico-chimique ;
- $\text{DCO/DBO}_5 \sim 2$ traitement biologique.

I.6.1.8. Demande biochimique en oxygène

Selon Metahri (2012), la DBO₅ comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅. Elle se résume à la réaction chimique suivante :

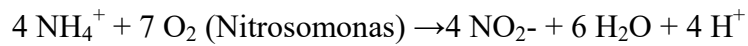


I.6.1.9. Azote

Selon Metahri (2012), 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^- .

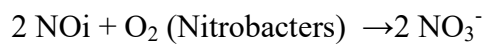
I.6.1.9.1. Nitrites (NO₂⁻)

Les ions nitrite (NO₂⁻) sont le produit soit de l'oxydation de l'ion ammonium (NH₄⁺) dans les conditions d'aérobic par les nitrosomonas, soit de la réduction des ions nitrate (NO₃⁻) en anoxie par les bactéries hétérotrophes (Metahri, 2012).



I.6.1.9.2. Nitrates (NO₃⁻)

D'après Metahri (2012), 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 :



D'après Laabassi (2016), Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3mg/L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/an, voire 2 mg/l/an dans certaines régions. Cette augmentation a plusieurs origines :

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

I.6.1.9.3. Azote ammoniacal

D'après Metahri (2012, Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH_4^+) et non ionisées (NH_3) de cette forme d'azote. L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle d'azote. Dans son état primitif, l'ammoniaque (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions du pH, il se transforme soit en un composé non combiné soit sous forme ionisée (NH_4). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :



I.6.1.10. Phosphore

Dans les eaux résiduaires, le phosphore peut se rencontrer sous forme de sels minéraux (orthophosphates, polyphosphates) mais aussi sous forme de composés organiques. Ces différents composés sont soit solubilisés, soit fixés sur les matières en suspension (Rodier, 2009).

I.6.2. Critères de pollution

I.6.2.1. Biodégradabilité

Selon Tabet (2015), La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que :

$$K = \text{DCO} / \text{DBO}_5$$

- Si $k < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables
- Si $1,5 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables. - Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures etc. La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physicochimique.

I.6.2.2. Equivalent habitant (EH)

Un équivalent habitant, correspond à la pollution quotidienne de l'eau que génère un individu. En fonction des dotations journalières en eau, chacun est sensé utiliser une quantité d'eau par jour. La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml (Metahri, 2012). L'unité d'équivalent-habitant (EqH) permet de quantifier globalement les matières polluantes contenues dans les eaux usées domestiques (1 EqH= 60g par jour de DBO₅). Elle est utilisée pour quantifier la pollution potentiellement émise par une agglomération (Herteman, 2010).

I.7. Procédés de traitement des eaux usées

Les eaux usées sont considérées comme polluées et doivent être traitées avant tout rejet dans les milieux récepteurs pour résoudre les différents problèmes de la pollution de ces milieux (Laabasi, 2016). Le processus d'épuration des eaux usées comprend trois grandes étapes, présentées ci-dessous : le prétraitement, les traitements primaires et secondaires parfois suivis par un quatrième niveau de traitement, appelé traitement tertiaire (Kebaili, 2019).

Tableau 3 : Procédés utilisés pour les traitements des polluants de l'eau.

Etape	Impuretés	Opération unitaire
Traitement préliminaire et primaire	Matières en suspension	Dégrillage Dessablage Sédimentation Filtration Flottation Addition de polymères chimiques Coagulation/sédimentation
Traitement secondaire	Composés organiques	Boues activées Réacteur à film fixé : lit bactériens et contacteurs biologiques rotatifs Lagunage Filtration

Chapitre I : Généralités sur la qualité physico-chimique des eaux usées et leur traitement

	biodégradables	sur sable Systèmes physico-chimiques	
	Composés organiques volatils	Stripping à l'air Adsorption sur charbon actif	
Traitement tertiaire ou « avancé »	Organismes pathogènes	Chloration Ozonation UV	
	Nutriments	Azotés	Nitrification et dénitrification par croissance en suspension ou sur lit fixe Stripping à l'ammoniaque Echange d'ions Chloration
		Phosphorés	Addition métaux/sels Chaulage + coagulation/sédimentation Elimination biologique du phosphore Elimination biologique et chimique du phosphore
		Azotés et phosphorés	Elimination biologique
	Composés organiques réfractaires	Adsorption sur charbon Ozonation tertiaire	
	Métaux lourds	Précipitation chimique	
	Sels dissous	Echange d'ions Osmose inverse Electrodialyse	

Source : Rodriguez, 2004.

I.7.1. Prétraitement

La première phase d'épuration est la plus grossière, car elle est constituée d'un prétraitement éliminant tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) qui pourraient endommager les installations par la suite. Il est à noter qu'avec ce prétraitement, 35% des éléments polluants sont retirés. Tout d'abord, l'eau passe à travers des grilles pour récupérer tous les éléments solides. La vitesse d'écoulement de l'eau issue de ce traitement subit ensuite un ralentissement pour que les particules de petite taille sédimentent (boues primaires) et que les autres objets moins denses remontent à la surface. Malgré ce traitement primaire, il reste toujours dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines (Khaoulani, 2015).

D'après Zobeidi (2017), le prétraitement est composé :

- Le dégrillage : pour retenir les déchets volumineux à l'aide d'une succession de grilles (2 à 4) de plus en plus fines. Les résidus recueillis sont déposés en décharge.
- Le dessablage : pour prévenir les dépôts dans les canalisations, protéger les organes mécaniques (pompes) contre l'abrasion et éviter de perturber les autres étapes de traitement. Les sables, recueillis généralement par raclage en fond de bassin, sont recyclés.
- Le dégraissage-déshuilage : pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras. Effectuée dans le même bassin que l'étape de dessablage, la récupération des graisses et huiles se fait en surface. Les composés collectés seront alors incinérés (cas du traitement d'un effluent urbain) ou recyclés pour la fabrication de savons ou détergents (cas de certains effluents industriels) en fonction de leur qualité.

I.7.2. Traitement primaire

D'après Zobeidi (2017), Le traitement s'effectue par voie physico-chimique et a pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables. Trois voies de traitement sont possibles :

- La décantation (processus physique) : le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation.
- La flottation (processus physique) : par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient.
- La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant-floculant (voie physico-chimique) : Le principe est ici de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floes plus gros.

I.7.3. Traitement secondaire

Le traitement secondaire a pour objectif principal l'élimination des composés solubles d'origine organique. Parallèlement, la floculation de la biomasse permet de piéger les matières en suspension restant à l'issue du traitement primaire (Zobeidi, 2017). D'après Metahri (2012), Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent pour eux des aliments. Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter. Des micro-organismes mis en contact avec l'eau polluée assimilent la matière organique qui, leur sert de substrat de croissance. L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique. En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives.

Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique. Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées, les procédés à culture fixée (disques biologiques rotatifs, lits bactériens, etc.), les procédés à décantation interne (lagunage), les techniques d'épandage-irrigation, etc. Ces traitements conçus à l'origine essentiellement pour l'élimination de la pollution carbonée et des matières en suspension, ainsi pour poursuivre l'épuration de l'effluent provenant du décanteur primaire ; par voie biologique le plus

souvent. Les micro-organismes, les plus actifs, sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, deux types de traitements :

I.7.3.1. Traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO₂. Ce type de fermentation est appelé digestion en hydrologie. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

I.7.3.2. Traitements aérobies

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

- Les cultures fixes (lits bactériens et disques biologiques) ;
- Les cultures libres (boues activées) ;
- Le lagunage ;
- Filtration/percolation ;
- La filtration par le sol et les plantes (filtres plantés).

I.7.4. Traitement tertiaire

Les traitements complémentaires sont des opérations physiques, chimiques ou biologiques, qui permettent d'améliorer les caractéristiques d'une eau résiduaire après un traitement biologique ou un traitement physicochimique. On leur fait appel lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire du milieu récepteur ou en raison d'une réutilisation immédiate de l'eau épurée, comme eau industrielle ou agricole, ou indirecte, rejet ou réalimentation de nappe. Il s'agit en fait d'affiner l'eau en poussant l'épuration le plus loin possible avec la possibilité de viser deux objectifs différents: l'amélioration des performances sur les paramètres classiques (MES, DBO₅, DCO) : le

traitement tertiaire est alors un affinage qui peut être obtenu par différentes techniques, filtration sur sable, adsorption sur charbon actif (Zobeidi, 2017).

Selon Renou (2006), Il s'agit d'un ou plusieurs traitements complémentaires qui améliorent un paramètre spécifique de la qualité de l'eau rejetée en vue de protéger le milieu récepteur dans une zone localement plus vulnérable. Parmi les traitements existants, nous pouvons citer :

- Désinfection : elle est nécessaire lorsque les eaux usées traitées sont rejetées dans un milieu aquatique à usage balnéaire (plages, zones d'activités nautiques ou touristiques...) ou pour diminuer le risque de contamination humaine (prise d'eau potable, conchyliculture...). Pour éliminer les germes pathogènes, les techniques classiques sont utilisées : chloration, ozonation ou irradiation par rayonnement ultraviolet (UV). Toutefois les composés chlorés se révèlent toxiques pour l'écosystème aquatique et le coût de l'ozone est élevé. C'est pourquoi le traitement privilégié est plutôt la désinfection par UV. Cette technique nécessite par ailleurs des eaux claires. Si la place le permet, le lagunage peut également être utilisé pour réduire la quantité de microorganismes pathogènes.
- Traitements de finition : pour certains usages, il est conseillé d'atteindre des concentrations très basses en MES, en DBO, en DCO, en azote ou en phosphore. Plusieurs procédés peuvent alors être utilisés comme traitement d'affinage. L'avantage de mettre un traitement tertiaire est de pouvoir cibler le paramètre polluant à traiter et de dimensionner l'ouvrage en conséquence. C'est le cas de la filtration sur sable qui permet de réduire les MES. Des traitements secondaires, comme la biofiltration ou le lagunage, sont également employés. Enfin, pour les petites STEP, les lits d'infiltration/ percolation jouent le rôle de filtres et de traitement biologique poussé.
- Traitement sur charbon actif : il peut être intéressant pour l'élimination de certaines molécules résistantes aux traitements biologiques, bien souvent lorsque la STEP accueille des eaux industrielles. Il permet par exemple d'enlever la couleur de l'effluent.

I.7.5. Traitement des boues

D'après Kebaili (2019), on appelle boues d'épuration les boues qui se forment lors des traitements biologiques des eaux usées dans les stations d'épuration (avant tout dans le bassin

de clarification et bassin de décantation), donc le traitement des eaux usées effectués au sein d'une STEP produit des boues d'épuration. Ces dernières peuvent être de deux types:

- Les boues primaires qui sont obtenues par simple décantation des eaux usées. Elles sont en général riches en matières minérales (micro-sables, terre...) et contiennent des éléments organiques susceptibles de migrer (matières volatiles).
- Les boues biologiques ou boues secondaires qui résultent d'un traitement biologique des eaux usées. Elles sont constituées essentiellement des corps bactériens et de leurs sécrétions.

Conclusion

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et pour l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

Chapitre II :

Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

II.1. Introduction

L'agriculture est à la fois un producteur et un utilisateur des eaux usées traitées (WWDR 2017). Dans les régions souffrant de pénurie d'eau, les eaux usées ne sont plus considérées comme déchets à éliminer mais comme partie intégrante des ressources potentielles en eau (Belaid, 2010).

Ce chapitre présente la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture, la qualité de l'eau d'irrigation et les normes algériennes des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

II.2. Qualité de l'eau d'irrigation

Pour la qualité d'une eau usée traitée, en vue de son utilisation à des fins d'irrigation, on examine habituellement les éléments suivants :

II.2.1. Salinité

D'après Moussaoui (2017), le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau 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 quelques 200 mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement ou lors de collecte d'eaux industrielles. Cette augmentation n'est pas susceptible, à elle seule, de compromettre une irrigation.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

- Les dommages causés aux sols et donc, indirectement, concernant les rendements cultureux.
- Les dommages causés aux cultures.

L'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est celle ayant habituellement une faible salinité. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient à l'irrigation. Des dommages potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel et à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Bedouh, 2014).

Tableau 4 : Classes de la salinité des eaux d'irrigation.

Qualité de l'eau	Concentration de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
1. Excellente	0,25	160
2. Faible salinité	0,25 – 0,75	160 – 500
3. Forte salinité	0,75 – 2,25	500 – 1500
4. Très forte salinité	2,25 – 5	1500 – 3600

Source : Bedouh, 2014.

II.2.2. Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation, L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue suivant le niveau de salinité (Moussaoui, 2017).

II.2.3. Critères déterminants de l'alcalinité et de la salinité de l'eau d'irrigation

II.2.3.1. Rapport d'adsorption du sodium SAR

L'indice est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR est donné par la formule suivante:

$$\text{SAR} = (\text{Na}^+) / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{1/2}$$

Où toutes les concentrations sont exprimées en meq/l.

II.2.3.2. Carbonate de sodium résiduel RSC

L'indice du carbonate de sodium résiduel RSC est calculé pour mesurer leur effet sur l'irrigation. Le RSC est calculé selon la formule suivante:

$$RSC = (CO^{3-} + HCO^{3-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Où toutes les concentrations sont exprimées en meq/l.

II.2.3.3. Combinaison de la conductivité électrique et rapport d'absorption du sodium

II.2.3.3.1. Diagramme de Riverside

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif étant de représenter les échantillons sur le diagramme de Riverside afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur aptitude à l'irrigation.

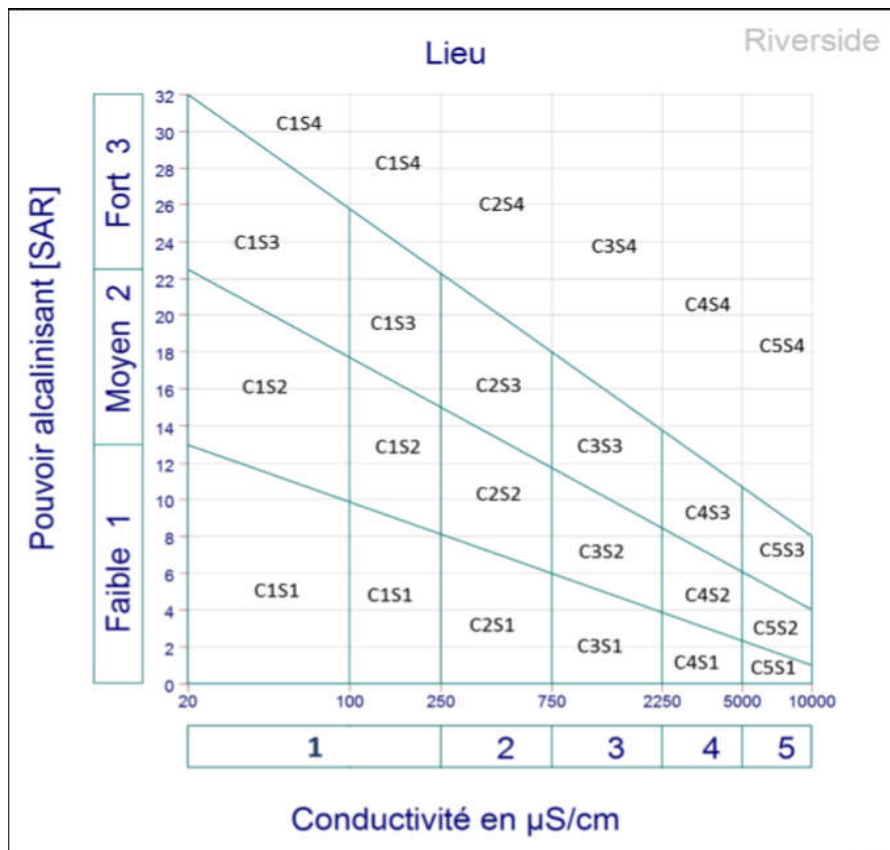


Figure 4 : Diagramme de RIVERSIDE (RICHARDS, 1954).

Les classes des eaux d'irrigation (C1S1,...C5S4) correspondent, dans le diagramme de Riverside (Figure 04) au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité; en revanche, la classe C5S4 (coin haut à droite) est la plus mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum (Boudjellal, 2018).

Tableau 5 : Classification des eaux d'irrigation : Méthode du SAR, Na, et RSC.

Paramètres	Normes	Classe d'eau
SAR	10	Excellent
	18	Bonne
	18-26	Médiocre
	>26	Mauvaise
Na%	20	Excellent
	20-40	Bonne
	40-60	Admissible
	60-80	Médiocre
	>80	Mauvaise
CE	250	Excellent
	250-750	Bonne
	750-2000	Médiocre
	>3000	Mauvaise
RSC	<1.25	Bonne
	1.25-2.5	Modéré
	>2.5	Mauvaise

Source : Bouteraa et *al*, 2018.

II.3. Situation de l'irrigation en Algérie

Selon Hannachi (2014), Dans les conditions déficitaires en ressources en eaux, le secteur de l'agriculture est le plus gros demandeur en eau, rapporte qu'en 2006, 90 000 hectares soit 10.5% de la SAU sont irrigués, et 78% de cette superficie l'est avec des eaux souterraines et 13% avec des eaux superficielles. La gestion des périmètres irrigués s'améliore peu à peu avec leur prise en charge par l'ONID. L'extension des surfaces irriguées en PMH (petites et moyennes hydrauliques) bien qu'encourageante pour le développement de l'agriculture a provoqué un accroissement considérable des forages individuels et des surexploitations dangereuses de certaines nappes souterraines, la tarification sur l'eau agricole est faible. Deux types d'exploitations agricoles irriguées : les grands périmètres irrigués (GPI) relevant de l'Etat et gérés par l'ONID. Ces périmètres sont irrigués par des barrages et des forages dans le nord du pays, dans le sud l'irrigation est assurée à partir des forages profonds dans les grandes nappes de l'Albien. Leur superficie est de l'ordre de 200 000 ha, les cultures pratiquées dans

les GPI (en 2008) l'arboriculture (64.6%), le maraichage (28.5%), les cultures industrielles (6.1%) et le reste en céréales et fourrages. Les petites et moyennes hydrauliques (PMH) constituées de petits périmètres et aires d'irrigation (production privés).

II.4. Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation

Actuellement, le volume d'eau traité est de 560 000 m³, 65% de ses ressources en eau sont consacrées à l'agriculture. Le potentiel de réutilisation des eaux usées épurées pour l'agriculture changera de manière significative d'environ 17 millions de m³ en 2011 à 200 millions de m³ en 2014. L'Algérie dispose 102 stations. Le volume total d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 hm³, dont 550 pour des villes uniques du nord (Gaaloul, 2018). D'après Bouchaala (2017), Selon les résultats de l'enquête, il se distingue deux types de réutilisations des eaux usées dont les réutilisations domestiques et industrielles (3,1 millions de m³/an) et les réutilisations pour irrigation des grands et petits périmètres agricoles (3,4 millions de m³/an) (Tableau 6).

Tableau 6 : Répartition de l'eau utilisée par usages.

Usages	Utilisation (2012) (millions de m ³ /an)	2030 (millions de m ³ /an)
Usage domestique et industriel	3,1	4,2 _ 4,6
Irrigation (Grands et petits périmètres)	3,4	7,8_ 8,2
Total	6,5	12 12,8

Source : Bouchaala, 2017.

II.5. Contexte juridique Algérienne

En Algérie, la présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 et décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006) ainsi que 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 la eaux usées épurées (Décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 et l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012) constituent un promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées, les dirigeants, publics et privés, ont des décisions à prendre en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture, ils sont confrontés à la nécessité d'exploiter des quantités en augmentation, afin de répondre à une demande toujours plus grande, la gestion intégrée des

eaux usées épurées en Algérie, désormais institutionnellement reconnue comme un modèle de partenariat public-privé est la meilleure approche pour une mise en valeur et une gestion efficace et durable des eaux usées épurées, face à des demandes en eau en augmentation (Hannachi, 2014).

II.5.1. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation

II.5.1.1. Paramètres microbiologiques

Tableau 7 : Réglementation algériennes des normes microbiologiques.

Groupe de cultures	Paramètres microbiologiques	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/1) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés la conserverie ou 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 recommande <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾.	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

Source : JORA, 2012.

- (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 coliforme fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légume.
- (6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène exigées. Aucunes populations alentour.

II.5.1.2. Paramètres physico-chimique

Les normes physico-chimiques des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation sont représentée dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Réglementation algériennes des Normes physico-chimiques.

	Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
Physique	Ph	-	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR=0-3CE		0.2
	3-6		0.3
	6-12	ds/m	0.5
	12-20		1.3
Chimique	20-40		3
	DBO₅	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	meq/l	10
	Azote (NO₃-N)	mg/l	30
Eléments	Bicarbonate (HCO₃)	meq/l	8.5
	Aluminium	mg/l	20.0

toxique (*)	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	

Source : JORA, 2012.

II.5.1.3. Liste des cultures autorisées

Tableau 9 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nèfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.

Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

Source : JORA, 2012.

(*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

(**) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

En plus et à travers l'arrêté interministériel du 8 safar 1433 correspondant au 2 Janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (Moussaoui, 2017) :

- 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.
- Les irrigations doivent être arrêtées une semaine avant la coupe.
- L'utilisation de la main d'œuvre qualifié

Conclusion

La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture présente un double avantage, d'une part, elle aidera à atténuer la pression sur les ressources en eau conventionnelles. D'autre part, elle contribuera à la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution de l'eau en réduisant le volume des eaux usées déversées dans les fleuves, les lacs et le littoral. Par

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

ailleurs, le contenu de ces eaux en fertilisants, notamment l'azote, le potassium et le phosphore incite les agriculteurs à les utiliser.

Partie expérimentale

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III.1. Introduction

A travers de ce chapitre nous avons présenté la Wilaya de Ain Defla, Ainsi que une présentation et une description de la station d'épuration de la ville de Ain Defla.

III.2. Présentation de la zone d'étude

III.2.1. Situation géographique de la wilaya de Ain Defla

Elle est située à 150 km au Sud-Ouest d'Alger. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Tipaza, à l'Est par celles de Médéa et Blida, à l'Ouest par celle de Chleff, au Sud par la wilaya de Tissemsilt. Elle compte 14 Daïras et 36 communes.

III.2.2. Situation de la zone d'étude

Ain Defla est une commune du nord de l'Algérie, dans la wilaya du même nom. C'est aussi le nom de la localité, chef-lieu de la commune et de la wilaya. La ville d'Ain Defla se présente comme étant une zone relais entre L'Est et L'Ouest, le Nord et le Sud, occupant de ce fait, une position géographique central, Au Nord la daïra d'Alamra, à L'Est la daïra de khemis, à L'Ouest la daïra de Rouina, au Sud la daïra de Djélida.

Coordonnées géographiques : 36° 15' 55" nord, 1° 58' 13" est

Latitude: 36.2652, **Longitude:** 1.9703

Superficie : 86 km²

Altitude : 273 m

III.2.3. Réseau hydrographique

Le sous bassin de la zone d'étude est traversé par une cours d'eau principale qui est l'oued Cheliff, il constitue un collecteur d'eaux de ruissellement qui afflue au niveau de la station d'épuration de la wilaya de AinDefla (Figure 5).

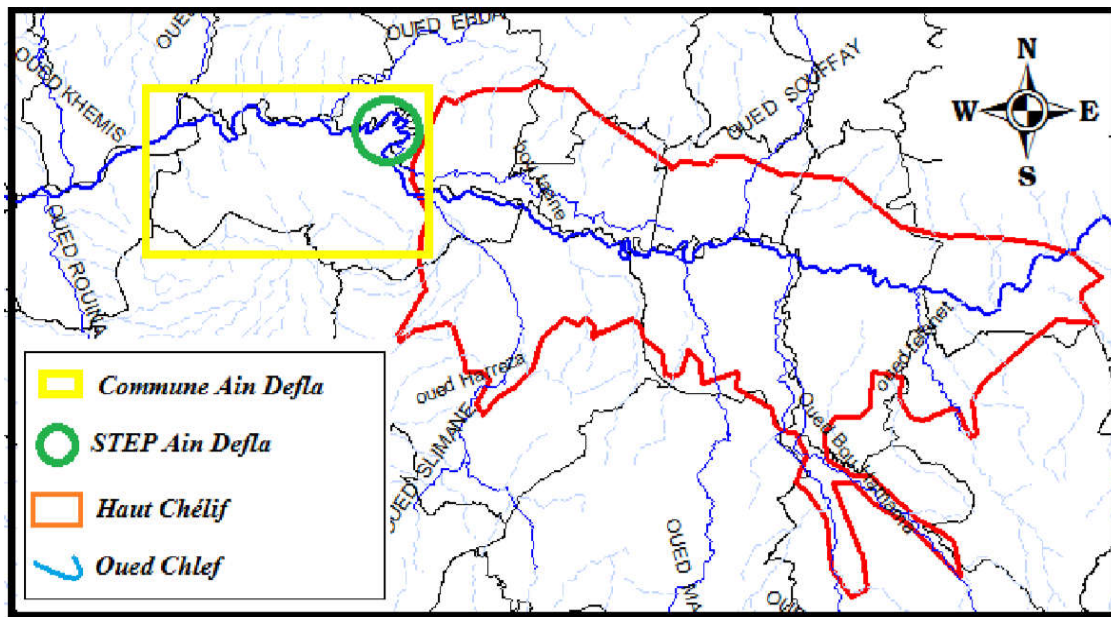


Figure 5 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude.

III.2.4. Etude climatologique

Ain Defla présente un climat méditerranéen semi-aride avec un caractère de continentalité très marqué, les graphiques qui suivent montrent les variations des paramètres climatiques établies sur une période d'observation de 3 ans (2017-2019) :

III.2.4.1. Pluviométrie

III.2.4.1.1. Précipitations moyenne mensuelles

Pour l'étude des précipitations moyennes mensuelles nous avons basé sur les données pluviométriques pour une période de 3 ans (2017-2019).

Tableau 10 : Précipitation moyenne mensuelle (2017-2019)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Totale
P (mm)	267.4	76.6	157.2	104	43.6	65.2	6.4	43	91.2	78.2	144.4	131.9	1209.1

Source : Station de météo d'université.

A partir de ces résultats on peut dire que :

D'après les valeurs de tableau 10 le mois la plus pluvieuse est celle de Janvier avec un Maximum de 267.4 mm, et le mois la plus sèche correspondre à Juillet avec une valeur de 6.4 mm.

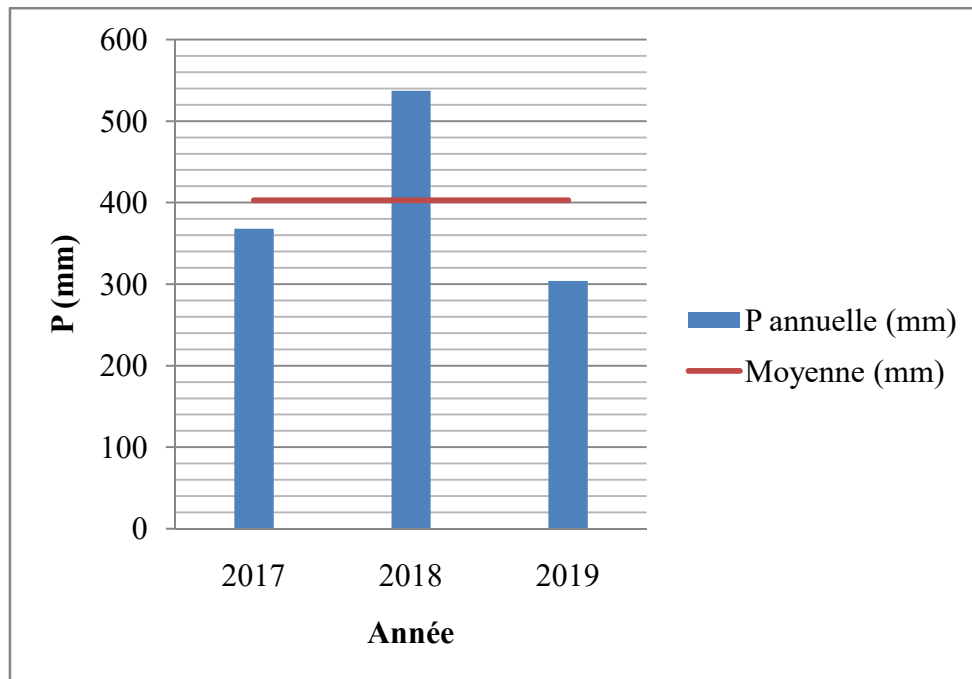


Figure 6 : Histogramme de précipitation moyenne annuelle (2017-2019).

III.2.4.2. Température

III.2.4.2.1. Températures moyennes mensuelles

Les températures moyennes mensuelles calculées à partir des mesures portant sur la période de 3 ans d'observation (2017 - 2019) sont représentées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Température moyennes mensuelles (2017-2019)

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T moy (C°)	8.5	10.26	12.96	15.8	19.96	25.5	29.4	28.9	24.63	19.3	13.53	10.4

T max (C°)	19.23	22.76	26.56	31.6	35.9	41.5	43.76	43.23	38.23	45.4	42.03	22.53
T min (C°)	-0.36	-0.03	0.96	3.66	7.43	12.2	17.46	17.1	13.03	8.13	3.43	0.86

Source : Station de météo d'université.

A partir de ces résultats on peut dire que :

- Le mois de Janvier est le mois le plus froid avec des températures moyennes qui varient entre (8 C° - 9 C°)
- Le mois le plus chaud est le mois de juillet, avec des températures moyennes qui varient autour de 29 C° à 30 C°.

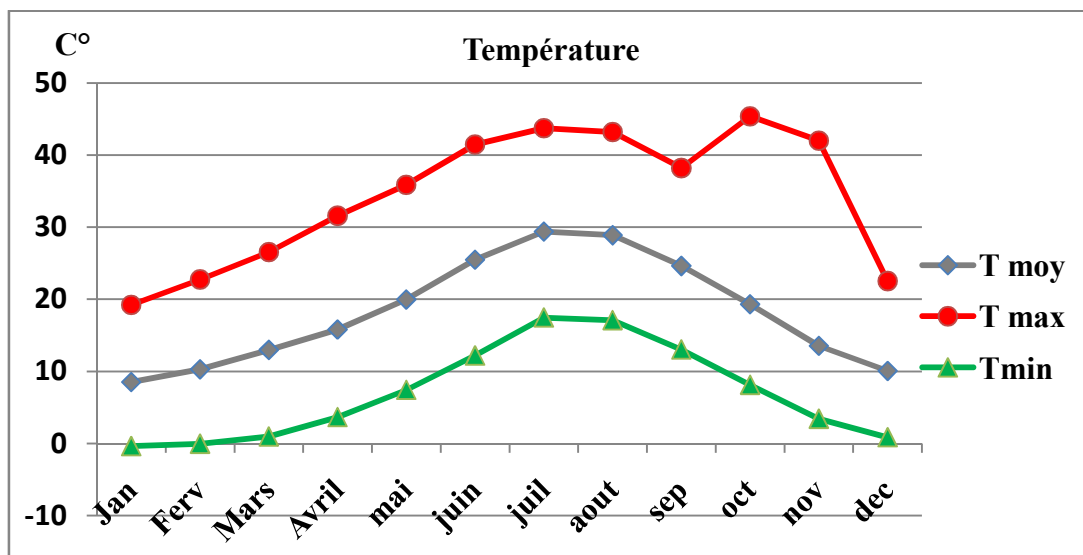


Figure 7 :Variation de température moyenne mensuelle (2017-2019).

III.2.4.3.Vents

La variation moyenne mensuelle des vitesses du vent sont représenté dans le tableau 12 et la figure 08 pour une période de 3 ans (2017-2019).

Tableau 12: Variation moyenne mensuelle (2017/2019) des vitesses du vent.

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Vent (m/s)	0.96	1.1	1.36	1.23	1.13	1.13	1.1	1.1	0.9	0.8	1.03	0.63

Source : Données climatiques station Université

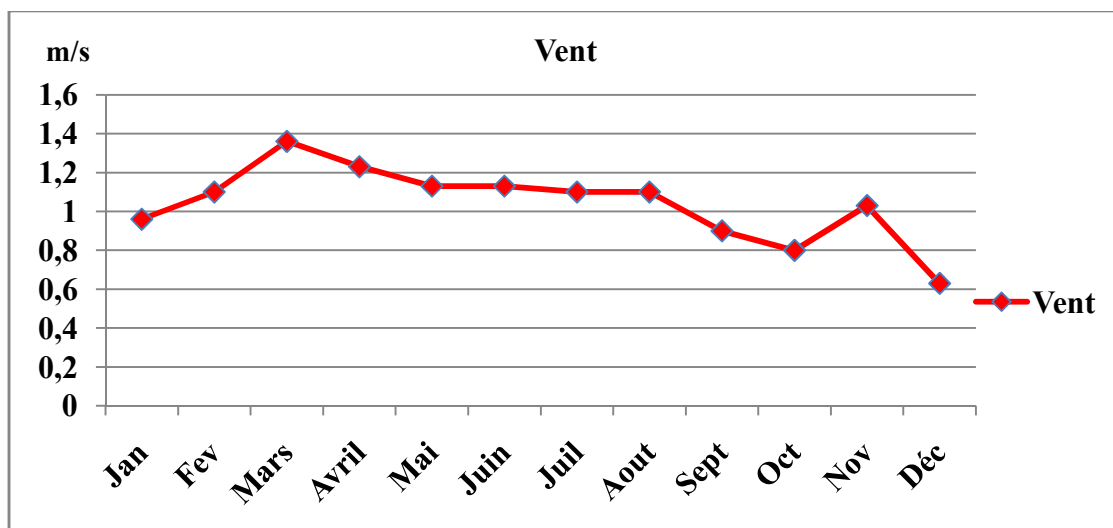


Figure 8 : Variation moyenne mensuelle des vitesses du vent (2017- 2019)

Ce graphique montre la variation de la vitesse du vent moyenne mensuelle à partir des données climatiques couvrant la période 2017-2019, que variant entre 0.63 à 1.36 m/s.

III.3. Présentation de la STEP

III.3.1. Description et Fonctionnement de la STEP de AinDefla

La station d'épuration des eaux usées est implantée dans nord-est de la commune de AinDefla, à 145 km au sud-ouest d'Alger, limitée d'un côté par le centre ville de la wilaya de l'autre côté par oued Chlef milieu récepteur des rejets de la ville. Elle a été mise en service en avril 2007, le procédé d'épuration utilisé est « Boues activées à faible charge », elle a une capacité de 50000 eq/hab. et un débit nominal de 12900m³/j. Cette station d'épuration est

d'une superficie de 5 (cinq) hectares. Le procédé utilisé dans cette unité est le procédé biologique qui consiste à utiliser des boues activées sous les deux systèmes aérobie et anaérobies. L'eau traitée est versée à l'oued Chéelif.

Les résidus de la station (la boue résiduaire) sont aussi utilisés comme « Engrais » par l'agriculture de la région.



Figure 09 : Localisation de la station d'épuration de AinDefla.

Source : Google Map

La station d'épuration de Ain Defla est présent un bon état de fonctionnement. La charge de pollution à l'entrée de STEP : (MES 398 mg/l, DBO5 : 300 mg/l, DCO : 700 mg/l) et la sortie de STEP : (MES : 30 mg/l, DBO5 : 30-40 mg/l, DCO : 90-120 mg/l). Le rendement d'élimination : sur MES 80%, MO 85%.

La station d'épuration de AinDefla contient des filières d'eau :

- Déversoir d'orage,
- Un poste de relevage,
- Un dégrilleur grossier,
- Un dégrilleur fin,
- Un dessableur,

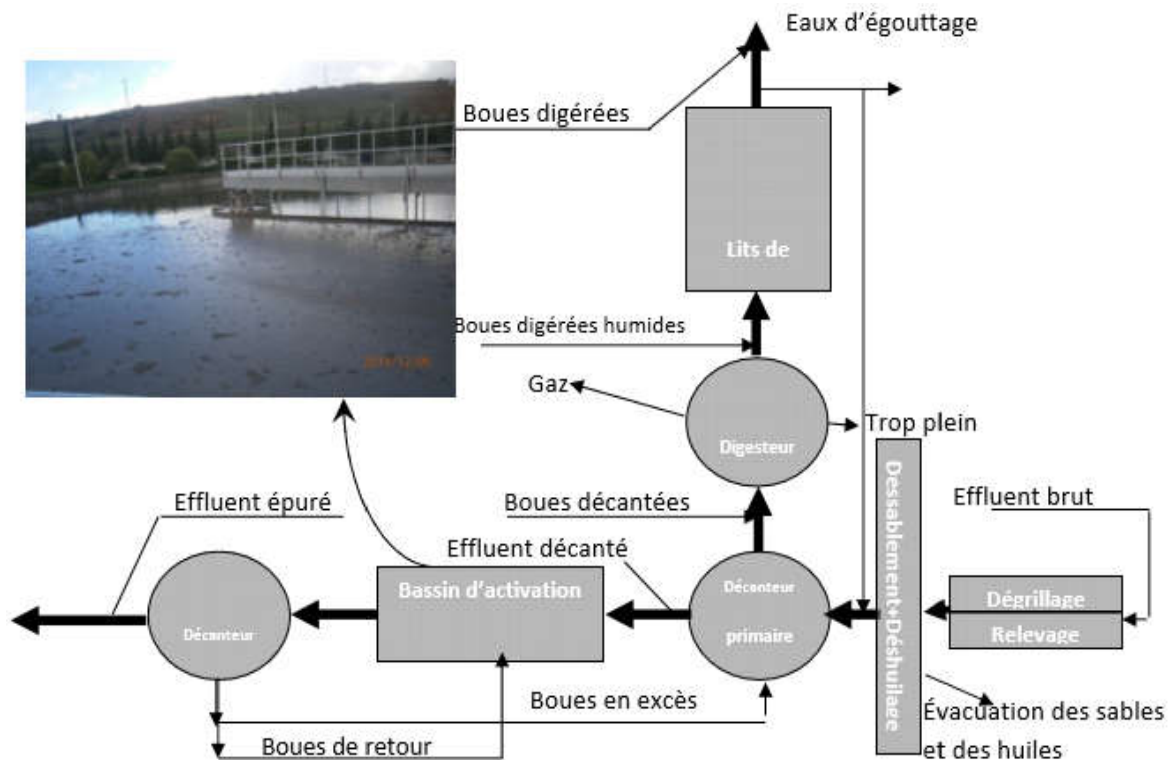
- Un déshuileur,
- Deux bassins biologiques avec six aérateurs chacun,
- Deux clarificateurs,

Et filière Boue:

- Un épaisseur et 20 lits de séchage pour la déshydratation naturelle.

III.3.2.Filières de Traitement de la station

La plupart des stations d'épuration fonctionnent selon les mêmes processus de bas, mais des différences plus ou moins importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place des processus. Le traitement se divise généralement en plusieurs étapes.



Source :Mehaiguenet *al*, 2018.

Figure 10 : Schéma représentant le fonctionnement de la STEP de Ain Defla.

III.3.2.1.Prétraitement

Les eaux usées contiennent de nombreuses matières très hétérogènes, grossières, et potentiellement dangereuses. La première étape de traitement consiste en un prétraitement visant à éliminer les déchets volumineux susceptibles d'endommager les équipements par simples procédés de séparation physique. On considère trois étapes :

- Dégrillage : pour éliminer les grosses particules.
- Dessablage : pour éliminer les sables et graviers par sédimentation.
- Dégraissage : pour racler les particules graisseuses qui se trouvent en surface des eaux naturellement ou par flottation via une injection d'air au fond de l'ouvrage



Photo 1 :Dégrilleur.Source : STEP de Ain Defla



Photo 2 :Dessableur et déshuileur.**Source :** STEP de Ain Defla

III.3.2.2. Traitement biologique

Après les étapes de prétraitement, l'eau n'est pour autant pas traitée complètement, elle contient toujours une quantité certaine de matière organique dissoute. Dans le traitement biologique, on utilise les méthodes d'autoépuration existant naturellement, les bactéries présentes dans l'eau vont en effet, être mises à contribution pour dégrader la matière organique, ici, on utilise le procédé par boues activées qui en est le plus répandu. Celui-ci repose sur l'assimilation des bactéries avec la matière organique au moyen d'oxygène, et sur la réutilisation partielle des boues rejetées pour réalimenter la flore bactérienne contenue dans le bassin. La séparation biomasse (boues) avec l'eau épurée se fait dans un second clarificateur. Une partie des boues éliminée sera alors réinjectée dans le bassin d'alimentation, l'autre partie étant acheminée vers les unités de traitement des boues.

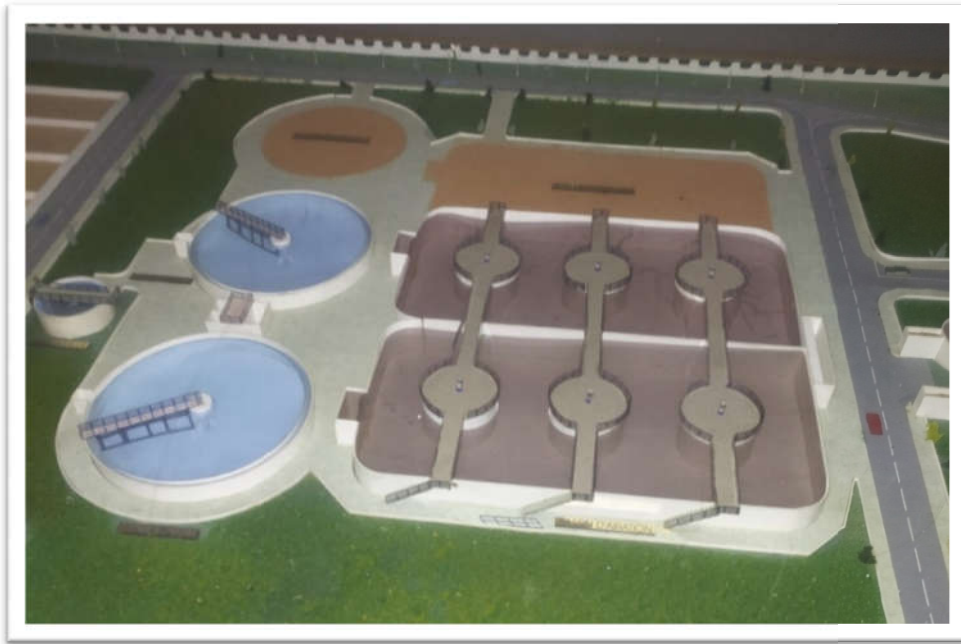


Photo 3 :Ouvrages du traitement biologique. **Source :** STEP de Ain Defla.



Photo 4 : Bassin d'aération. **Source :** STEP de Ain Defla.

III.3.2.3. Traitement des boues d'épuration

La sortie d'eau épurée de la STEP ne constitue pas la dernière phase de traitement des eaux usées, mais il y a aussi la filière de traitement des boues. Le traitement des boues consiste à envoyer les boues en excès qui sont dans le répartiteur et boues flottantes vers d'autres ouvrages (épaisseur, stabilisateur) par pompages. Après stabilisation, les boues seront

déshydratées mécaniquement ou dans les lits de séchage pour les transporter au CET (Centre d'Enfouissement Technique).



Photo 5 : Epaisseur.**Photo 6 :** Lits de séchages.

Source : STEP de Ain Defla

III.3.3. Description de laboratoire

La station d'épuration de AinDefla dispose un laboratoire pour effectuer les analyses nécessaires à la caractérisation et la quantification de la pollution de l'eau usée. Ce laboratoire est équipé principalement de divers instruments de mesure et des appareils spécialisés, automatisés ainsi des produits et réactifs chimiques.

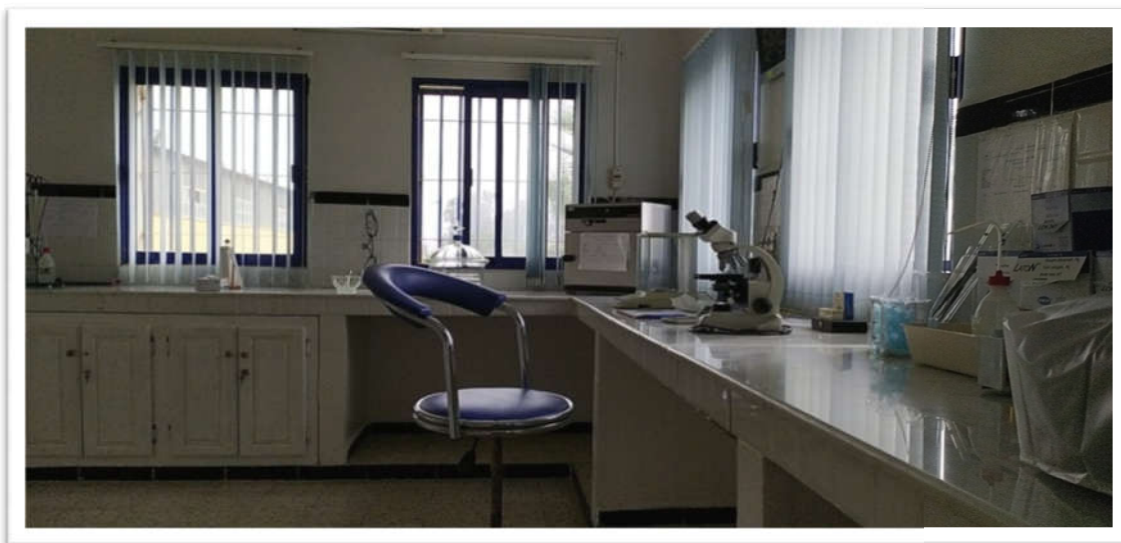


Photo 7 : Laboratoire de STEP de AinDefla

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de donner une présentation générale de la wilaya de AinDefla ainsi que une présentation et une description de la station d'épuration de la ville de AinDefla.

- Les températures peuvent atteindre la valeur maximale au mois de Juillet et Octobre (43.76 C°) (45.4C°).
- période la plus pluvieuse s'étale du mois de Novembre à Janvier, avec un maximum au mois de Janvier (267.4mm).

Chapitre IV :
Matériel et méthodes

IV.1. Introduction

Pour mieux cerner la problématique du sujet, les analyses ont été réalisées au sein de laboratoire de STEP de Ain Defla. Nous réservons ce chapitre à la présentation de laboratoire, Nous exposons la méthodologie expérimentale avec le matériel utilisé au cours des analyses, pour effectuer une étude analytique des paramètres physico-chimiques suivantes: température, conductivité, salinité, oxygène dissous, matière en suspension MES, matières azotées, phosphate, demande biochimique en oxygène DBO₅, demande chimique en oxygène DCO.

IV.2. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier ses caractéristiques physicochimiques et microbiologiques. Il est donc nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable. Donc il est bien évident qu'un prélèvement correct est indispensable à l'obtention des résultats analytiques significatifs.



Photo 8 : Prélèvement des eaux usées traitées à l'entrée et à la sortie de STEP de Ain Defla.

Dans notre travail le prélèvement s'effectue durant le mois de Mars 2020, il se fait à des points bien déterminés :

- A l'entrée de la station (avant le prétraitement) : pour les eaux brutes.

- A l'entrée d'eau au bassin de chloration : pour les eaux épurées.
- Chaque heure, en prélève un volume constant pendant la période d'échantillonnage qui s'étalera, de 8h00 à 16h00
- L'agent désigné à faire le prélèvement doit :
 - Rincer les flacons d'échantillonnage par l'eau à analyser.
 - Remplir les flacons en assurant l'écoulement d'eau pour bien quantifier la charge polluante.
 - A fin de garantir la conservation de l'échantillon, le transport s'effectue dans une glacière.
 - Au laboratoire, l'échantillon doit être conservé au réfrigérateur.

IV.3. Matériel et appareillages d'analyse

Les appareillages consignés dans le tableau 13, ont été utilisés au cours de ce travail.

Tableau 13 : Types d'appareillages utilisés pour les différentes analyses.

Paramètres mesurés	Types d'appareils
Température °C	Multi paramètre WTW multi 3430
pH	
Conductivité (µs/cm)	
Oxygène dissous (mg/l) Salinité (%)	
Matières en suspension (MES mg/l)	Appareil digestif en verre
Phosphate Ammoniac Nitrate Nitrite	Spectrophotomètre de paillasse UV-VIS Dr 6000
DBO5 (mg/l)	BODTRAK
DCO (mg/l)	Spectrophotomètre de paillasse UV-VIS Dr 6000 Thermoréacteur.

IV.4. Solutions chimiques et réactifs

Les solutions chimiques et les réactifs utilisés dans les analyses ils sont cités dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Paramètres et leurs réactifs.

Paramètres	Réactifs
Phosphate PO_4^{3-}	LCK 348
Nitrite N-NO_2^-	LCK 341
Nitrate N-NO_3^-	LCK 340
Ammoniac N-NH_4^+	- LCK 238
Azote total NT	- LCK 138
DBO ₅	-Pastille d'hydroxyde de potassium -Sachet tampon de nutriment
DCO	-LCK 514 -LCK 314 -dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Calibrage Conductivité	TDS conductivité standard solution 442- 1500
Calibrage Ph	Buffer solution pH 4, pH 10.01 et pH 7

IV.5. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau de laboratoire de l'ONA de Ain Defla.

IV.5.1. Mesure de pH, température, conductivité, l'oxygène dissous et la salinité

- **Matériel** : Multi-paramètre.
- **Etalonnage** : L'instrument est étalonne après chaque essai.
- **Mode opératoire** :

- Allumer le multi paramètre.

-Brancher l'électrode de pH.

- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Tremper l'électrode de pH dans l'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec faible agitation.
- Laisser stabiliser un moment, puis noter le pH.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Tremper le deuxième l'électrode dans l'eau à analyser.
- Afficher la température T (°C) et la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) et la salinité.
- Rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Brancher l'électrode l'oxygène dissoute.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Tremper l'électrode d'O₂ dans l'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec faible agitation.
- Laisser stabiliser un moment, puis noter l'O₂.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.



Photo 9 : Multi-paramètre.

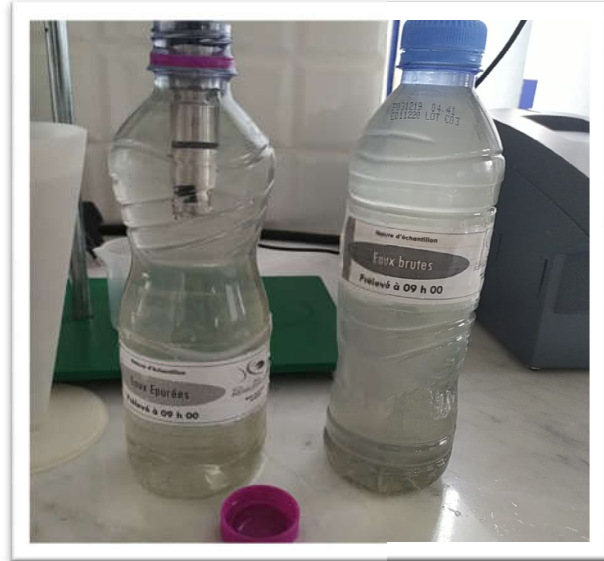


Photo 10 : Eau usée brute et épurée.

IV.5.2. Mesure de matière en suspension (MES)

La présence de MES dans l'eau provoque sa turbidité. Pour le dosage de MES, nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant de 0.45 μm . Le filtre est séché à 105 °C puis pesé après refroidissement.

- **Principe :** L'eau est filtrée et le poids de matières retenus par le filtre est déterminé par pesées différentielle.
- **Matériel :**
 - Appareil digestif en verre.
 - Dessiccateur.
 - Etuve de séchage.
 - Balance analytique.
 - Capsule d'évaporation.



Photo 11 : Méthode de Filtration.

• **Mode opératoire :**

- Sécher les papiers filtres, puis les mettre dans le dessiccateur pour le refroidissement et l'élimination de l'humidité
- Peser les filtres sur la balance jusqu'à l'obtention d'un poids stable.
- Placer le filtre dans l'appareil de filtration.
- Agiter l'échantillon, puis verser progressivement sur les filtres un volume de 100 ml d'eau.
- Laisser les échantillons se filtrer pour enfin retenir la matière en suspension.
- recommencer les opérations de séchage, de refroidissement et de pesée, pour obtenir la différence entre deux pesées (avant et après filtration).

La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/l) est donnée par l'expression :

$$\text{MES} = (M_0 - M_1)1000/V$$

Où

MES : matière en suspension (mg/l).

V : Le volume en ml d'échantillon utilisé.

M0 : La masse en mg du disque filtrant avant utilisation.

M1 : La masse en mg du disque filtrant après utilisation.

IV.5.3. Mesure La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

- **Principe** : La demande biochimique en oxygène durant 5 jours ou DBO₅ c'est la demande en oxygène pour pouvoir dégrader la matière organique biodégradable, exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle est mesurée par la consommation d'oxygène à 20 °C, à l'obscurité et pendant cinq jours d'incubation, d'un échantillon préalablement ensemencé. La détermination de la demande en oxygène DBO₅ se fait par procédure du BODTRAK.
- **Matériel** :
 - BODTRAK.
 - Armoire thermorégulatrice.
- **Réactifs** : 2 pastilles d'hydroxyde potassium.
- **Echantillonnage** :

Tableau 15 : Volume d'échantillons simplifiés.

Plage de la DBO mg/l	Volume de l'échantillon ml
0 à 35	420
0 à 70	355
0 à 350	160
0 à 700	95

- **Mode opératoire :**

- Chauffez ou refroidissez l'échantillon à 19 à 21 C°.
- Homogénéisez l'échantillon dans un mixeur.
- Choisissez la taille d'échantillon correcte pour la plage de l'échantillon.
- Versez le contenu d'un sachet de substance nutritive.
- Mettre l'échantillon dans une bouteille.
- Mettez un agitateur dans la bouteille.
- Mettre deux pastilles d'hydroxyde de sodium (NaOH).
- Mettez les bouteilles sur le châssis.
- Les échantillons sont incubés à l'obscurité dans une armoire thermorégulatrice fermée à clé pendant cinq jours, la température devra être 20°C.
- Les résultats sont indiqués sur l'afficheur.

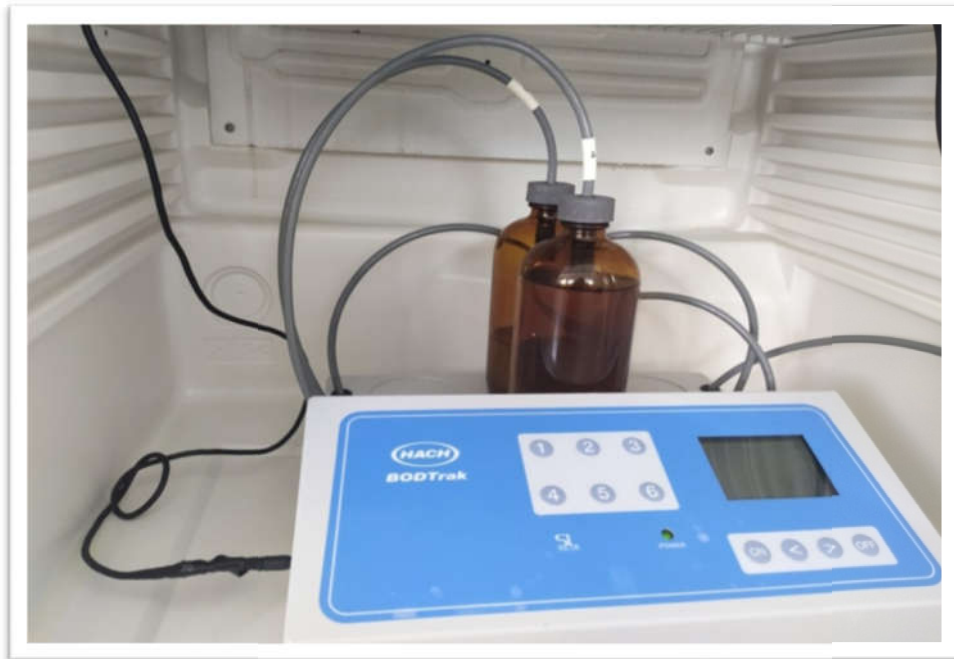


Photo 12 : Dispositif de mesure de la DBO₅.

IV.5.4. Mesure La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d'oxygène par litre représente la demande chimique en oxygène que les microorganismes ont besoin pour pouvoir dégrader la matière organique biodégradable ou non biodégradable.

- **Principe :** L'échantillon est chauffé pendant 2 heures en présence d'un oxydant (le dichromate de potassium). Les composées organiques oxydables réagissent l'ion bichromate en ion chromique de couleur verte.
- **Matériel :**
 - Spectrophotomètre.
 - Thermoréacteur.
 - Pipette
- **Réactifs :**
 - LCK 514.
 - LCK 314.
 - Dichromate de potassium K_2Cr_2



Photo 13 : Spectrophotomètre de paillasse UV-VIS Dr 6000.

- **Mode opératoire :**

-Ajouter à l'aide de la pipette 2ml de l'échantillon d'eau dans la cuve ronde.

-Fermer et nettoyer l'extérieur de la cuve.

-Retourner doucement à plusieurs reprises pour homogénéiser, la cuve deviendra très chaude à l'étape de ce mélange.

-Placer la cuve ronde dans le thermoréacteur.

-Chauffer la cuve ronde pendant 2 heures.

-Attendre environ 20 minutes afin de laisser refroidir la cuve ronde à température ambiante.

-Placer la cuve ronde dans le Spectrophotomètre.

-Les résultats sont affichés directement sur Spectrophotomètre.

- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif DCO.

IV.6. Analyses biochimiques



Photo 14 : Dosage des Réactifs.



Photo 15 : Thermoréacteur (CR 2200).

IV.6.1. Dosage de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

- **Matériels :**

- Spectrophotomètre de paillasse.
- Micropipette.
- Cuve ronde.

- **Réactifs :**

- LCK 238.
- LCK 138.

- **Mode opératoire :**

- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif NH_4^+ .
- Placer le tube bouché dans le réacteur NH_4^+ et chauffer deux heures à 150 °C.
- Lire le NH_4^+ directement avec le Spectrophotomètre.
- Changé le code pour donné le résultat de Azote total.

IV.6.2. Dosage des nitrites (NO_2^-)

- **Matériels :**

- Spectrophotomètre de paillasse.
- Micropipette.
- Cuve ronde.

- **Réactifs :** LCK 341.

- **Mode opératoire :**

- Prendre 2 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10mn.

* L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Effectuer la lecture à $\lambda=543$ nm. Le résultat est donné directement en mg/l

IV.6.3. Dosage des Nitrates (NO_3^-)

- **Matériels :**

- Spectrophotomètre de paillasse.
- Micropipette.
- Cuve ronde.

- **Réactifs :** LCK 340.

- **Mode opératoire :**

- Ajouter 0.2 ml d'échantillon en tube de réactif NO_3^- .

- Placer le tube bouché dans le réacteur et chauffer deux heures à 150 °C.

- Lire la NO_3^- directement avec le Spectrophotomètre.

IV.6.4. Détermination des phosphates (PO_4^{3-})

- **Matériels :**

- Spectrophotomètre de paillasse.
- Micropipette.
- Cuve ronde.

- **Réactifs :** LCK 348.

- **Mode opératoire :**

- 0.5 ml d'eau à analyser.

- 1 ml acide ascorbique.

- Placer le tube bouché dans le réacteur et chauffer deux heures à 120 °C.

- 0.2 ml du réactif mixte.

- Attendre 10 nm le développement de la couleur bleue.

- Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880 nm. Le résultat est donné directement en mg/l.

Conclusion

Afin d'apparaître la qualité physico-chimiques des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Ain Defla, il est indispensable de procéder à des analyses des paramètres de pollution. Pour la qualité d'une eau usée traité, en vue de son utilisation à des fins d'irrigation, on doit examine en plus la teneur en ions et cations qui sont responsable de problème de la salinité et de l'alcalinité.

Chapitre V :
Résultats et discussion

V.1. Introduction

Au cours de ce chapitre, on va présenter les résultats d'analyses des paramètres physico chimiques des eaux usées traitées de la STEP de Ain Defla réalisés au niveau du laboratoire des eaux. Le suivi se fait grâce à l'analyse de paramètres physico-chimiques suivantes : température, conductivité, salinité, oxygène dissous, matière en suspension MES, matières azotées, phosphate, demande biochimique en oxygène DBO₅, demande chimique en oxygène DCO, Le suivi est réalisé par comparaison entre les eaux usées et les eaux traitées de la STEP. Les résultats ont été comparés aux normes algériennes en vigueur.

V.2. Résultats d'analyses physico-chimiques

V.2.1. Température

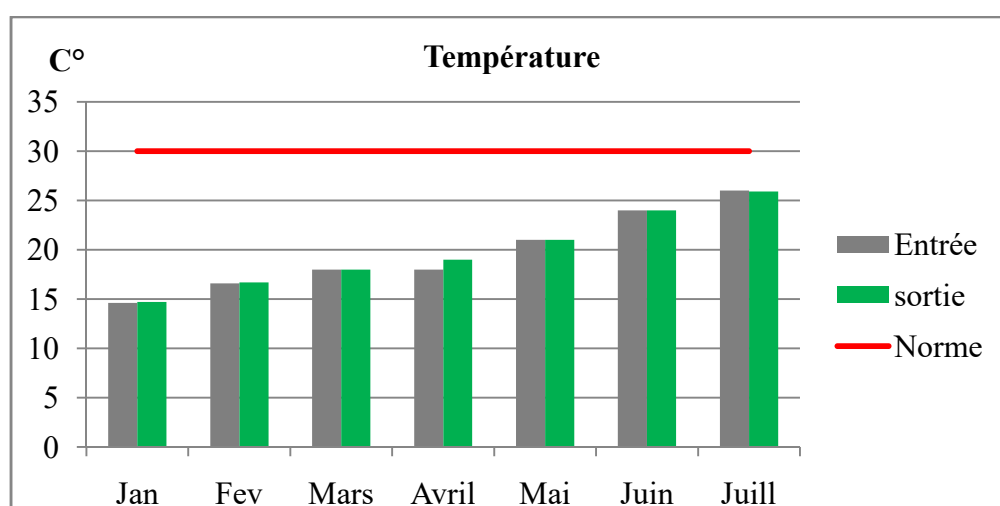


Figure 11: Variation mensuel de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP.

D'après les résultats obtenus (figure 11), les valeurs de la température des différents échantillons sont très proches. Elles se situent dans un intervalle qui va du minimum de 14.6°C au maximum de 26°C à l'entrée et entre 14.7°C et 25.9°C pour les eaux épurées, avec une moyenne de 19°C durant l'année 2020, elles sont voisines des températures ambiantes. Ces valeurs sont en fonction de l'heure de prélèvement et des conditions météorologiques.

L'élévation de la température au cours du temps est influencée par la température atmosphérique.

Selon les normes Algériennes, la température des eaux brute et traitées de la station d'épuration de AinDefla ne doit pas dépasser la norme 30C°.

V.2.2. Conductivité électrique

la figure N° 12 montre les valeur de la conductivité électrique des eaux brutes (entrée) et les eaux traitées (Sortie) de la STEP de Ain Defla.

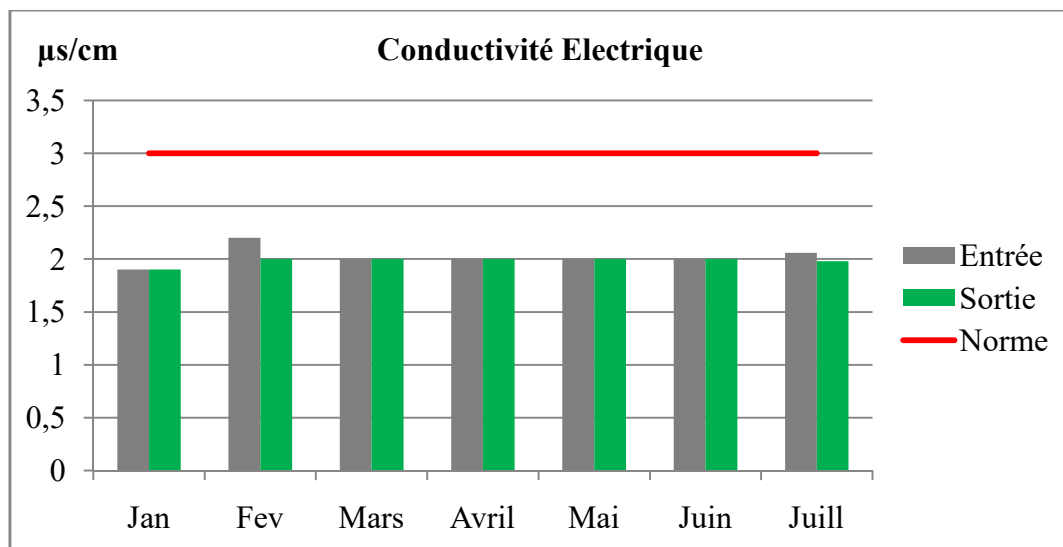


Figure 12 : Variation mensuel de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs de la conductivité électrique, se situent dans un intervalle de 1.9 à 2.2 µs/cm à l'entrée et de 1.9 à 2 µs/cm, enregistrées à la sortie. On constate une stabilisation de la conductivité suite au traitement, répond aux normes algériennes de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation 3 µs/cm (JORA, 2012).

V.2.3. Salinité

Les valeurs de la salinité sont données par la figure N° 13.

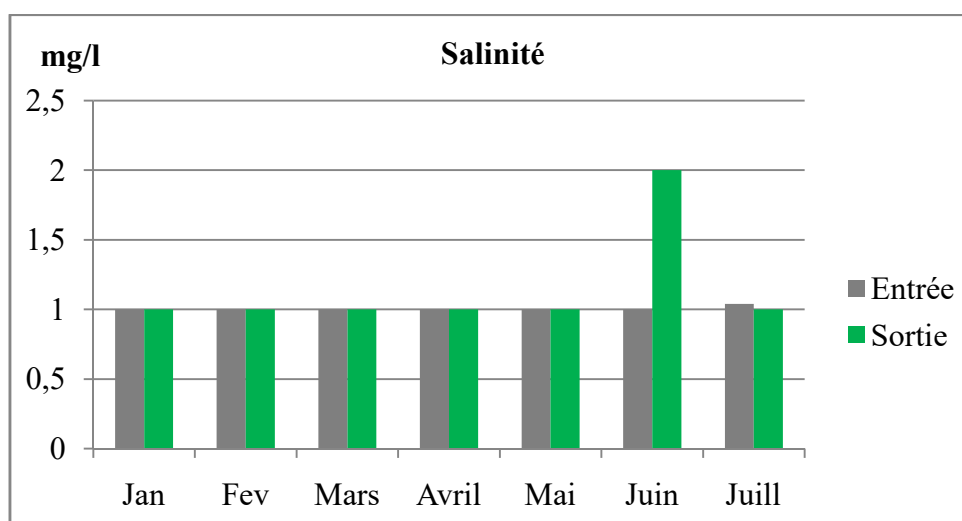


Figure 13 : Variation mensuel de la salinité à l’entrée et à la sortie de la STEP.

D’après la figure 14, les valeurs mensuelles des eaux brutes varient dans un intervalle de 1 à 1.04 mg/l, A la sortie on constate une stabilisation de la salinité suite au traitement, la concentration en sels, les valeurs se situent dans un intervalle de 1 à 2 mg/l. L’augmentation de la concentration des sels pour le mois de juin à cause d’utilisation des désinfections.

V.2.4. O₂ dissous

Les résultats d’analyse de l’oxygène dissous sont présentés dans la figure N° 14.

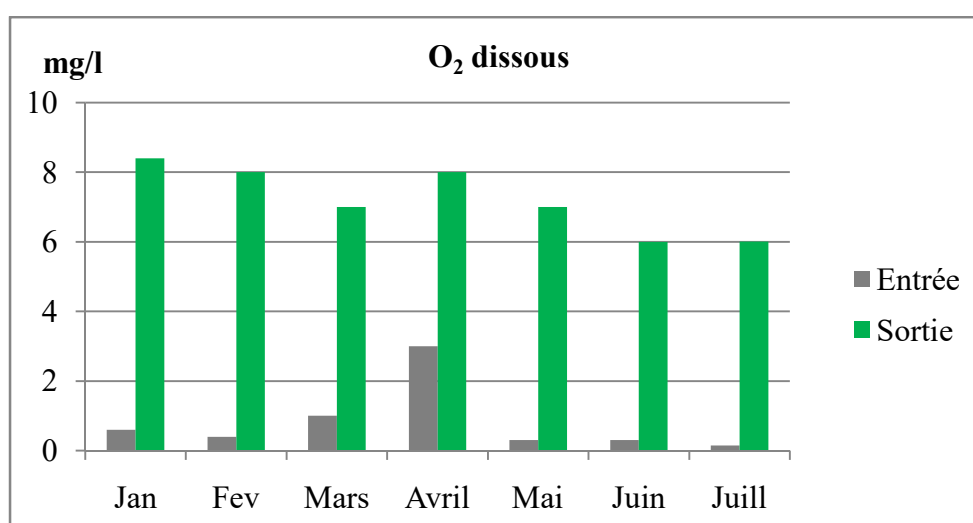


Figure 14 : Variation mensuel d'O₂dissous à l’entrée et à la sortie de la STEP.

Pour l'oxygène dissous (figure 14), les valeurs obtenues montrent une fluctuation allant de 0,15 à 3 mg/l avec une moyenne de 0,4 mg/l pour les eaux brutes et de 6 à 8.4 mg/l d'une moyenne 7 mg/l pour les eaux traitées. Nous constatons une augmentation remarquable d'oxygène dans les eaux épurées due à l'enrichissement de l'eau par l'oxygène dans le bassin d'aération pour favoriser la dégradation de la matière organique par les microorganismes aérobies.

V.2.5. Matières en suspension (MES)

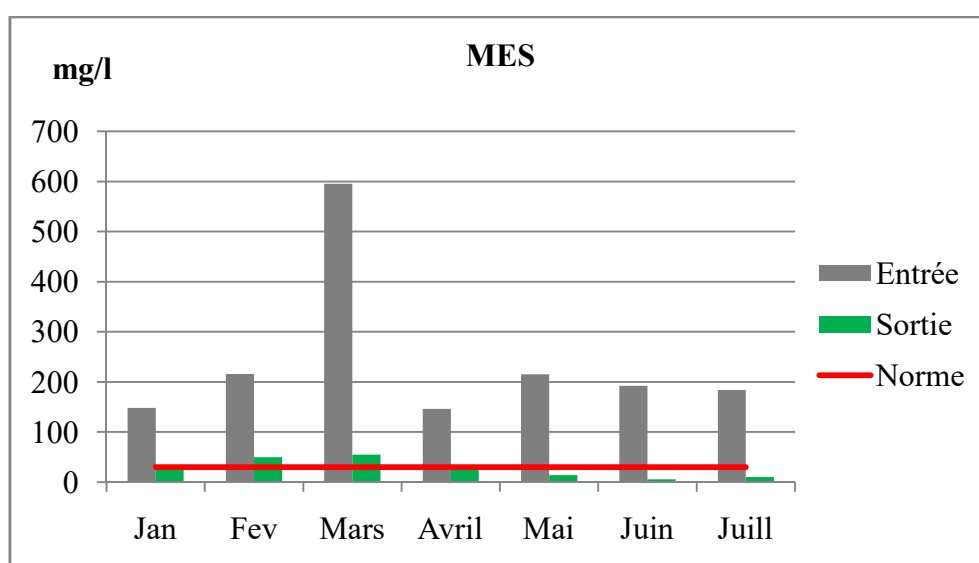


Figure 15 : Variation mensuel de la concentration des matières en suspension (MES) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs enregistrées au cours de notre étude révèlent une réduction importante de MES entre les eaux brutes et traitées (figure 15). Elles se situent entre 146 mg/l et 595 mg/l avec une moyenne de 192 mg/l pour les eaux brutes, ces valeurs sont en fonction de la nature du rejet. En ce qui concerne les eaux épurées, le taux de MES varie entre 6 mg/l et 55 mg/l, avec une moyenne de 27 mg/l. Ces teneurs enregistrées des matières en suspension à la sortie de la STEP sont inférieures aux normes des eaux destinées à l'irrigation 30 mg/l (JORA, 2012), avec une augmentation très faible pour les mois de janvier (32 mg/l), février (50 mg/l) et mars (55 mg/l).

La présence de matière en suspension dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols, Cela nous permet de dire que les MES n'affectent pas les eaux d'irrigation.

V.2.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

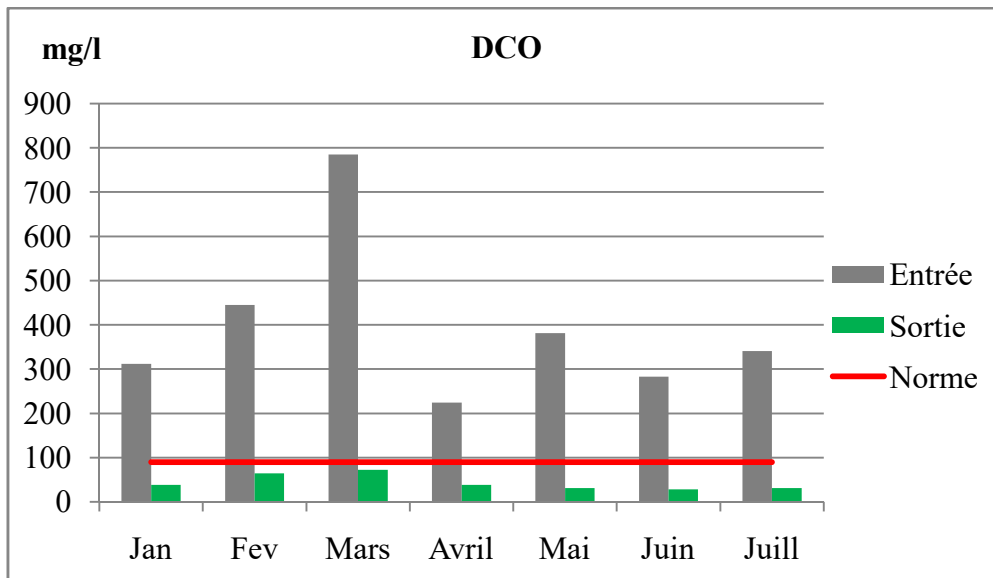


Figure 16 : Variation mensuel de la demande chimique en oxygène (DCO) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Pour la demande chimique en oxygène (figure 16), on remarque que les valeurs de la DCO de l'eau brute (l'entrée) est variable selon les mois, elles oscillent entre 224 mg/l et 785 mg/l, les valeurs enregistrées à la sortie sont inférieure à celle de l'eau brute, elles varient entre 28 mg/l et 72 mg/l, Avec une DCO moyenne de 38 mg /l, ce qui répond aux normes algériennes de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation 90 mg/l (JORA, 2012).

Ceci montre l'efficacité de traitement secondaire de la station dans l'élimination de cette pollution chimique.

V.2.7. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

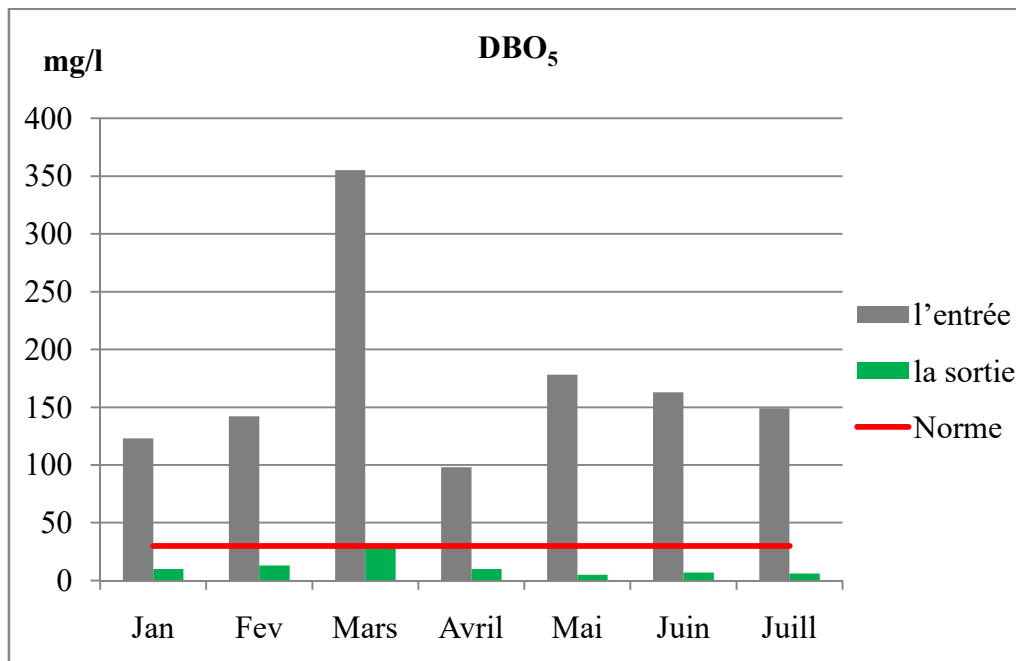


Figure 17 : Variation mensuel de la demande biologique en oxygène (DBO₅) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Pour la teneur en DBO₅(Figure 17),les valeurs enregistrées à l'entrée de STEP varient entre 98 mg/l et 355 mg/l, les variations des concentrations en DBO₅ de l'eau brute s'expliquent par la nature des eaux résiduaires de la région. Cependant, on constate que le maximum de pollution organique biodégradable est éliminé par la station, les valeurs enregistrées à la sortie varient entre 5 mg/l et 30 mg/l, Avec une DBO₅ moyenne de 10 mg/l. ce qui est conforme aux normes algériennes de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation 30 mg/l (JORA, 2012). Nous remarquons une bonne élimination de cette pollution organique.

V.2.8. Azote ammoniacal $N-NH_4^+$

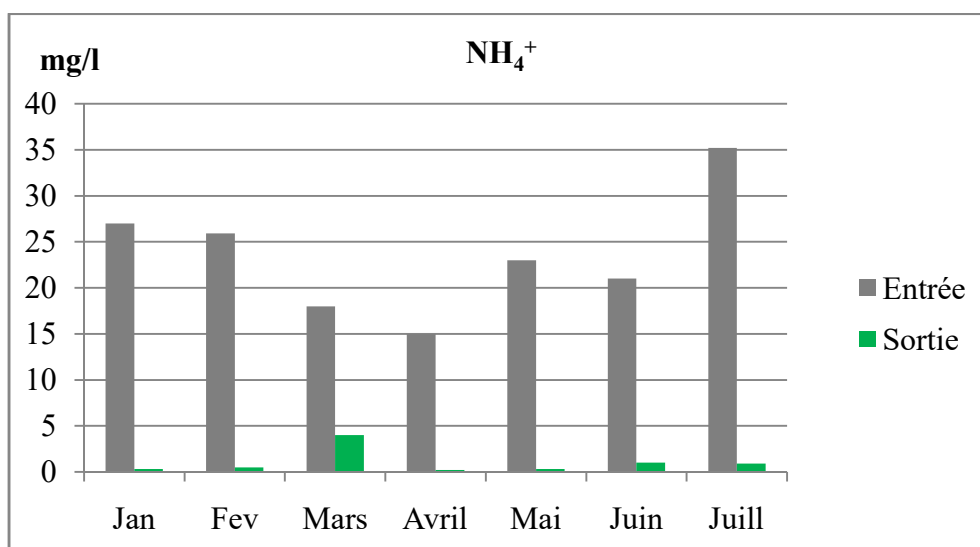


Figure 18 : Variation mensuel de NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP.

D'après les résultats obtenus (figure 18), la concentration de l'azote ammoniacal varie entre 15 à 35.2 mg/l, avec une moyenne de 23 mg/l à l'entrée, et entre 0.2 à 4 mg/l, avec une moyenne de 0.5 mg/l à la sortie de la STEP. On remarque que les eaux d'entrées ont des concentrations appréciables en $N-NH_4^+$ par contre les teneurs en azote ammoniacal à la sortie sont très faibles.

V.2.9. Nitrite ($N-NO_2^-$)

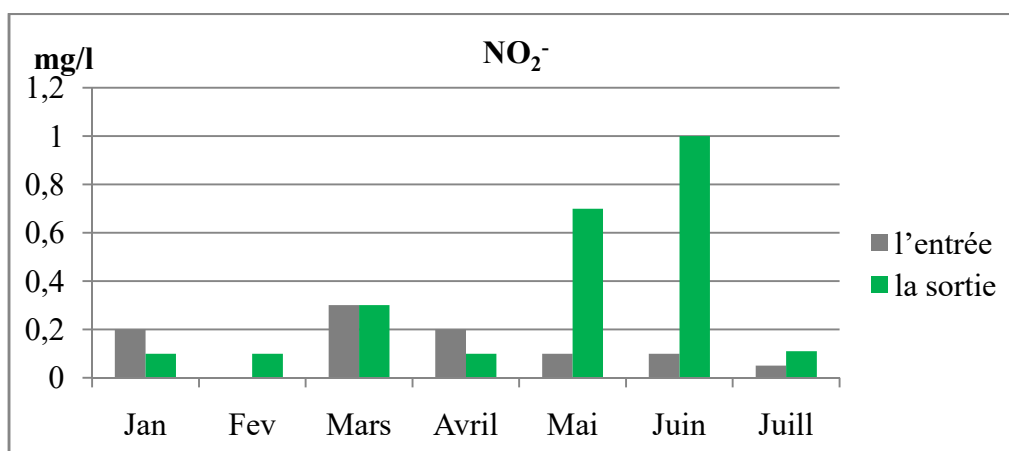


Figure 19 : Variation mensuel de (NO_2^-) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La variation des valeurs de nitrite $N-NO_2^-$ (figure 19) entre les eaux brutes et les eaux épurées nous renseignent sont très proche, dont les valeurs se situent entre 0 et 0,3 mg/l à l'entrée de la STEP. Ceci est en fonction de la qualité d'eau usée. Les résultats des eaux traitées obtenues en nitrites sont très faibles et les valeurs oscillent entre 0.1 et 1 mg/l.

V.2.10. Nitrate ($N-NO_3^-$)

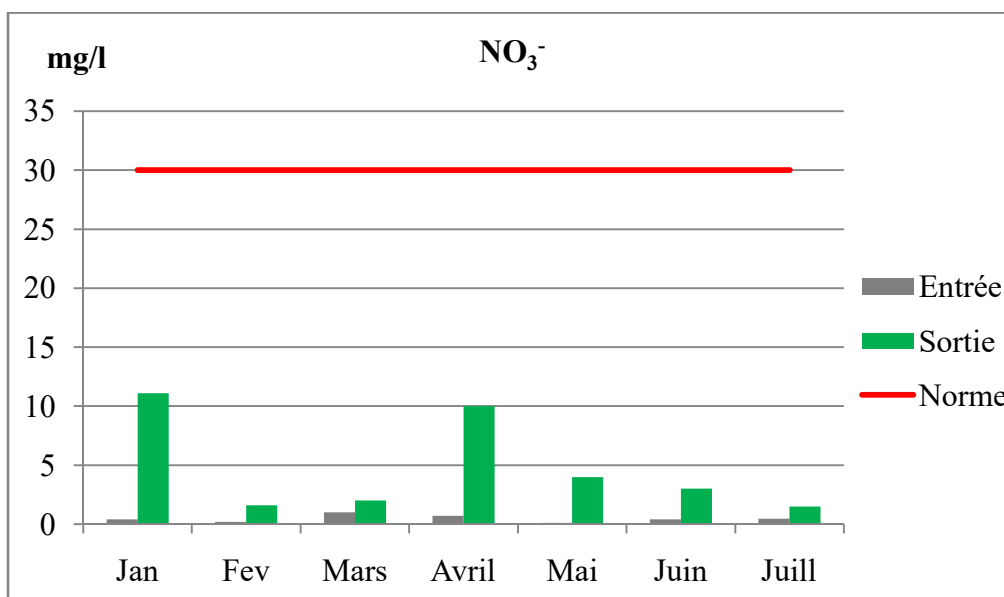


Figure 20 : Variation mensuel de NO_3^- à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Dans cette analyse, de faibles teneurs en nitrates sont notées au niveau des eaux brutes. Selon les résultats indiqués sur figure 20, à l'entrée on observe que les valeurs des nitrates obtenues, varient entre 0.1 à 0.7 mg/l, avec une valeur moyenne de 0.4 mg/l. La valeur maximale à la sortie est de 11.1 mg/l et la valeur minimale 1.6 mg/l avec une valeur moyenne de 4 mg/l. La comparaison des concentrations enregistrées au niveau de la STEP avec les normes de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation montre que, ces concentrations sont inférieures à 30 mg/l (JORA, 2012).

V.2.11. Ortho phosphates (PO_4^{3-})

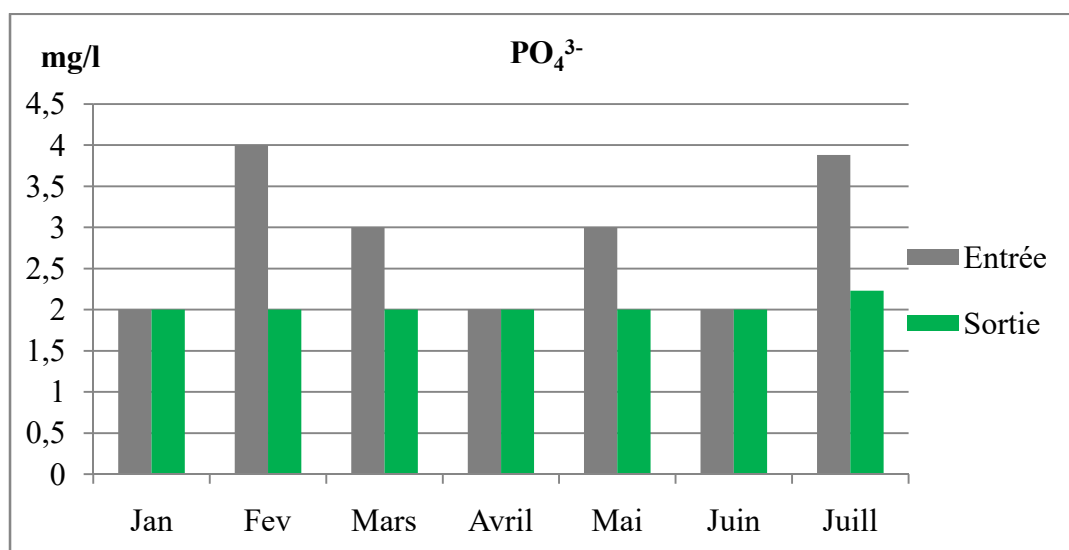


Figure 21 : Variation mensuel d'ortho phosphates à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Selon nos résultats (Figure 21), la teneur en Ortho phosphate se situe entre 2 à 3.88 mg/l pour les eaux brutes et entre 2 à 2.23 mg/l pour les eaux épurée.

V.2.12. Phosphore total PT(en mg /l)

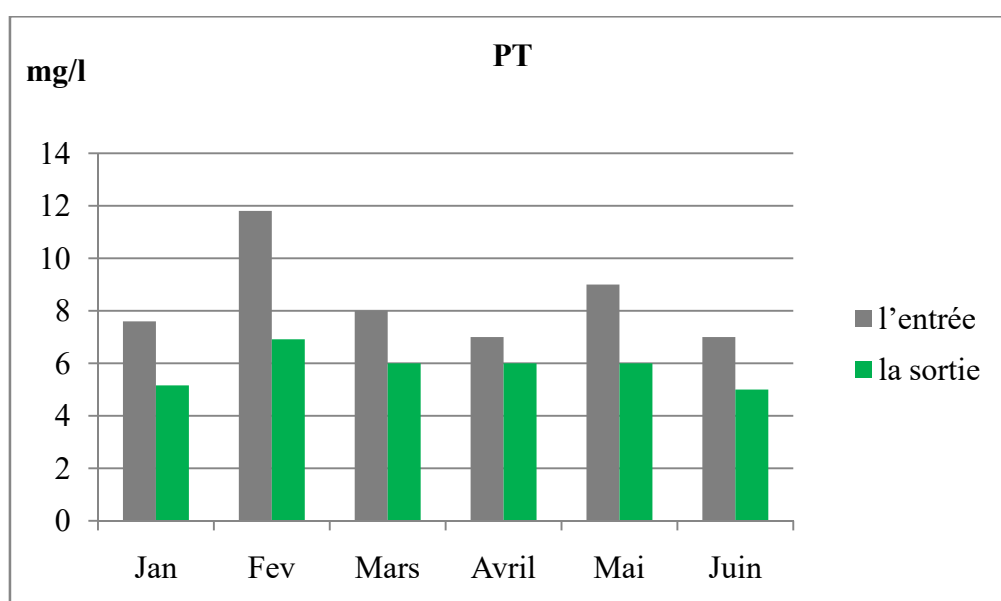


Figure 22 : Variation mensuel de phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Selon nos résultats (Figure 22), les teneurs en phosphore total varient de 7 à 11.8 mg/l au niveau des eaux brutes (à l'entrée) et de 5 à 6.91 mg/l pour les eaux épurées (à la sortie).

V.3. Performance de la STEP

V.3.1. Evaluation de la pollution organique des eaux usées

La biodégradabilité est la capacité des micro-organismes à dégrader la matière organique. Si $DCO/DBO_5 = 3$, ce rapport souligne une charge organique bien biodégradable

➤ La biodégradabilité (K)

$$K = DCO/DBO_5$$

Tableau 16 : Variation de la biodégradabilité à l'entrée et à la sortie de la STEP.

	L'entrée			La sortie		
	DCO mg/l	DBO ₅ mg/l	La biodégradabilité (K)	DCO mg/l	DBO ₅ mg/l	La biodégradabilité (K)
Jan	312.0	123.0	2.53	38.3	10.0	3.83
Fév	445.0	142.0	3.13	64.3	13	4.94
Mars	785.0	355.0	2.21	72.0	30.0	2.4
Avril	224.0	98.0	2.28	38.0	10.0	3.8
Mai	381.0	178.0	2.14	31.0	5.0	6.2
Juin	283.0	163.0	1.73	28.0	7.0	4
Juill	341.0	149.0	2.28	31.4	6.15	5.10

Les résultats de ce rapport (Tableau 16) constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables. Les eaux usées présentent un rapport

DCO/DBO₅ variant entre une valeur minimale 2.4 mg/l au mois de Mars 2020 (EU) et 6.4 mg/l au mois mai 2020 (EUT). Donc, on peut conclure que les eaux usées de ces rejets présentent une charge organique élevée.

Conclusion

D'après les résultats que nous avons obtenus de cette partie, il ressort sur la base des différents indices que la chaîne des traitements des eaux usées dans la STEP de Ain Defla contribue d'une façon non négligeable dans l'élimination de la pollution résiduaire des eaux usées par la méthode de la boue activée. Les eaux traitées sont versées à oued Chéelif. La boue régénérée sera prête et recommandée à être utilisée comme fertilisant dans le domaine de l'agriculture.

La composition physique et chimique d'une eau usée est un aspect très important dans la détermination des possibilités de son utilisation pour l'irrigation. D'après les graphes obtenus on remarque que les résultats d'analyses des eaux traitées de la STEP de Ain Defla sont dans la plupart des cas conforme aux normes algériennes de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation, mais pour assurer une bonne qualité de l'eau pour l'irrigation avec l'utilisation sans risque, il est indispensablement de suivre régulièrement la qualité microbiologique, les métaux lourds, les éléments toxiques, les paramètres de salinité et d'alcalinités (SAR, RSC...).

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons évalué la qualité physico-chimique des eaux usées épurées de la STEP de la ville de AinDefla, pour voir la possibilité d'utiliser cette eau à des fins agricoles. Pour cela, on a essayé d'évaluer les principaux paramètres de pollution à l'entrée et à la sortie de la STEP, en prenant en considération des normes Algériennes de qualité de l'eau destinée à l'irrigation.

Notre étude a été axée sur le suivi des paramètres physico-chimiques suivants: température, conductivité, salinité, oxygène dissous, les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote total (NT), et l'azote ammoniacal (NH_4^+), Ortho phosphates (PO_4^{3-}), Phosphate total (PT).

Par conséquent, nous remarquons une grande différence entre les valeurs des paramètres cités précédemment pour les eaux traitées et celles des eaux brutes.

- La valeur moyenne de MES des eaux brutes est de 192 mg/l, la valeur moyenne de MES des eaux traitées est de 27mg/l,
- La valeur moyenne de la DCO de l'eau brute est 341 mg/l, la valeur moyenne de la DCO des eaux traitées est de 38 mg/l,
- La valeur moyenne de la DBO_5 des eaux brutes est de 149 mg/l, la valeur moyenne de la DBO_5 des eaux traitées est de 10 mg/l,
- La valeur moyenne de l'azote ammoniacal des eaux brutes est de 23 mg/l, la valeur moyenne de l'azote ammoniacal des eaux traitées est de 0.5 mg/l,
- La valeur moyenne de nitrite des eaux brutes est de 0.2mg/l, la valeur moyenne de nitrite des eaux traitées est de 0.11 mg/l,
- La valeur moyenne de nitrates des eaux brutes est de 0.4 mg/l, la valeur moyenne de nitrates des eaux traitées est de 4 mg/l,
- La valeur moyenne de ortho phosphate des eaux brutes est de 3 mg/l, la valeur moyenne de ortho phosphate des eaux traitées est de 2 mg/l,
- La valeur moyenne de phosphore total des eaux brutes est de 8mg/l, la valeur moyenne de phosphore total des eaux traitées est de 6 mg/l.

Cela reflète le degré d'efficacité du traitement biologique des eaux résiduaires de la ville de Ain Defla. Les résultats des paramètres étudiés soient conformes aux normes algériennes de qualité d'eau destinées à l'irrigation, mais ces paramètres ne sont pas suffisants pour assurer l'aptitude de ces eaux à l'irrigation, il est indispensablement de suivre régulièrement la qualité microbiologique, les métaux lourds, les éléments toxiques, les paramètres de salinité et d'alcalinités.

La région de Ain Defla est connue par l'agriculture : le secteur qui est le plus grand consommateur d'eau ce qui fait que l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture est une bonne alternative, de plus, vu la richesse de ces eaux en éléments nutritifs, cette solution permettra le recyclage de ces éléments et la diminution de l'usage abusif des engrais.

Cependant pour une utilisation sans risque de l'eau traitée de la STEP, il est indispensablement recommandé d'évaluer la qualité microbiologique dans tous ses aspects parallèlement aux paramètres précédents avant toute utilisation. Comme, il est obligatoirement conseillé d'évaluer régulièrement les teneurs en métaux lourds, les éléments toxiques et les paramètres d'alcalinités et de salinité (RSC, SAR...), tels que le sodium, le magnésium, le calcium, chlorure, les sulfates et les bicarbonates qui sont connus pour leurs effets néfastes. Brièvement, ces eaux avec les traitements actuels ne sont pas recommandées pour l'irrigation il est primordial d'élargir les traitements.

La station a été mise en service depuis des années et le rendement de certains organes ont diminué dans le temps à cause de l'amortissement, et parfois la station se trouve à l'arrêt chose qui se répercute sur le bon fonctionnement de tous les dispositifs de traitement.

Pour en finir avec cette situation, il s'avère nécessaire d'attirer l'attention des acteurs concernés par la gestion de ces rejets à savoir les responsables du secteur en ressources en eau ainsi que les agriculteurs sur l'importance de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles et de protéger l'environnement.

Référence bibliographique

Abibsi N 2011., Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (PHYTOEPURATION) pour l'irrigation des espaces verts, application a un quartier de la vile de Biskra, Mémoire de magister.

Anonyme 2015., qualité physico-chimique des eaux.

Belaid N 2010., Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques., Thèse de doctorat., Tunisie.

Bedouh M.Y 2014., Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa », Thèse doctorat.

Boudjellal R Maiza M 2018., Contribution à la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation (les eaux souterrain) de la région de M'Sila., Mémoire de master.

Bouchaala L et al 2017., Ressources hydriques : Traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie., Algérien journal of aride environnement., vol 7 n°1.

Bouteraa o et al 2018., Hydrogrochimie., et variations spatio-temporelles de la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de Boumerzoug nord est Algérie., Sciences & Technologie N°47.

EL Hachemi O 2012., Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig): Performances épurations et aspect phytoplanctonique., Thèse de doctorat. Université Mohammed Premier., Oujda.

EL Youssfi L 2013., Durabilité d'un système de cultures non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir., Thèse de doctorat., Ecole nationale des sciences appliquées d'AGADIR., Maroc.

Gaaloul N 2018., Journal international sciences et technique de l'Eau et de l'Environnement., Volume III N 3.

Hannachi A et al 2014., Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie, Larhyss Journal, pp 54-61.

Hannachi A 2018., Les enjeux de la réutilisation des déchets liquides à Batna., Larhyss Journal., pp 34.

Hamaidi-Chergui et al 2016., Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de Médéa., Larhyss Journal., pp114., Algérie.

Herteman M 2010., Evaluation des capacités bioremédiatrices d'une mangrove impactée par des eaux usées domestiques. Application au site pilote de Malamani, Mayotte., Thèse de Doctorat., Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier).

JORA 2012., Journal officiel de la république algérienne N 41.

Kebaili M 2019., Valorisation des déchets verts et de biomasses en traitement des eaux., Thèse de Doctorat., Université Akili mohand oulhadj., Bouira.

Khaoulani S 2015., Traitement d'eaux usées par adsorption sur des polymères de cyclodextrine et développement de capteurs chimiques à base de membranes de verres de chalcogénures destinées à la détection des ions Hg²⁺., Thèse de doctorat., l'Université du Littoral Côte d'Opale., France.

Laabasi A 2016., L'épuration des eaux usées par le système de lagunage a macrophytes., Thèse de doctorat., Université farhat abbas Sétif 1., Sétif.

Matthieu J 2011., Réutilisation des eaux usées épurées par association de procédés biologiques et membranaires., Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA Toulouse).

Mehaiguene M et al 2018., Réutilisation des eaux usées épurées de la STEP d'Ain Defla à des fins agricoles., SAGREN Vol 02., N° 01.

Metahri M 2012., Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou., Thèse de doctorat., université Mammeri., Tizi-Ouzou.

Moussaoui 2017., L'impact de l'eau recyclée sur la performance de l'Agriculture cas pratique : La Réutilisation des eaux usées dans le périmètre d'Hennaya., Thèse Doctorat.

Renou S 2006., Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées., Thèse de doctorat., École Nationale Supérieure des Industries Chimiques., L'Institut National Polytechnique de Lorraine.

Rodier J Bernaud L 2009., L'analyse de l'eau 9^{ème} édition, paris.

Rodriguez Garcia A 2004., Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux : applications spécifiques., Ecole Doctorale Sciences des Procédés., Thèse de Doctorat. Toulouse.

Tabet M 2015., Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration., Thèse de Doctorat., Université 8 Mai 1945., Guelma.

The United Nations World Water Development Report (WWDR) 2017., Les eaux usées une ressources inexploitées., l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07-SP © UNESCO.

Zobeidi A 2017., Épuration des eaux usées urbaines par lagunage aéré en zone aride cas de la région d'El Oued paramètres influents et choix des conditions optimales., Thèse de doctorat., Université Kasdi Merabah., Ouargla.

ANNEXE

Tableau 01 : Résultats d'analyses mensuelles de la STEP de Ain Defla de l'année 2020 des paramètres physico-chimiques à l'entrée de STEP (Eau brute).

	Débit moyen	T	Salinité	Cond	O ₂ dissous	MES	DBO ₅	DCO	NT	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NO ₂	PT	PO ₄ ⁻³
	m ³ /j	C°	mg/l	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Jan	8450	14.6	1.0	1.9	0.6	148.0	123.0	312.0	37.3	27.0	0.4	0.2	7.6	2.0
Fev	8455	16.6	1.0	2.2	0.4	216.0	142.0	445.0	34.9	25.9	0.2	0.0	11.8	4.0
Mars	9795	18	1.0	2.0	1.0	595.0	355.0	785.0	28.0	18.0	1.0	0.3	8.0	3.0
Avril	8616	18	1.0	2.0	3.0	146.0	98.0	224.0	21.0	15.0	0.7	0.2	7.0	2.0
Mai	8715	21	1.0	2.0	0.3	215.0	178.0	381.0	27.0	23.0	0.5	0.1	9.0	3.0
Juin	8054	24	1.0	2.0	0.3	192.0	163.0	283.0	22.0	21.0	0.4	0.1	7.0	2.0
Juill	7235	26	1.04	2.06	0.15	184.0	149.0	341.0	35.4	35.2	0.47	0.05	11.9	3.88

Tableau 02 : Résultats d'analyses mensuelles de la STEP de Ain Defla de l'année 2020 des paramètres physico-chimiques à la sortie de STEP (Eau épurée).

	Débit moyen	T	Salinité	Cond	O₂ dissous	MES	DBO₅	DCO	NT	N- NH₄	N- NO₃	N- NO₂	PT	PO₄⁻³
	m3/j	C°	mg/l	ms/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Jan	8027	14.7	1.0	1.9	8.4	32	10.0	38.3	13.3	0.3	11.1	0.1	5.16	2.0
Fev	8032	16.7	1.0	2.0	8.0	50	13	64.3	3.9	0.5	1.6	0.1	6.91	2.0
Mars	9309	18.0	1.0	2.0	7.0	55.00	30.0	72.0	8.0	4.0	2.0	0.3	6.0	2.0
Avril	8185	19.0	1.0	2.0	8.0	27.0	10.0	38.0	11.0	0.2	10.0	0.1	6.0	2.0
Mai	8279	21.00	1.0	2.0	7.0	14.0	5.0	31.0	6.0	0.3	4.0	0.7	6.0	2.0
Juin	7651	24.0	2.0	2.0	6.0	6.0	7.0	28.0	5.0	1.0	3.0	1.0	5.0	2.0
Juill	6873	25.9	1.0	1.98	6.01	10.3	6.15	31.4	3.38	0.92	1.49	0.11	6.84	2.23