



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du : Diplôme de Master II académique en Biologie
Option : Protection de l'environnement

THEME

**Valorisation des eaux usées épurées de la STEP
de boukhalfa en agriculture : Impact sur le
rendement de quatre espèces céréalières.**

-Approche Expérimentale-

Réalisé par : M^{elle} YAKOUBI Kahina et M^{elle} SAMI Lidya

Promoteur: Mr ASLA T Maître Assistant A à l'UMMTO

Président(e) de Jury:

Mr Allili N Maître de Conférences A à l'UMMTO

Examineurs:

-Mme Taleb K Maître de Conférences B à l'UMMTO

-Mr BOUDJEMAA S Maître de Conférences B à l'UMMTO

Année universitaire

2015/2016

Remerciements

Dieu le tout puissant, maitre des cieux et des terres, merci de nous avoir donné la volonté, le courage et la santé pour réaliser ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à Mr Asla T, notre promoteur qui nous a fait l'honneur d'avoir veillé et dirigé ce travail par son encadrement, son orientation, ses conseils.

Pour nous mettre de mener à bien ce travail.

Nous remercions vivement, Mr Allili N d'avoir accepté de nous honorer en président de jury d'examination. Ainsi que Mme Taleb K et Mr Boudjemaa S pour l'honneur qu'ils nous ont fait de bien vouloir examiner et de juger notre travail.

Nous remercions infiniment Mr Tamane S, le directeur de l'ITMAS de Boukhalfa pour nous avoir mis tous les moyens à notre disposition.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à Mme Ouare et toute l'équipe du laboratoire pour nous avoir accueillis au sein de la station d'épuration des eaux usées du pont de bougie.

Nous remercions également Mme Tibiche Gh et Mme Issaoun Dj, ingénieurs du labo d'agronomie pour leur accueil, et d'avoir mis tous les moyens à notre disposition.

Enfin, nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma grand-mère qui est toujours œuvré pour mon bonheur et ma réussite

Ma très chère mère, qui m'a toujours apportée son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragée, conseillée et soutenue dans mon travail

Mes très chères sœurs : Rachida- Hakima –Thiziri et Melkhir.

Mes très chers frères : Tahar – Madjid- Ibrahim –Allawa – Djamel.

Cher ami Karim, qui m'a vraiment encouragée

Mes camarades de la promotion de protection de l'environnement 2015/2016.

A tous les enseignants qui m'ont suivie tout au long de mon parcours éducatif.

A mon binôme Kahina.

LIDYA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, pour les peines et les sacrifices consentis pour mon éducation, mon amour et ma profonde reconnaissance ne sauraient être exprimés en ce modeste travail. Puisse dieu vous accorder santé et longue vie.

A mes deux frères, Yacine et Mourad à qui je souhaite toute la réussite.

A ma petite sœur Dyhia et ma belle-sœur Dalila, que dieu leur accord succès et bonheur.

A toute ma famille paternelle et maternelle, en témoignage de mon affection et respect.

A toute la promotion de protection de l'environnement sans exception, à qui j'ai partagé les bons et les mauvais moments de ces années, en particulier Djamel, Amar, Ghilas et Sofiane, qui m'ont donné de l'aide.

A tous les enseignants qui m'ont suivie tout au long de mon parcours éducatif

A tous ceux qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager de près ou de loin au cours de la réalisation de cette recherche, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et le témoignage de mon amour.

A mon binôme Lidya.

KAHINA

Liste des abréviations

ANOVA : analyse de la variance

BCPL : Bouillon Lactosé Pourpre de Bromocrésol

Cm : Centimètre.

CaCO₃ : Calcaire total

CEC : Capacité d'échange cationique

CE : Conductivité électrique

CO₂ : Dioxyde de carbone

COT : Carbone organique total

DTO : Demande totale d'oxygène

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

EP : Eau épurée

EPA : Eau Peptonée Alcaline

EL : Eau du lac

ET : Eau témoin

EUD : Eau usées domestique

EUI : Eau usées industrielles

EUA : Eau usée agricoles

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FTU : Formazine Turbidity Unit

GNAB : Gélose Nutritive Ordinaire Alcaline

g : Gramme

g/l : Gramme par litre

H : Humidité

ITMAS : Institut de Technologie Moyen Agricole Spécialisé en Agriculture de Montagne

JORA : journal Officiel de la République Algérienne

K : Potassium

L : Litre

Liste des abréviations

Log : Logarithme

MES : Matière en suspension

M : Mètre

MC : Matière colloïdale

MM : Matières minérales

Mg/l : milligramme par litre

MVS : Matière Volatiles en suspension

Mm : Millimètre

M² : mètre carré

Min : minute

N° : numéro

NaHCO₃ : Bicarbonate de Sodium

N : normalité

NH₄⁺ : Azote ammoniacal

NO₃⁻ : Nitrates

NO₂⁻ : Nitrites

NPK : Azote, Phosphore, potassium

O₂ : Oxygène

ONA : Office National d'Assainissement

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux aquatiques

pH : potentiel d'hydrogène

PO₄³⁻ : Ortho phosphate

PCA : Plate Count Agar

PPm : partie par million

P₂O₅ : Phosphore

% : pourcentage

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées

SS : Solide en suspension

T°C : température en degré Celsius

Liste des abréviations

UFC : unité formant colonie

Us/cm : micro-siemens par centimètre

U V : ultraviolets

Liste des figures

Figure n°1: Image satellitaire de localisation de l'ITMAS de Boukhalfa.....	27
Figure n°2: Image satellitaire de localisation de la STEP ouest de Boukhalfa.....	28
Figure n°3 : La serre vue d'extérieure.....	30
Figure n°4 : Fut de 200 ml remplis d'eau usée épurée.....	30
Figure n°5 : Citerne remplis d'eau du lac.....	30
Figure n°6 : Les arrosoirs.....	31
Figure n°7 : les bacs à lait.....	31
Figure n°8 : Dispositif expérimental.....	43
Figure n°9 : Blé tendre.....	44
Figure n°10 : Blé dur.....	44
Figure n°11 : Avoine.....	44
Figure n°12 : Orge.....	44
Figure n°13 : Variation de la hauteur pour l'espèce avoine en fonction du temps.....	56
Figure n°14: Variation de la hauteur pour l'espèce blé tendre en fonction du temps.....	57
Figure n°15 : Variation de la hauteur pour l'espèce blé dur en fonction du temps.....	58
Figure n°16: Variation de la hauteur pour l'espèce orge en fonction du temps.....	59
Figure n°17 : Variation de nombre de feuilles pour l'espèce avoine en fonction du temps.....	61
Figure n°18 : Variation de nombre de feuilles pour l'espèce blé tendre en fonction du temps.....	62
Figure n°19 : Variation de nombre de feuilles pour l'espèce blé dur en fonction du temps.....	63
Figure n°20 : Variation de nombre de feuilles pour l'espèce orge en fonction du temps.....	64
Figure n°21 : Variation des moyennes du volume racinaire des espèces considérées en fonction des trois types d'eaux utilisées.....	66
Figure n°22 : Variation du poids moyens des graines en fonction des traitements appliqués.....	69

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Relation entre la conductivité et la minéralisation.....	7
Tableau n°2 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées.....	10
Tableau n°3 : Norme de rejet d'une station d'épuration : concentration maximale autorisées en DBO ₅ , DCO, MES.....	15
Tableau n°4 : Norme de rejets d'une station d'épuration : concentration maximale autorisées en azote et phosphore.....	16
Tableau n°5 : Volume d'eau usée rejetées en Algérie.....	19
Tableau n°6 : Nombre de station d'épuration en Algérie.....	19
Tableau n°7 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.....	21
Tableau n°8 : Les recommandations de l'OMS.....	22
Tableau n°9 : Paramètre pour le recyclage de l'eau avec la signification agronomique.....	23
Tableau n°10 : Classification botanique espèces céréalières.....	45
Tableau n°11 : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées épurées.....	46
Tableau n°12 : Classification des eaux d'irrigation d'après la conductivité spécifique à 25°C.....	47
Tableau n°13 : Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de lac.....	50
Tableau n°14 : Les caractéristiques bactériologiques des eaux usées traitées et de l'eau du lac.....	51
Tableau n°15 : Résultats d'analyses physico-chimiques du sol.....	52
Tableau n°16 : Echelle d'interprétation du Ph.....	52
Tableau n°17 : Valeurs d'interprétation de la conductivité électrique.....	53
Tableau n°18 : Répartition des classes de la MO des sols selon les normes d'interprétation.....	54
Tableau n°19 : Classe d'appréciation pour le phosphore assimilable.....	54
Tableau n°20 : Échelle d'appréciation du degré de richesse en K soluble.....	55
Tableau n°21 : Les normes d'appréciations du calcaire total du sol.....	55

Liste des tableaux

Tableau n°22 : Evolution de la croissance en hauteur de l'avoine en fonction du temps.....	56
Tableau n°23 : Evolution de la croissance en hauteur du blé tendre en fonction du temps.....	57
Tableau n°24 : Evolution de la croissance en hauteur de blé dur en fonction du temps.....	58
Tableau n°25 : Evolution de la croissance en hauteur de l'orge en fonction du temps.....	59
Tableau n°26 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre hauteur des tiges.....	60
Tableau n°27 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS.....	60
Tableau n°28 : Evolution du nombre de feuilles de l'avoine en fonction du temps.....	61
Tableau n°29 : Evolution de nombre de feuilles de blé tendre en fonction du temps.....	62
Tableau n°30 : Evolution de nombre de feuilles de blé dur en fonction du temps.....	63
Tableau n°31 : Evolution de nombre de feuilles de l'orge en fonction du temps.....	64
Tableau n°32 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre nombre de feuilles.....	65
Tableau n°33 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.....	65
Tableau n°34 : Variation des moyennes du volume racinaire des espèces considérées en fonction des trois types d'eaux utilisées.....	66
Tableau n°35 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre volume racinaire.....	67
Tableau n°36 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.....	67
Tableau n°37 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.....	68

Liste des tableaux

Tableau n°38 : Poids moyen des graines dans les différents traitements.....	69
Tableau n°39 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre pesée des graines.....	70
Tableau n°40 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.....	70

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Partie I : Synthèse bibliographique.

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées.

Introduction	3
I-Généralités sur les eaux usées	3
I-1-Définition des eaux usées.....	3
I-2-Origines des eaux usées.....	3
I-2-1-Eaux usées domestiques (ou urbaines) (EUD).....	3
I-2-2-Eaux usées industrielles(EUI).....	3
I-2-3-Eaux pluviales.....	4
I-2-4-Eaux usées d'origines agricoles(EUA).....	4
I-3-Les différents types de pollution des eaux.....	4
I-3-1-La pollution de nature physique.....	4
a. La pollution mécanique.....	4
b. La pollution thermique.....	4
I-3-2-La pollution de nature chimique.....	4
I-3-3-La pollution radioactive.....	5
I-3-4-La pollution organique.....	5
I-4-Les caractéristiques physicochimiques et bactériologiques des eaux usées	5
I-4-1-Les paramètres physiques.....	5
a. Température.....	5
b. Turbidité.....	5
c. Odeur.....	6
d. Couleur.....	6
e. Matières en suspension (MES)	6
f. Matières volatiles en suspension (MVS).....	6
g. Matières minérales (MM).....	6
h. Matières colloïdales (MC).....	6
I-4-2-Les paramètres chimiques.....	7
a. Le potentiel hydrogène (pH)	7
b. La conductivité électrique (CE).....	7
c. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	7

d. La demande chimique en oxygène (DCO).....	8
e. Le carbone organique total (COT).....	8
f. La demande totale d'oxygène(DTO).....	9
g. Les nitrites.....	9
h. Les nitrates.....	9
i. Phosphore.....	9
j. Oxygène dissout	8
k. Notion de biodégradabilité.....	9
I-4-3-Les paramètres biologiques.....	9
II-Traitement des eaux usées	10
II-1-Définition d'une station d'épuration	11
II-2-Procédés d'épuration des eaux usées.....	11
II-2-1-Le traitement préliminaire.....	11
II-2-2-Le traitement primaire	11
II-2-2-1-Les traitements physico-chimiques.....	12
II-2-3-Le traitement secondaire.....	12
II-2-3-1-Les traitements extensifs (le lagunage secondaire).....	13
II-2-4-Le traitement tertiaire.....	13
II-2-4-1-Les traitements chimiques et les ultraviolets	13
II-2-4-2-Les membranes.....	14
II-2-4-3-Le lagunage tertiaire.....	14
II-2-4-4-L'infiltration /percolation	14
II-3-Analyse de la qualité des eaux après traitement.....	14
II-3-1-Les paramètres physico-chimiques	15
III-Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.....	16
III-1-Définition de la réutilisation des eaux usées.....	17
III-2-Historique sur la réutilisation	17
III-3-Etat de la REUE en Algérie.....	18
III-4- Analyse de l'aspect institutionnel et législatif.....	20
III-5- les recommandations de l'OMS.....	21
III-6- Qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation.....	22
III-7-Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées.....	24
III-8-Inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées.....	25

Partie II : Partie Expérimentale.

Chapitre II : Matériels et méthodes.

I- Présentation du site expérimental	27
I-1- Situation géographique de l'Institut de Technologie Moyen Agricole Spécialisé en Agriculture de montagne (ITMAS).....	27
I-2- Situation géographique de la STEP-Ouest de Tizi-Ouzou.....	27
II-Matériels et Méthodes.....	28
II-1- Expérimentation sous serre.....	29
II-1-1- Matériels utilisés.....	29
II-1-2- Travail sous serre.....	31
II-1-2-1- Préparation de différentes eaux d'irrigation.....	31
II-1-2-2-Préparation du sol.....	32
II-1-2-3- Soins culturaux.....	32
II-1-2-4-Récolte.....	32
II-1-3-Paramètres étudiés.....	32
II-1-3-1-Hauteur des tiges.....	32
II-1-3-2-Nombre de feuille.....	32
II-1-3-3-Rendement des plants.....	32
II-1-3-4-volume racinaire.....	33
II-2-Analyses de laboratoire.....	33
II-2-1- Analyses physico-chimiques de l'eau.....	33
II-2-1-1- Mesure de pH et température.....	33
II-2-1-2-Mesure de la conductivité électrique (CE).....	34
II-2-1-3-Mesure de la matière en suspension (MES).....	34
II-2-1-4-Mesure de la turbidité.....	34
II-2-1-5-Mesure de la DBO ₅	34
II-2-1-6-Mesure de la DCO	35
II-2-1-7-Mesure de nitrite.....	36
II-2-1-8-Mesure de nitrate	36
II-2-1-9-Mesure de phosphate	36
II-2-2-Analyses bactériologiques de l'eau.....	37
II-2-2-1-Dénombrement de la flore mésophile totale.....	37
II-2-2-2- Dénombrement des germes de contamination fécale.....	37

II-2-2-3- Dénombrement des entérocoques	38
II-2-2-4- Dénombrement des entérobactéries pathogènes	38
Salmonella.....	38
Vibrions.....	38
II-2-3-Analyses physico-chimiques du sol.....	38
II-2-3-1-Détermination du pH de sol.....	38
II-2-3-2-Mesure de la conductivité électrique d'un sol.....	39
II-2-3-3-Estimation de l'humidité hygroscopique du sol.....	39
II-2-3-4-Le carbone organique.....	39
II-2-3-5-Le phosphore assimilable	40
II-2-3-6-Le potassium assimilable.....	40
II-2-3-7-Dosage du calcaire total.....	41
III- Dispositif expérimental	42
IV- Matériel végétal	44
V-Analyse Statistique.....	45
Chapitre III : Résultats et discussions.	
I-Interprétation des résultats	46
I-1-Analyses physico-chimiques des eaux utilisées.....	46
I-2-Analyses bactériologiques des eaux utilisées	50
I-3-Analyses physico-chimiques du sol.....	51
I-4-Analyse du comportement physiologique des espèces étudiées.....	55
I-4-1- La hauteur des tiges.....	55
I-4-1-1-Analyse de variance.....	59
I-4-2-Nombre de feuilles	61
I-4-2-1-Analyse de variance.....	65
I-4-3-Le volume racinaire	66
I-4-3-1-Analyse de variance.....	66
I-4-4- La pesée des graines.....	68
I-4-4-1-Analyse de variance.....	70
II-Discussion	71
Conclusion Générale.....	74
Références Bibliographiques	

Introduction Générale :

Essentielle au développement de la vie, la présence de l'eau a toujours été une condition fondamentale à l'implantation des communautés humaines (**ONEMA, 2009**).

Mais autant l'eau peut être source de richesse et de bien être pour l'homme, autant elle peut être la cause de pauvreté, de malnutrition et de famine si elle venait à manquer ou si elle subit des altérations.

A ce titre, le manque d'eau devient aujourd'hui et probablement dans le futur l'enjeu le plus délicat du 21^{ème} siècle, pour de nombreux pays. Selon la banque mondiale, la pénurie d'eau potable concernera plus de 5 pays et plus de 3 milliards d'habitants en 2025.

L'OMS estime qu'environ 20% de la population mondiale n'a pas accès à une eau de qualité potable (**Bouziati, 2000**).

L'utilisation tout azimut des eaux conventionnelles engendre un nouveau produit appelé effluents ou eaux usées. Ces derniers chargés en substances polluantes sont versés en grands volumes dans les milieux récepteurs sans aucun traitement préalable. Cet état de fait doit demeurer un motif de préoccupation croissant compte tenu des effets multiples et indésirables qu'il peut engendrer sur l'environnement et la santé humaine (**Haddoum et al, 2013**).

Les eaux usées peuvent être considérés comme une source non négligeable en eau et en éléments fertilisants.

La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture peut soulager l'exploitation des ressources en eau traditionnelles qui ne peuvent plus répondre aux besoins d'une agriculture intensive et réduire le déficit hydrique (**Eddabra, 2011**).

C'est dans le cadre de cette stratégie que nous avons mené un essai de réutilisation des eaux usées épurées. Pour mener à bien ce travail expérimental, nous avons pratiqué un plan d'irrigation par diverses natures d'eaux ; c'est le premier facteur « facteur eau », devisé en 03 variantes :

- Eau épurée de la station d'épuration « Ouest de Boukhalfa » de Tizi-Ouzou.
- Eau du lac de l'ITMAS.
- Eau plate (eau du robinet de l'ITMAS).

Le deuxième facteur : c'est l'espèce végétale ; devisée en 04 variantes :

- Blé dur.
- Blé tendre.
- Orge.

➤ Avoine.

L'objectif général de ce travail est d'étudier la possibilité de réutiliser les eaux usées épurées en agriculture et leur impact sur le rendement du matériel végétal considéré, irrigué par les différentes sortes d'eaux utilisées.

Ce travail comporte deux parties principales :

I. La partie bibliographique :

Elle est constituée essentiellement d'un seul chapitre qui récapitule ; les Généralités sur les eaux usées, les procédés d'épurations ainsi que leurs réutilisations après traitements en agriculture.

II. La partie expérimentale qui est composée de deux chapitres :

- ❖ Le premier chapitre porte sur la présentation de l'objectif du travail expérimental ainsi que sur le matériel et méthode d'analyse.
- ❖ Le deuxième chapitre : résultats et discussions.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale ou sont récapitulés les résultats obtenus.

Introduction :

L'augmentation de la consommation d'eau due au développement urbain et à l'activité industrielle, agricole,...etc., est accompagnée par une pollution, qui rend impropre à la consommation humaine, des eaux douces de surfaces (cours d'eau, lac, océans) et les eaux sous terraines (nappes phréatiques). Ajouter à cela, cette pollution fait que certaines espèces disparaissent et d'autres prolifèrent. C'est pourquoi, il est impératif de traiter les eaux usées avant de les rejeter à la nature. Ainsi, la connaissance de leurs natures et de leurs origines est indispensable pour pouvoir adapter leur traitement adéquat (**Bensaid, 2013**).

I-Généralités sur les eaux usées :**I-1-Définition des eaux usées :**

Une eau usée est une eau contenant des rejets d'activités humaines, industrielles et/ou agricoles qui peuvent provoquer ou accroître la pollution du milieu naturel dans lequel elle est déversée (**Mansouri, 2012**).

Les eaux usées sont des eaux fortement chargées de substances qui peuvent être sous forme solide ou dissoute et qui rendent leur qualité très médiocre. Elles exigent une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel. L'évolution des activités humaines a provoqué l'accélération de la pollution du milieu récepteur ; ce qui implique des mesures régénératrices et durables (**Bourrier, 2008**).

I-2-Origines des eaux usées :

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue 4 catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales et les eaux agricoles

I-2-1-Eaux usées domestiques (ou urbaines) (EUD) :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux « ménagères », qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, et en eau « vannes » : il s'agit des rejets de toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**Talbi et Khelfa, 2010**).

I-2-2-Eaux usées industrielles (EUI) :

Très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent aussi contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte (**Lounis, 2005**).

I-2-3-Eaux pluviales :

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés les polluants atmosphériques, poussières, débris, 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-2-4-Eaux usées d'origines agricoles (EUA) :

Les pollutions agricoles sont causées principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des pesticides. Mais ce sont surtout les pratiques culturelles modernes qui en sont la cause : labourages profonds et violents favorisant l'infiltration directe dans le sous-sol sans autoépuration (**Gilbert, 1998**).

I-3-Les différents types de pollution :**I-3-1-La pollution de nature physique :**

On distingue 2 catégories de ce type de pollution ; mécanique et thermique.

a- La pollution mécanique :

Celle-ci résulte d'une charge importante des eaux en éléments fins qui demeurent en suspension, particules de charbon, d'amiante, de silice, sable, limons...etc., provenant d'effluents industriels ou d'eaux issues de carrières ou de chantiers (**Pesson, 1976**).

b- La pollution thermique :

Ce nouveau type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires en particulier. Ces eaux chaudes provoquent la réduction de la teneur en oxygène dissous de l'eau et peut avoir des actions néfastes sur la faune (**Pesson, 1976**).

I-3-2-La pollution de nature chimique :

La pollution chimique a deux origines, d'une part, la pollution directe qui est parfaitement identifiable quand elle provient des installations industrielles et des activités agricoles, d'autre part, la pollution indirecte, qui n'a pas de source précise connue et qui se propage à partir des eaux de ruissellement et des eaux usées (**Bouziani, 2000**).

I-3-3-La pollution radioactive :

Suite à la prolifération des activités nucléaires dans ces dernières décennies, ont été engendré des déchets radioactifs dans le milieu naturel en particulier dans l'eau de surface.

Les retombées de ces essais nucléaires, les effluents des centrales nucléaires, les utilisations médicales et industrielles sont les principaux responsables de la pollution radioactive de l'eau (Coulibaly, 2010).

I-3-4-La pollution organique :

La pollution organique est la plus répandue, elle est engendrée par le déversement des eaux usées domestiques ou des eaux résiduaires provenant des industries agroalimentaires, d'abattoirs, d'industries de bois, papeteries...etc.

Elle peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'autoépuration n'est pas atteinte. Au-delà de cette limite, il se produit dans le milieu aquatique des réactions de fermentation et d'appauvrissement en oxygène aboutissant à l'asphyxie du milieu. Les eaux usées domestiques peuvent apporter une quantité importante de germes pathogènes d'origine fécale (bactéries, virus, protozoaires qui dégradent la matière organique) (Bensaid, 2013).

I-4-Les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées :**I-4-1-Les paramètres physiques :****a. Température :**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). 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 (Rodier, 2005).

b. 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 dans l'eau (Metahri, 2012).

c. Odeur :

Les effluents peuvent dégager des odeurs désagréables qui empestent l'air ambiant et donc polluent l'atmosphère. Les eaux usées domestiques fraîches produisent une odeur de moisi assez désagréable. La présence d'autres odeurs dénote un apport d'origine industrielle.

L'odeur peut être aussi un signe de pollution organique provenant des produits toxiques, chimiques, d'organismes aquatiques (**Rodier, 2005**).

d. Couleur :

Une eau propre doit être incolore : la couleur de l'eau d'égout d'origine domestique est normalement de couleur grisâtre ; une couleur noir indique une décomposition partielle. Et les autres teintes indiquent un apport d'eaux résiduaires industrielles (**Berne et Coordonier, 1991**).

e. Matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (**Faby et Brissaud, 1997**).

f. Matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension obtenue par calcination de ces matières en suspension à 525°C pendant deux heures. La différence de poids entre les matières en suspension à 105°C et à 250°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en matières volatiles en suspension en mg /l d'une eau. Elles constituent environ 70 à 80% de MES (**Gaid, 1993**).

g. Matières minérales (MM) :

Les matières minérales représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire « extrait sec », constitué à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates...etc (**Duguet et al, 2006**).

h. Matières colloïdales(MC) :

Ce sont des éléments présents dans l'eau sous un état intermédiaire entre un état dissous et un état solide. Il s'agit de très petites particules solides invisibles à l'œil nu dotées sur leur surfaces de charges électriques qui se repoussent les unes contre les autres, et déterminent aussi la turbidité (**Manseur, 2009**).

I-4-2-Les paramètres chimiques :**a. Potentiel hydrogène (pH) :**

Le pH indique la concentration en H^+ présent dans l'eau, le pH joue un rôle primordiale à la fois : dans les propriétés physico-chimiques (acidité agressivité), dans le processus biologique et dans l'efficacité de certains traitements (**Boumaiza et Madouni, 2007**).

Les microorganismes tolèrent une gamme de pH relativement réduite :

- 5 à 9 en milieu aérobie.
- 6 à 8 en milieu anaérobie

b. Conductivité électrique (CE) :

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

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité :

Tableau n°1 : Relation entre la conductivité et la minéralisation (**Loumi et Yefsah, 2010**).

Conductivité (us/cm)	Appréciation
Conductivité < 100us/cm	Minéralisation très faible
100 us/cm <conductivité<200us/cm	Minéralisation faible
200 us/cm <conductivité< 333us/cm	Minéralisation moyenne accentuée
333 us/cm <conductivité< 666us/cm	Minéralisation moyenne
666 us/cm <conductivité< 1000 us/cm	Minéralisation importante
Conductivité > 1000 us/cm	Minéralisation excessive

us/cm : unité de mesure de la conductivité, micro siemens par centimètre.

c. Demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

C'est la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes pour la dégradation de la matière organique dans les conditions d'incubation à 20°C à l'obscurité en 5 jours, exprimée en mg/l (**Gaid, 1993**).

d. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide de bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en $\text{mg O}_2 / \text{l}$ (Metahri, 2012).

e. Carbone organique total (COT) :

Il représente la teneur en carbone lié à la matière organique, et repose sur une mesure de CO_2 après oxydation complète (Degrement, 2005).

Dans une eau usée, le rapport $\text{DBO}_5 / \text{COT}$ est de l'ordre de 1,7 à 1,9 (Haddoum et al, 2013).

f. Demande totale d'oxygène (DTO) :

Elle représente la quantité d'oxygène théoriquement nécessaire à l'oxydation de toutes substances oxydables contenues dans l'eau, soit pour l'essentiel des composés organiques, mais aussi des matières inorganiques oxydables (Iddir et Lafdal, 2009).

g. Nitrites:

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions nitrates (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+) peu stables en rivière. On les rencontre lorsqu'il y'a un déséquilibre au niveau de l'oxydation et de la flore bactérienne de l'eau (Haddadi et Hamlat, 2002).

h. Nitrate:

Elles constituent le stade de l'oxydation de l'azote, si leur origine est organique, elle atteste que les cours d'eaux est le siège d'une autoépuration naturelle, si non, il est d'origine du lessivage des engrais, rejets urbains et industriels (Rabia, 2012).

i. Phosphore :

Le phosphore joue un rôle important dans le stockage et le transfert d'énergie dans la cellule vivante. Il est le facteur limitant principal du développement bactérien dans les bassins d'aération des stations de traitements biologiques. Le phosphore organique et les poly phosphatés sont rapidement transformés par les micro-organismes en ortho phosphates (PO_4^{3-}) (Mansouri, 2012).

j. Oxygène dissous :

L'oxygène dans l'eau se fait en fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphérique et de la salinité.

L'O₂ dissous conserve des propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique, soit par des phénomènes électrochimiques d'où son importance dans le phénomène de la corrosion. La teneur en O₂ de l'eau dépasse rarement 10mg/l (**Rodier et al, 2009**).

Sa teneur proche de la saturation dans l'eau superficielle ; est de quelques milligrammes par litre (mg/l) dans les eaux profondes (**Metahri, 2002**).

k. Notion de biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude qu'un effluent à être décomposer ou oxyder par les micro-organismes 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 ne sont pas biodégradables.

Un coefficient " k " très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs 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, si non, on applique un traitement physico-chimique (**Achat et Nait Sidnas, 2002**).

I-4-3-Les paramètres biologiques :

Les eaux usées évacuent les matières fécales et les urines des populations. Elles sont chargées en germes commensaux habituels de l'homme et en germes pathogènes en provenance de porteurs sains ou de malades. Les micro-organismes pathogènes présents dans les eaux usées peuvent être classés en 4 groupes principaux :

- ✓ Les bactéries pathogènes (Salmonelles, Shiguelles,...),
- ✓ Les virus (entérovirus, virus de l'hépatite A,...),
- ✓ Les parasites (œufs de vers, kystes d'amibes,...),
- ✓ Les champignons.

Devant la difficulté à mettre en évidence les agents pathogènes eux-mêmes, on se contente de rechercher dans le milieu des germes dont la présence est synonyme de la possibilité d'existence de germes pathogènes (Manseur, 2009).

Tableau n°2 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (Asano, 1998).

Agents pathogènes	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Salmonella	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose.	23 à 80000	Ingestion
Shigella	Dysenterie bacillaire	10 à 10000	Ingestion
E.coli	Gastro-entérite		Ingestion
Yersinia	Gastro-entérite		Ingestion
Campylobacter	Gastro-entérite	37000	Ingestion
Vibrio	Choléra	100 à 100000	Ingestion
Leptospira	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
Legionella	Légionellose		Inhalation
Mycobacterium	Tuberculose		Inhalation

II- Traitement des eaux usées :

L'eau usée est caractérisée par un aspect esthétique désagréable. Elle dégage de mauvaises odeurs et chargée d'agents pathogènes, responsable de plus graves maladies. Elle doit être collectée et traitée pour éliminer les charges polluantes à l'égard du milieu récepteur.

II-1-Définition d'une station d'épuration :

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant leur rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs processus, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter (**Bedouh, 2014**).

Une station d'épuration est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les divers polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues. La succession des dispositifs est calculée en fonction de la nature des eaux usées recueillies sur le réseau et des types de pollutions à traiter.

II-2-Procédés d'épuration des eaux usées :

Les stations d'épurations des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et solide en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques ainsi que les constituants biologiques qui concernent la santé publique en générale.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

II-2-1-Le traitement préliminaire :

Consiste à l'enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute.

En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (désuilage). Les déchets solides peuvent être déchiquetés (dilacération) par des « pompes dilacératrices », cette opération facilitant leur dispersion (**Desjardin, 1997**).

II-2-2-Le traitement primaire :

Consiste à l'enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants. Les procédés de traitement primaire sont physiques ou éventuellement physico chimique, et produisent des boues primaires.

La décantation primaire permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation

permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2m /h, 40 à 60% de MES, soit 10 à 30 % des virus, 50 à 90% des helminthes et moins de 50% des kystes de protozoaires (**Faby et Brissaud, 1997**).

Selon la **FAO, (1992)** approximativement 25 à 50% de la demande biologique en oxygène (DBO₅), 50 à 70% du total des solides en suspension (SS) et 65% des graisses et des huiles sont éliminés par décantation primaires.

II-2-2-1-Les traitements physico-chimiques :

Ils sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique) Ils comportent classiquement deux phases : une coagulation par des sels de fer ou d'aluminium, puis une floculation des colloïdes formés. La séparation du floc a lieu pendant la phase de clarification (décantation secondaire). Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels, de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée, sinon maîtrisée. Il y a donc un risque de surcout lié à une mauvaise utilisation, voire un risque environnemental (**Asano, 1998**).

II-2-3-Le traitement secondaire :

Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires. Les procédés d'épuration secondaire comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. Dans certains cas, un traitement faisant intervenir des microorganismes anaérobies (digestion anaérobies des boues résiduelles) est annexé au traitement secondaire.

Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux traitées, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène.

Selon **Faby et Brissaud (1997)**, une épuration biologique permet d'éliminer 90% des virus, 60 à 90% des bactéries, mais par contre a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes.

Le dernier traitement biologique mis au point est le bio filtre, qui combine les actions épuratrices de la filtration et de l'activité microbienne. C'est un traitement intensif qui est rapide à

mettre en place, et qui ne nécessite pas de bassin de clarification. Il est donc beaucoup utilisé dans les unités de traitement individuelles. Par contre, il nécessite un nettoyage fréquent du filtre. Son efficacité serait similaire à celles des boues activées.

II-2-3-1-Les traitements extensifs : le lagunage secondaire

Le lagunage secondaire utilise des mécanismes naturels pour traiter les eaux usées :

Bactéries, photosynthèse et pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues.

Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassin : **un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation.**

Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matières organiques. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeurs, notamment à cause de la formation de composés soufrés. Le bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matières organiques. Enfin, le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes. Sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues (Cauchi et al, 1996)

II-2-4-Le traitement tertiaire :

Consiste à l'enlèvement de constituants spécifiques à l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire.

Ce sont des traitements complémentaires, demandés parfois traitements avancés. La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques (FAO, 2002).

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage) : Par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable (Edline, 1996).

II-2-4-1-Les traitements chimiques et les ultraviolets :

Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore (Djeddi, 2007).

II-2-4-2-Les membranes :

Les membranes permettent de filtrer et d'éliminer toutes les MES, tous les micro-organismes et toutes les substances qui s'y absorbent. Seules subsistent les matières dissoutes. L'efficacité épuratrice d'une membrane dépend de son « seuil de coupure ». Selon **Lazarova et al (2003)**, un seuil de coupure de 0,035 μ m permet de désinfecter de manière quasi-totale.

L'autre avantage d'un traitement par membrane est surtout une réduction considérable de la surface nécessaire pour le site de traitement. Par contre, la membrane nécessite d'être nettoyée régulièrement pour continuer à être efficace.

II-2-4-3-Le lagunage tertiaire :

Le lagunage tertiaire est un procédé extensif de désinfection similaire au lagunage secondaire. Si ce n'est qu'il est précédé d'un traitement d'épuration comme par exemple un traitement par boues activées, il permet d'éliminer les micro-organismes, d'affiner l'épuration, de faire face aux variations de flux et de protéger le milieu récepteur (**cauchi et al, 1996**).

II-2-4-4-L'infiltration /percolation :

L'infiltration ou percolation consiste à traiter l'eau par l'intermédiaire du sol ou d'un massif filtrant. On infiltre les effluents à raison de quelques centaines de litres d'effluents par mètre carré de massif filtrant et par jour.

La filtration de MES : plus le sable est grossier, plus la fixation de MES se fera en profondeur. Les MES finissent par colmater le filtre. Pour lutter contre le bouchage du massif filtrant, il faut donc alterner phase d'infiltration et phase de séchage.

L'élimination de MES permet également l'élimination des micro-organismes qui y sont fixés. Cela va permettre une dégradation microbienne de la matière organique et des substances dissoutes dans l'effluent. Cette dégradation consomme de l'O₂ et produit de CO₂, il faut donc aérer régulièrement le film pour éviter l'asphyxie du milieu (**Lazarova et al, 2003**).

Les techniques d'infiltration/percolation permettent l'élimination des gros micro-organismes (protozoaires et helminthes) par filtration/adsorption au début du massif filtrant. L'élimination des virus et des bactéries est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée (**Faby, 1997**).

II-3-Analyse de la qualité des eaux après traitement :

De telles études sont souvent réalisées en préalable à une opération de REUE, afin d'apporter les assurances sanitaires nécessaires. Les contaminants les plus étudiés sont les micro-

organismes. Les formes de résistances des protozoaires et des helminthes (les kystes et les œufs) sont les plus problématiques (**Lazarova et al, 2003**).

II-3-1-Les paramètres physico-chimiques :

Les stations d'épuration ont des normes de rejet à respecter pour les matières carbonées, les matières azotées et les matières phosphorées.

La réglementation distingue les stations qui rejettent en zone non sensible et celle qui rejettent en zone sensible à l'eutrophisation : en zone non sensible, seules les normes concernant les matières carbonées sont à respecter, et en zone sensible s'y ajoutent les normes concernant les nitrates et /ou les phosphates.

Les stations d'épuration versent une taxe aux agences de l'eau en fonction de leurs rejets dans le milieu naturel. La DBO₅, la DCO, le taux de MES et le NTK rentrent dans l'assiette de cette redevance.

Les concentrations moyennes des eaux usées urbaines avant traitement pour ces différents paramètres sont données pour être conforme à la réglementation, une station d'épuration doit respecter les normes de rejet.

Les échantillons moyens journaliers doivent respecter soit les valeurs fixées en concentration, soit les valeurs fixées en rendement. De plus, les eaux rejetées doivent avoir un pH compris entre 6 et 8,5, et leur température ne doit pas dépasser 25°C (**Edline, 1996**).

Tableau n°3 : Normes de rejet d'une station d'épuration : concentration maximales autorisées en DBO₅, DCO et MES (**Djeddi, 2007**).

paramètre	Concentration maximale autorisée
DBO ₅	25 mg/l
DCO	125 mg /l
MES	35 mg/l*

*Pour les rejets dans le milieu naturel de bassin de lagunage, cette valeur est fixée à 150 mg /l.

Tableau n°4 : Normes de rejets d'une station d'épuration : concentration maximale autorisées en azote et phosphore (**Djeddi, 2007**).

	paramètre	charge brute de pollution organique reçue en kg par jour	concentration maximale autorisée
Zone sensible à l'azote	NGL*	600 à 6000	15mg/l
		6000	10mg/l
zone sensible au phosphore	PT	600 à 6000	2mg/l
		6000	1mg/l

*Ces exigences se réfèrent à une température de l'eau du réacteur biologique aérobie de la station d'épuration d'au moins 12°C. Cette condition de température peut être remplacée par la fixation de périodes d'exigibilité déterminées en fonction des conditions climatiques régionales.

NB :

On peut dire qu'à partir d'une eau usée et grâce aux procédés de traitement, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eau de qualités différentes. A chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sous toutes leurs formes, à des niveaux qui sont actuellement considérés comme non dangereux.

III-La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture :

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dont la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures.

L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies (**Nebil, 2010**). Les agriculteurs, notamment ceux des régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées.

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des surfaces agricoles reste l'usage prépondérant et en fort développement car le secteur agricole prélève une part très importante des ressources en eau conventionnelles, d'une part, et que la proportion d'eaux usées traitées au regard du volume total potentiellement réutilisable reste à ce jour minime pour la plupart des pays, d'autre part.

L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones aride et semi-aride, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelable et fiable (**FAO, 2003**).

Dans ce contexte, l'utilisation des eaux usées traitées est devenue une nécessité et fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes les ressources non conventionnelles disponible, afin de préserver les ressources conventionnelles.

III-1-Définition de la réutilisation des eaux usées épurées :

Selon **valiron (1983)**, la réutilisation de l'eau est définie ainsi : « la réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaire en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydrique ».

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation est particulièrement intéressante dans les pays qui ont des ressources hydriques faibles avec présence de saisons sèches où la compétition avec l'eau potable est très marquée.

Dans ces pays, l'irrigation de cultures ou d'espaces verts constitue donc la voie de l'avenir pour la réutilisation des eaux usées urbaines traitée, à cours et à moyen termes.

III-2-Historique sur la réutilisation :

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très ancienne. Au milieu du 19^e siècle, de nombreuses villes d'Amérique du nord et d'Europe ont adopté l'irrigation des cultures comme moyen d'éliminer les eaux résiduaires (**Mara et Cairncross, 1991**).

La raison essentielle était d'empêcher la pollution des cours d'eau et non l'amélioration de la production agricole.

En Amérique :

Aux Etats- Unis, 34 états disposent de réglementations ou de recommandations relatives à l'usage agricole des eaux usées.

Les grandes réalisations sont en Californie où les eaux usées sont utilisées pour irriguées le coton, la luzerne, le maïs, l'orge et la betterave à sucre et en Floride où en plus des parcs et des golfs, 3000 ha de cultures et de pépinières sont irriguées par les eaux usées traitées (**Ecrosse, 2001**).

Au Mexique, les eaux usées brutes de mexico sont réutilisées pour l'irrigation agricole dans le cadre d'un plus grand projet d'irrigation (irrigation de 90 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates). Pour l'ensemble des villes mexicaines la superficie irriguée par les eaux usées brute est de l'ordre de 250 000 ha (**Mara et Cairncross, 1991**).

En méditerranée :

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé sur le pourtour sud de la méditerranée. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie d'eau est particulièrement ressentie.

La Tunisie est le premier pays de l'ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau, on compte environ 6400 hectares irrigués par les eaux usées traitées dont presque 70% sont situés autour de Tunis, lieu de production des eaux usées (**Bahri, 2002**).

Les cultures irriguées sont les arbres fruitiers (citron, olives, pomme, poires etc.), les fourrages (luzerne), le coton, etc.

En Australie :

L'Australie est un continent sec. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisqu'un quart du continent concentre 80% des précipitations.

Le plus ancien périmètre irrigué au monde se trouve Melbourne (créé en 1897) et il comporte 4000ha. Essentiellement, les eaux usées brutes servent à irriguer les pâturages (**Mara et Cairncross, 1991**).

En Chine et en Inde :

La Chine et l'Inde, deux pays très peuplés et qui risquent d'être en stress hydrique dans la prochaine décennie, pratiquent à grande échelle la réutilisation des eaux usées en irrigation agricole. Pour l'ensemble des villes chinoises, on compte 1330 000 ha irrigués par les eaux usées. Pour l'Inde le total s'élève à 73 000 ha (**Mara et Cairncross, 1991**).

III-3-Etat de la REUE en Algérie :

L'eau est une ressource limitée, difficile à mobiliser et à exploiter tellement elle est conditionnée par des précipitations orageuses, variables et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Les écoulements superficiels sont estimés à plus de 12 milliards de mètre cube annuellement où seulement près de 2 milliards de mètre cube sont mobilisés par an.

Ce volume devrait atteindre les 3 milliards de mètre cube quand tous les barrages en construction seront opérationnels (**Djeddi, 2007**). Le volume mobilisable est de l'ordre de 6 milliards de mètre cube quelques soit les moyens utilisés (**Benabdeli, 2005**).

La qualité de cette ressource est très variable et reste soumise à certaines pollutions. Les eaux usées ne sont pratiquement point recyclées et constituent une perte appréciable et un polluant de l'agriculture par le biais de l'irrigation.

Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du nord.

La réponse, c'est l'épuration des eaux usées et leur réutilisation.

On a recours à cette activité pour différents motifs : absence d'exutoire ; déficit en eau ; souci de protéger l'environnement.

Les usages possibles sont théoriquement illimités : irrigation ; recharge des aquifères ; industrie ; lavage des chaussées ; etc...

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle afin d'alléger le recours à cette dernière.

Tableau n°5 : Volumes d'eaux usées rejetées en Algérie (MRE, 2003).

type d'agglomérations	volume d'eau usées rejeté(Hm ³)			
	1995	taux(%)	2020	taux (%)
Côtière	169	31	282	25
Amont des barrages	48	9	122	11
Proximité des périmètre	62	11	143	12
Autres	149	27	352	30
>20.000<50.000hab	122	22	251	22
Total	550	100%	1150	100%

Tableau n°6: Nombre de stations d'épurations (MRE, 2003).

Station	Nombre	Volume d'eau usée
Exploitation	14	160 m ³ /j soit 58 Million m ³ /an
Travaux	7	115000 m ³ /j soit 42 Million m ³ /an
Réhabilitation	24	39000 m ³ /j soit 142 Million m ³ /an
Total	45	665000m ³ /j soit 242 M m ³ /an

III-4- Analyse de l'aspect institutionnel et législatif :

un projet d'élaboration de normes algériennes et d'un guide technique pour les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées pour des fin agricoles est en cours d'approbation par l'institut algérien de normalisation.

La réutilisation des eaux usées sollicite une coordination étroite entre les différentes structures impliquées dans les opérations de réutilisation à tous les niveaux (**MRE, 2012**).

➤ Aspect législatif :

Le décret exécutif 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le journal officiel de la république algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent (**JORA, 2007**).

Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épuration, par une demande adressée par un concessionnaire au wali (premier responsable de la wilaya ou département) de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées.

Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et de produit agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressource en eau, agriculture, santé, environnement et commerce.

➤ Liste des cultures autorisées :

Une autre réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrêté interministériel du 8 safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Ce texte est promulgué par les ministres chargé des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé.

Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celle figurant sur la liste indiquée dans le tableau n°7.

Tableau n°7 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (**JORA, N°41, 2012**).

Groupe de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pêche, poire, abricot, nèfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, 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.
Culture céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Culture de production de semence	Pomme terre, haricot et petit pois.
Arbuste fourragers	Acacia et atriplex.
Plante florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine, et romarin.

(*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins de deux 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.

III-5- Les recommandations de l'OMS :

Les recommandations de l'OMS (Health guidelines for the use of waste water in agriculture and aquaculture) Ou « recommandations sanitaire pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seuls à l'échelle internationale. Elles sont sources d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde. Ces recommandations sont destinées à une utilisation internationale et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée. Ces normes sont représentées dans le tableau 2.

Tableau n°8: Les recommandations de l’OMS (Benabdeli, 2005).

Caractéristique	Normes utilisées (OMS)
pH	6,5-8,5
DBO ₅	30 mg/l
DCO	90 mg/l
MES	20 mg/l
NH ₄ ⁺	0,5 mg/l
NO ₂	1 mg/l
NO ₃	1 mg/l
P ₂ O ₅	2 mg/l
Température	30 °C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

III-6- Qualité des eaux usées épurées pour l’irrigation :

La qualité de l’eau utilisée pour l’irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures et le maintien de la productivité du sol. Ainsi que les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité qui sont très sensible au type d’ion potentiellement échangeable présent dans les eaux d’irrigations.

Pour cela, les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception des projets de la réutilisation agricoles des effluents. Ces paramètres sont représentés dans le tableau 5.

Tableau n°9 : Paramètre pour le recyclage de l'eau avec la signification agronomique (**Lazarova et al, 2003**).

<i>Paramètre</i>	<i>Signification pour l'irrigation avec de l'eau réutilisée</i>	<i>Gamme dans les effluents secondaires et tertiaires</i>	<i>But du traitement de l'eau réutilisée</i>
Solides en Suspension Turbidité	Des mesures de particules peuvent être liées à la pollution microbienne : elles peuvent perturber la désinfection, obstruer des systèmes d'irrigation ou générer des dépôts.	5-50 mg/L	<5-35TSS/L
		1-30 NTU	<0.2-35NTU
BOD5 COD	Substrat organique pour la croissance microbienne ; peut apporter l'encrassement microbien et le redéveloppement bactérien dans les systèmes de distribution.	10-30mg/L	<5-45mgBOD5/L
		50-150mg/L	<20-200mgCOD/L
Coliformes totaux	Mesure du risque d'infection due à la présence potentielle de microbes pathogènes ; peuvent apporter un bio-encrassement des arroseuses et des becs dans les systèmes d'irrigation.	<10-10 ⁷ cfu/100mL	<1-200cfu/10mL
Métaux lourds	Certains sels de minerais dissous sont identifiés comme aliments et sont salutaires pour la croissance de plantes, alors que d'autres peuvent être phytotoxiques ou peuvent le devenir à concentration		< 0.001mgHg/L <0.01mgCd/L <0.02-0.1mgNi/L

	élevée. Les éléments spécifiques (Cd, Ni, Hg, Zn, etc..) sont toxiques pour les récoltes, et des limites maximum de concentration existent pour l'irrigation.		
Inorganique	La salinité élevée et le bore sont nocifs pour l'irrigation de certaines récoltes sensibles.		<450- 4000mgTDS/L <1mgB/L
Chlore résiduel	Recommandé pour empêcher le développement bactérien ; la quantité excessive de chlore libre (> 0.05mg/L) peut endommager certaines récoltes sensibles.		0.5->5mgCl/L
Azote	Engrais pour irrigation ; peut contribuer à la croissance des algues et à l'eutrophisation dans des réservoirs de stockage, la corrosion (N-NH ₄), ou la formation de tartre (P).	10-30mgN/L	<10-15mgN/L
Phosphore		0.1-30mgP/L	<0.1-2mgP/L

III-7-Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées :

Dans les pays aride et semi-arides, la pratique de la réutilisation des eaux usées traitées devrait se développer, davantage pour la raison suivants :

- La réutilisation des eaux usées traitées peut compenser la rareté des ressources. Leur affectation à l'usage agricole permet de consacrer les eaux de meilleure qualité aux consommations domestiques ;
- Elle contribue à réduire les pollutions du milieu et de protéger l'environnement ;
- Les eaux usées traitée permettent, lorsqu'elles sont utilisées en irrigation, de réduire et même d'éliminer le recours aux engrais chimiques.

III-8-Inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées :

Les inconvénients sont principalement liés à l'adaptation aux usagers et aux obstacles psychologiques et culturels attachés à des eaux supposées dangereuses. Les principaux inconvénients liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture sont les suivants :

- Risque sanitaire lié à la présence de germes dans les eaux usées traitées aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur ;
- En raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut en résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui peut entraîner une chute de la production végétale et même une stérilité des sols par accumulation de sels ;
- L'apport en quantité importante des doses d'azote et de phosphore peut nuire à la production agricole et contribue à la pollution des nappes ;
- Le contrôle des eaux réutilisées doit être rigoureux et permanent. Il existe donc des moyens importants, techniques, et humains, ce qui est souvent difficile à obtenir dans les pays aride et semi-arides. Le contrôle indispensable est rendu encore plus délicat à assurer correctement en raison de la multiplicité des intervenants au niveau de la collecte, du traitement et surtout au niveau des utilisateurs ;
- Les sites d'utilisations doivent se trouver à proximité des stations d'épuration, c'est-à-dire dans les zones périurbaines peuplées.
- La réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposées sont de faibles rentabilités économiques.
- Les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions.

Conclusion :

La réutilisation des eaux usées est appelée à se développer, à se diversifier et à être socialement plus acceptée. Des efforts restent à faire dans de nombreux domaines afin de mieux maîtriser l'utilisation de ces eaux. Des systèmes de traitements fiables et économiques demandent à être développés. Les effets à long terme de la réutilisation des eaux usées et des opérations de recharge sont également à prendre en compte.

Ces dernières années, la demande en eau ne cesse de croître et vu de l'impossibilité de se contenter, exclusivement des eaux naturelles conventionnelles, le recours à l'eau usée épurée et traitée qui représente une ressource en eau importante, fiable et bien localisée devient une alternative attrayante et incontournable à plusieurs titres:

- Apport en eau ;
- Apport en éléments fertilisant ;
- Réduire la production et l'utilisation des engrais minéraux ;
- Protection du milieu récepteur ;
- Préserver les ressources naturelles conventionnelles pour les usages nobles ;
- Gains économique pour les agricultures et les producteurs.

I-Interprétation des résultats :

Dans ce chapitre, nous présentons la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées épurées et celle du lac, ainsi qu'identifier les paramètres physico-chimiques du sol étudié, et leurs impacts sur les paramètres morpho-physiologiques des espèces céréalières considérées et leurs discussions.

I-1-Analyses physico-chimiques des eaux utilisées :

Notre expérimentation consiste à présenter les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées épurées et celles du lac.

➤ Eau usée épurée :

Les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux usées brutes et traitées sont regroupés dans le tableau 11.

Tableau n°11 : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées épurées.

Paramètre	Eau d'entrée	Eau de sortie
Température (C°)	21,2	21
pH	7,23	7,35
CE (µS/cm)	1275	1205
Turbidité (FTU)	207	07
MES (mg/l)	233	05
Nitrite (mg/l)	0,037	0,005
Nitrate (mg/l)	0,04	1,4
Phosphate (mg/l)	1,04	0,33
DBO ₅ (mg/l)	458,72	29,28
DCO (mg/l)	390	19

I-1-1-Température :

Les valeurs de la température indiquent une légère diminution de l'entrée (21,2 °C) vers la sortie (21,00 °C) de notre station d'épuration (Boukhalifa) .

La valeur normale de la température selon les normes internationales de l'OMS pour une eau d'irrigation est inférieure à 30°C.

Dans notre cas, la température des eaux usées épurées prélevées au niveau de notre station est conforme aux normes.

I-1-2-pH :

Les valeurs du pH révèlent une légère augmentation de l'entrée (7,23) vers la sortie (7,35) de notre station.

Selon les normes internationales de l'OMS, la plage normale du pH pour une eau destinée à l'irrigation est de 6,5 à 8,5.

Dans notre cas, le pH de l'eau usée épurée prélevée au niveau de notre station est acceptable pour sa réutilisation en irrigation.

I-1-3-Conductivité électrique (CE) :

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au sein de notre station d'épuration varient de 1275 μ S/cm (entrée) à 1205 μ S/cm (sortie).

Il est possible de classer les eaux d'irrigation d'après la conductivité spécifique à 25°C (CE 25°C) :

Tableau n° 12 : Classification des eaux d'irrigation d'après la conductivité spécifique à 25°C (Rodier, 2005)

Conductivité spécifique à 25°C (CE 25°C)	Qualité de l'eau
CE 25°C \leq 250 μ S/cm	eau non saline.
250 $<$ CE 25°C \leq 750 μ S/cm	eau à salinité moyenne.
750 $<$ CE 25°C \leq 2250 μ S/cm	eau à forte salinité.
2250 $<$ CE 25°C \leq 5000 μ S/cm	eau à très forte salinité.
5000 $<$ CE 25°C \leq 20000 μ S/cm	eau à salinité excessive

Selon **Bremont et Vuichard (1973)**, la conductivité électrique est l'un des critères de choix pour juger l'aptitude d'une eau à usage agricole. En générale, jusqu'à 750 μ S/cm, l'eau est considérée comme étant de bonne qualité. De 750 à 1500 μ S/cm, l'influence de la composition ionique et celle de la nature du sel joue un rôle prépondérant dans le choix de l'eau d'irrigation. Au-delà de 1500 μ S/cm l'eau est difficilement utilisable pour l'irrigation.

Selon ces deux classifications, les eaux usées brutes (1275us/cm) et traitées (1205us/cm) sont considérées comme des eaux à forte salinité.

I-1-4- Turbidité :

Nos valeurs de la turbidité subissent une diminution importante de l'entrée (207 FTU) vers la sortie (07 FTU) de notre station d'épuration.

Vues les valeurs élevées de la turbidité obtenues à l'entrée de la station et leurs diminution après traitement (à la sortie), on peut évaluer que le traitement sur ce point de vu paraît très efficace. Car il ne reste pratiquement de la turbidité initiale que 3,38%.

D'après la valeur de la turbidité marquée à la sortie de notre station (07 FTU), la qualité de cette eau usée traitée est une eau légèrement trouble car $5 < \text{FTU} < 30$ (**IANOR, 2006**).

I-1-5- Matière en suspension (MES) :

L'analyse de MES révèle une diminution importante des valeurs de l'entrée (233 mg /l) vers la sortie (5 mg/l) de notre station d'épuration.

Le résultat obtenu au niveau de l'entrée de notre station est élevé car il s'agit d'eau usée urbaine, et sa diminution à la sortie est due au traitement d'épuration qu'a subie l'eau usée. Cette diminution est très importante car il ne reste que 2,14% de MES initiales ce qui donne encore une idée sur l'efficacité du traitement, surtout si on considère que les normes de MES pour le rejet des eaux traitées est 30mg/l selon (**OMS, 1989**).

I-1-6- Demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

Les valeurs de la DBO₅ enregistrées au sein de notre station d'épuration varient de 458,72 mg/l (l'entrée) à 29,28 mg/l (la sortie).

La valeur élevée de la DBO₅ à l'entrée de notre station est tout à fait compréhensible, car les eaux usées domestiques sont chargées en matières organiques biodégradables.

La valeur minimale enregistrée au niveau de la sortie de notre station d'épuration indique que le traitement biologique effectué sur l'eau usée est acceptable surtout si on considère que la norme exige une DBO₅ 30mg/l (**OMS, 1989**).

I-1-7- la DCO :

Les valeurs de la DCO enregistrées au sein de notre station d'épuration varient de 390 mg/l (l'entrée) à 19 mg/l (la sortie).

La valeur élevée de la DCO au niveau de l'entrée de la station due à la présence de tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau (sels minéraux et des composés organiques provenant des effluents contenant les résidus de multi-produits utilisés dans les différentes opérations de nettoyage).

La valeur minimale enregistrée au niveau de la sortie de notre station d'épuration indique que le traitement effectué sur l'eau usée est acceptable surtout si on considère que la norme exige une DCO 90mg/l (**OMS, 1989**).

I-1-8-Nitrites et nitrates :

Les valeurs enregistrées en nitrites pour notre station d'épuration sont de l'ordre de 0,037mg/l (l'entrée) et diminuent vers la sortie (0,005mg/l), et les valeurs de nitrates sont 0,04 mg/l (l'entrée) et augmentent vers la sortie (1,4 mg/l).

Selon **Ayers et Westcot (1989)**, nos teneurs en nitrite-nitrate des eaux usées brutes et traitées sont situées dans la gamme habituelle (0-10mg/l) des eaux destinées à l'irrigation.

La présence des nitrates dans l'eau usée à l'entrée de notre station d'épuration indique que le processus de nitrification est déjà présent, alors que l'augmentation des teneurs en nitrates vers la sortie de celle-là prouve que la nitrification est encore plus poussée au cours de l'épuration biologique où l'utilisation de bactéries nitrifiantes en grande masse (boues activée) à côté d'une oxygénation importante fait que les quantités d'azote ammoniacal sont transformées en azote nitrique (**Djeddi, 2007**).

En outre cette augmentation peut aussi s'expliquer par la prolifération des algues au niveau du bassin de finition.

I-1-9-Les phosphates :

La valeur la plus élevée des phosphates est celle de l'entrée de notre station d'épuration (1,04mg/l), qui s'abaissent vers la sortie (0,33mg/l).

Le phosphate échappe en grande partie au traitement des stations d'épurations biologiques, et la diminution des teneurs en phosphates de l'entrée de la station (1,04mg/l) vers la sortie (0,33 mg/l) est due à sa consommation par les bactéries au cours du processus d'épuration.

Dans les eaux usées, la part des rejets humains ne présente que 30 à 50% du phosphore totale (entre 5 et 20 mg/l), le reste provenant des produits de nettoyages (**Rodier, 1984**). Cela explique les teneurs élevées perçus dans les prélèvements sur l'eau usée.

Selon (Ayers et Westcot, 1989), les teneurs en phosphate des eaux usées brutes et traitées de notre station se situent dans la gamme habituelle (0-2mg/l) des eaux destinées à l'irrigation.

➤ **Eau du lac :**

Les résultats d'analyses physico chimiques de l'eau du lac sont regroupés dans le tableau 13.

Tableau n°13 : Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de lac.

Paramètre	Eau de lac
Température (C°)	25,7
pH	7,51
CE (µS/cm)	1377
turbidité (FTU)	14
MES (mg/l)	09
Nitrite (mg/l)	0,0049
Nitrate (mg/l)	3,52
Phosphate (mg/l)	0,2
DBO ₅ (mg/l)	18,8
DCO (mg/l)	7

Les différentes analyses effectuées sur l'eau de la retenue collinaire de l'ITMAS ont révélé que, ces eaux présentent les caractéristiques des eaux brutes naturelles très peu chargées et que les paramètres (pH, T°, turbidité, MES, Phosphates, nitrite, nitrate, DBO₅, DCO) se situent dans la gamme habituelle des eaux destinées à l'irrigation à l'exception de la CE qui est très élevée (1377µS/cm), selon la classification du tableau 12 et celle de **Bremont et Vuichard (1973)**, les eaux du lac sont considérées comme des eaux à forte salinité.

I-2-Analyses bactériologiques des eaux utilisées :

Les résultats d'analyses bactériologiques des eaux usées traitées et de l'eau du lac de l'ITMAS sont regroupés dans le tableau 14.

Tableau n°14: Les caractéristiques bactériologiques des eaux usées traitées et de l'eau du lac.

Paramètres	Eau usée épurée	Eau du lac
FMT*	240 UFC/100ml	239 UFC/100ml
CT**	240 UFC/100ml	86 UFC/100ml
SF***	absence	absence
Salmonelle	absence	absence
Vibron	présence	absence

* : Flore Mésophile Totale.

** : Coliformes totaux.

*** : Streptocoques fécaux.

Sur la base de données présentées dans le tableau 14, nous constatons que :

L'eau usée traitée présente des concentrations bactériennes très élevées. Cependant, 100ml d'eaux épurées contient plus de 240 UFC de la flore mésophile totale ainsi de coliformes totaux. Les tests effectués montrent l'absence des salmonelles et streptocoques fécaux et la présence des vibrions.

L'analyse bactériologique montre aussi que l'eau du lac est caractérisée par un nombre important de coliformes totaux (86UFC/100ml) et de la flore mésophile totale (239UFC/100ml). Par contre les streptocoques fécaux, salmonelles et vibrions sont absents.

I-3-Analyses physico-chimiques du sol :

Les résultats d'analyses physico-chimiques du sol de l'ITMAS de boukhalfa, sont représentés dans le tableau 15 :

Tableau n°15 : Résultats d'analyses physico-chimiques du sol.

Paramètres	Résultats	unités
pH	7,59	/
Conductivité	2,12	us/cm
Humidité	4,7	%
Calcaire total	1,70	%
Carbone organique	3,02	%
Phosphore assimilable	0,77	ppm
Potassium assimilable	47,40	meq /100g

I-3-1-Le pH :

La valeur du pH de notre sol est de l'ordre de 7,59.

D'après **Benseghir (1996)**, le substrat doit présenter un pH compris entre 5 et 8, en dehors de ces limites, le plant sera confronté à des problèmes de nutrition minérale.

Un pH élevé supérieur à 8, est également préjudiciable à la croissance d'un grand nombre de végétaux entraînant une mauvaise assimilation de certains éléments dont le magnésium et surtout le fer, avec comme conséquence les symptômes bien connus de la chlorose ferrique (**Foucard, 1994**).

Selon l'échelle d'interprétation du pH établie par **Duclos (1979)**, Notre sol est considéré comme alcalin (Tableau n°16), et donc présente une bonne assimilation des éléments nutritifs.

Tableau n°16 : Echelle d'interprétation du pH (Duclos, 1979).

Inférieur à 5,5	Fortement acide
De 5,5 à 6,5	Acide
De 6,5 à 6,8	Très légèrement acide
De 6,8 à 7,2	Voisin de la neutralité
De 7,2 à 7,5	Légèrement alcalin
De 7,5 à 8,5	Alcalin
Supérieur à 8,5	Fortement alcalin

I-3-2-La conductivité électrique (CE):

La conductivité électrique de notre sol est de 2,12 us/cm. Cette valeur est très élevée par rapport à la valeur indiquée dans le tableau 17.

Lorsque la concentration saline de la solution aqueuse d'un sol ou d'un substrat est trop élevée, les racines se développent mal et la croissance de la plante est ralentie, on aboutit même dans le cas grave, au dépérissement des plantes (**Djeddi, 2007**).

Tableau n°17 : Valeurs d'interprétation de la conductivité électrique (**Serge Gagnon, 1996**).

Conductivité (us/cm)	Interprétation
0 à 0,25	Très bas
0,26 à 0,75	Bas
0,76 à 1,25	Normal
1,26 à 1,75	Haut
1,76 à 2,25	Très haut
>2,25	Extrême

I-3-3-L'humidité hygroscopique :

Le taux d'humidité pour notre sol est de 4,7%. Beaucoup de chercheurs (**Ballerini, 1999 ; Margesin et Schinner, 2001 cité par Ould Rabah, 2012**) considèrent que la teneur en humidité est un facteur limitant important dans la biodégradation. **Ballerini (1999)** préconise un taux d'humidité aux alentours de 10%. Des taux d'humidité du sol inférieurs à 2% limitant la croissance microbienne et les vitesses de biodégradation. Donc, l'humidité de notre sol est faible en effet il n'y aura pas de bonne biodégradabilité.

I-3-4-Le carbone organique (la matière organique) :

On se référant au tableau 18, la teneur en MO (%) pour notre sol qui est de l'ordre de 3,02% correspond à un sol riche en matière organique (**Djeddi, 2007**).

La matière organique contribue et facilite l'obtention d'un état structural stable (**Morei, 1995 cité par Roula, 2005**) par conséquent, il y'aurait une meilleure porosité, une bonne perméabilité, une meilleure aération et un meilleur réchauffement du sol. Comme elle joue un rôle important dans la rétention d'eau, et sous l'action des microorganismes du sol, elle libère

les éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des plants (Bollag et al, 1998).

Tableau n°18 : Répartition des classes de la MO des sols (Anonyme, 2008).

Classe du sol	MO (%)
Très pauvre	<0,7
Pauvre	0,7-1,5
Moyennement pauvre	1,5-3
Riche	3-6
Très riche	>6

I-3-5-Le phosphore assimilable :

Les résultats de l'échantillon du sol étudié montrent qu'il est caractérisé par une faible concentration en phosphore assimilable P_2O_5 avec une moyenne de 0,77 ppm (Tableau 15). Ce qui nécessite une fertilisation phosphatée raisonnable (El Oumlouki et al, 2014).

Le phosphore est un des éléments majeurs indispensables à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la mise en place du système racinaire, la photosynthèse et la reproduction du végétal. Sa variation dépend des propriétés physico-chimiques du sol (Elalaoui, 2007).

Tableau n°19 : Classe d'appréciation pour le phosphore assimilable (Anonyme, 1974).

Niveau de fertilité	Terres pauvres	Terres moyennes	Terres riches
Phosphore assimilable (ppm)	<11,45	Entre 11,45 à 22,9	>22,9

I-3-6-Le potassium assimilable :

La valeur du potassium échangeable (K soluble + K adsorbé), déterminée au laboratoire après extraction à l'acétate d'ammonium, constitue une information importante puisqu'elle donne une estimation de la teneur du sol en potassium assimilable.

D'après le tableau 20, on déduit que la teneur du sol étudié est très élevée en potassium assimilable avec une valeur de 47,40meq/100g.

Tableau n°20 : Échelle d'appréciation du degré de richesse en K soluble (Mhiri, 2002).

Degrés de richesse	K soluble en mg/l (ppm)
Très faible	<2
Faible	2-4
Moyen	4-20
Elevé	20-40
Très élevé	>40

I-3-7-Le calcaire total :

En comparant la teneur en calcaire total du sol étudié (1,70%) aux normes d'interprétation citées dans le tableau 21, nous pouvons classer notre sol dans la classe des sols peu calcaire.

Tableau n°21 : Les normes d'appréciations du calcaire total du sol (Baize, 2000).

CaCO₃ %	<1	Non calcaire
	1 à 5	Peu calcaire
	5 à 25	Modérément calcaire
	25 à 50	Fortement calcaire
	50 à 80	Très fortement calcaire
	Plus de 80	Excessivement calcaire

I-3-8-Le calcaire actif :

Le calcaire actif est déterminé uniquement si le calcaire total est supérieur à 5%, et dans notre cas il est inférieur à cette valeur.

I-4-Analyse du comportement physiologique des espèces étudiées :

Afin de déterminer l'impact des différentes natures d'eaux utilisées (eau épurée, eau du lac et eau du robinet) sur le développement végétatif des céréales considérées, nous avons étudié quelques paramètres que nous avons jugé importants.

I-4-1- La hauteur des tiges :

Les résultats cités dans les tableaux 22, 23, 24 et 25 indiquent les hauteurs moyennes en cm des tiges des plants irrigués par les trois types d'eaux utilisées.

a-Avoine :

Tableau n°22 : Evolution de la croissance en hauteur de l’avoine en fonction du temps.

Jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELA	23,14	27,58	27,91	28,3	29,52
EPA	21,25	25,52	29,29	29,71	32,33
TA	21	24	28,58	30,5	33,5

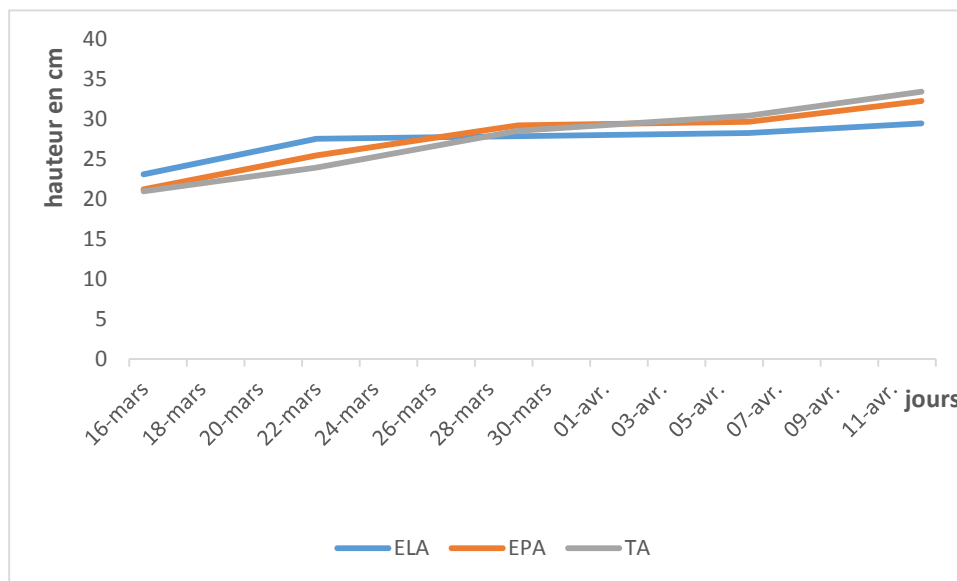


Figure n°13 : Variation de la hauteur de l’avoine en fonction du temps.

D’après la représentation graphique (figure 13), nous remarquons que les deux courbes (EPA et TA) suivent presque la même allure.

Nous constatons que la hauteur moyenne des tiges de l’avoine, irriguée avec les trois types d’eaux, augmente proportionnellement au temps.

Cependant, cette hauteur a atteint les valeurs maximales de l’ordre de 33,5cm pour l’eau du robinet, suivie par la valeur 32,33cm pour l’eau épurée.

Concernant la courbe (ELA), nous remarquons une augmentation de la hauteur des tiges des plants de l’avoine irriguée avec l’eau du lac durant la première semaine et qu’à partir de la deuxième semaine, elle marque une progression très lente jusqu’à atteindre la valeur de 29,52cm.

b- Blé tendre :

Tableau n°23 : Evolution de la croissance en hauteur du blé tendre en fonction du temps.

Jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELt	29,89	35,58	43,2	50,96	55,87
Ept	25,58	31,73	37,12	42,98	48,2
Tt	24,5	28,08	34,25	42,25	48,2

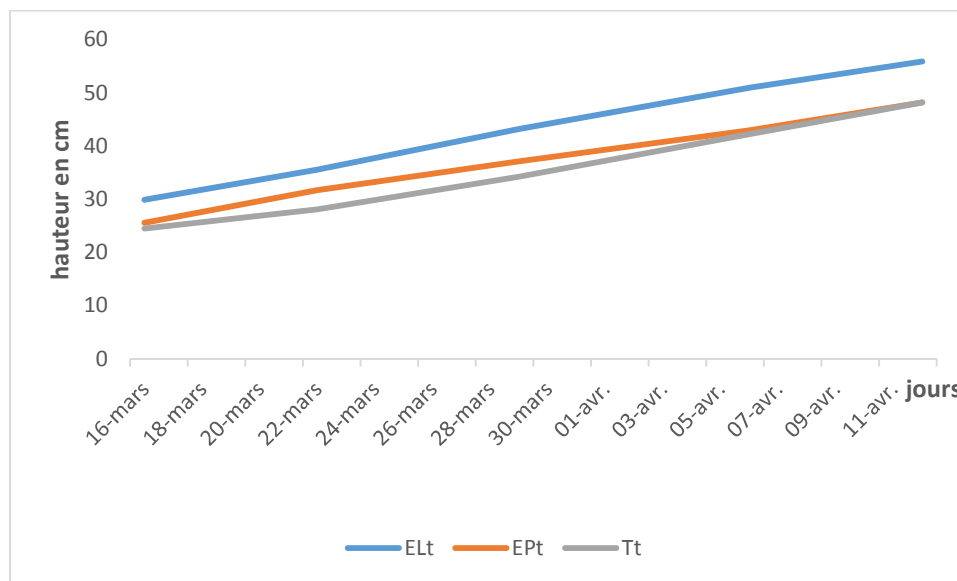


Figure n°14: Variation de la hauteur du blé tendre en fonction du temps.

Comme le montre la figure 14, nous remarquons que les trois courbes ont la même allure. Nous avons obtenu une longueur importante pour le blé tendre, irrigué avec l'eau du lac atteignant la valeur de 55,87cm.

En effet, une même longueur du blé tendre est enregistrée pour les plants irrigués soit avec l'eau épurée ou avec l'eau de robinet qui est de l'ordre de 48,2cm.

c- Blé dur :

Tableau n°24 : Evolution de la croissance en hauteur de blé dur en fonction du temps.

jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELD	25,62	29,93	36,91	41,18	55,5
EPD	19,97	25,73	29,27	37,58	46,56
TD	23	23,5	25,5	40,5	51,58

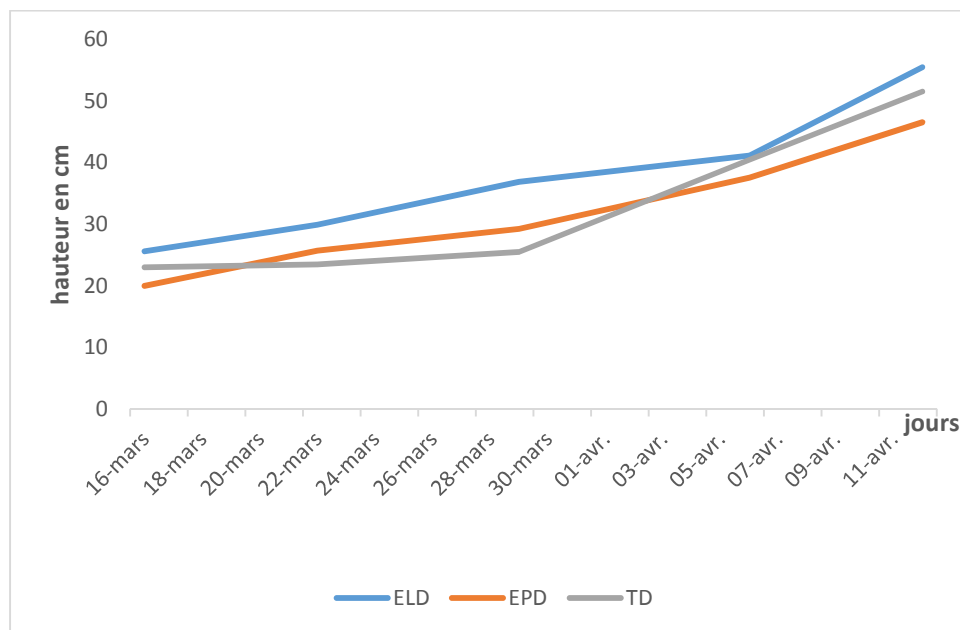


Figure n°15 : Variation de la hauteur pour l'espèce blé dur en fonction du temps.

Nous constatons d'après l'allure des courbes que l'évolution de la hauteur moyenne de cette espèce se confond presque avec l'utilisation des trois types d'eaux.

En effet, la figure 15 montre que la hauteur moyenne des plants irrigués avec l'eau du lac atteint une valeur de 55,5cm suivie par celle du témoin avec une valeur de 51,58cm et enfin 46,56cm pour l'eau épurée.

d- L'orge :

Tableau n°25 : Evolution de la croissance en hauteur de l'orge en fonction du temps.

jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELO	29,76	34,5	36	36,2	43,26
EPO	23,62	29,1	33,06	35,66	40,16
TO	33,66	37,08	38,52	39,83	49

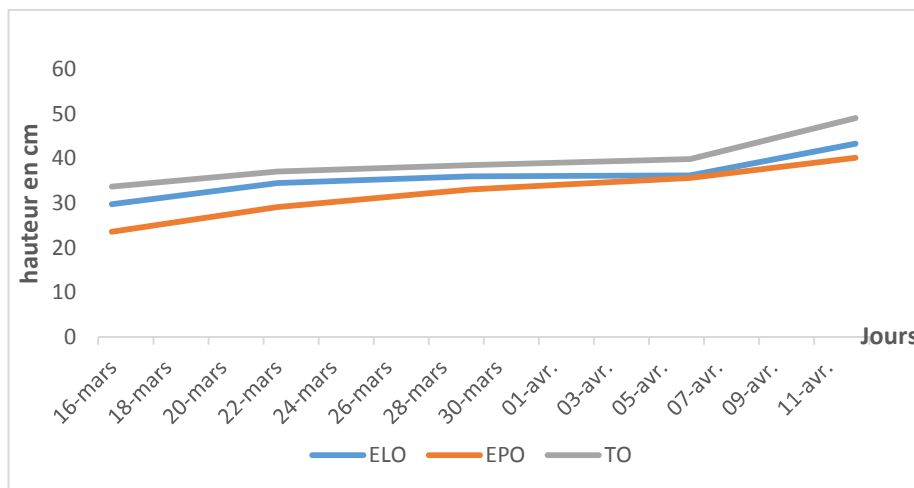


Figure n°16: Variation de la hauteur pour l'espèce orge en fonction du temps.

Concernant l'orge, la hauteur moyenne ne varie pas tellement avec l'irrigation par les trois types d'eau, elle est de 49cm pour les plants irrigués avec l'eau de robinet elle diminue un peu pour l'eau du lac (43,26cm), suivie de l'eau épurée avec 40,16cm.

I-4-1-1-Analyse de variance :

Afin d'estimer l'influence des eaux utilisées (eau épurée, eau du lac et eau du robinet) sur les hauteurs des tiges des plants, une étude statistique de la variance à deux facteurs de classifications a été établie.

Tableau n°26 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre hauteur des tiges.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4793,586	59	81,247				
VAR.FACTEUR 1	141,307	2	70,653	1,009	0,37402		
VAR.FACTEUR 2	1029,773	3	343,258	4,9	0,00485		
VAR.INTER F1*2	259,762	6	43,294	0,618	0,71662		
VAR.RESIDUELLE 1	3362,744	48	70,057			8,37	24,61%

Facteur 1 : représente les trois types d'eaux (EL, EP, ET).

Facteur 2 : représente les quatre espèces (A, Bt, BD, O).

Les résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs de classification, effectuée sur les hauteurs des tiges montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois eaux utilisées ($P = 0,37402$) ce qui explique que les caractéristiques des eaux utilisées restent similaires pour ce paramètre.

Par contre les résultats pour le facteur espèce nous montrent qu'il existe une différence très hautement significative ($P = 0,00485$) entre les quatre espèces utilisées, c'est pour cela un test de NEWMAN et KEULS a été effectué pour déterminer les groupes homogènes.

Tableau n°27 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	Bt	38,559	A	
4.0	O	35,961	A	
3.0	BD	34,169	A	
1.0	A	27,367		B

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% fait ressortir deux groupes : Le premier groupe A est dominant représenté par les trois espèces blé tendre, blé dur et orge qui évoluent de la même façon, et le deuxième groupe B représenté par l'avoine qui évoluent d'une façon différente, cependant, elle marque une lente progression au cours du temps .

I-4-2-Nombre de feuilles :

Les résultats cités dans les tableaux 28, 29, 30 et 31 représentent le nombre moyen des feuilles des plants irrigués avec les différents types d’eaux utilisées.

a-Avoine :

Tableau n°28: Evolution du nombre de feuilles de l’avoine en fonction du temps.

jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELA	1,99	3	3,28	3,46	3,75
EPA	2,16	3,16	3,2	3,33	3,62
TA	2,16	3,17	3,33	3,17	6,33

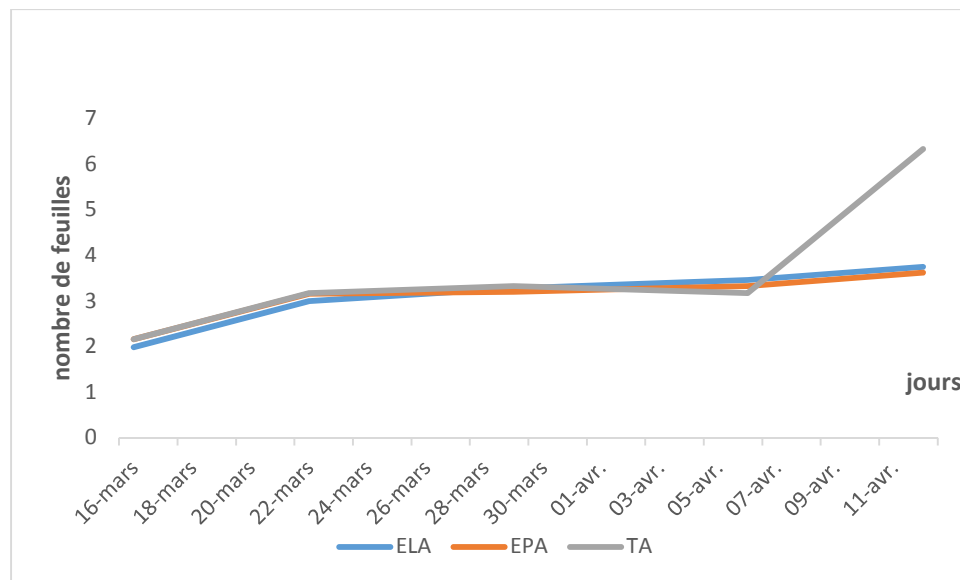
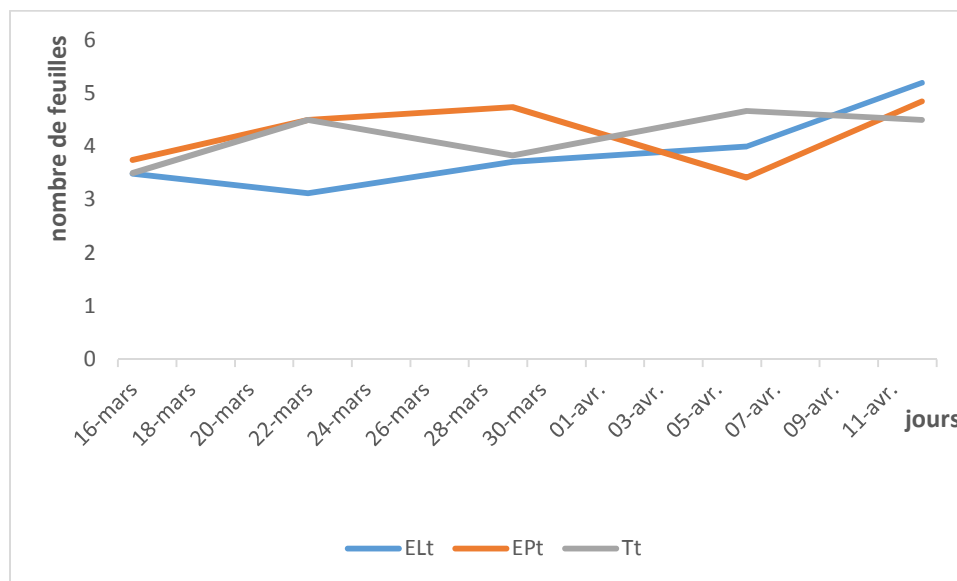


Figure n°17 : Variation de nombre de feuilles pour l’avoine en fonction du temps.

Nous constatons d’après l’allure des courbes que l’évolution du nombre moyen de feuilles de l’avoine se confond presque avec l’utilisation des trois types d’eaux jusqu’au bout de la quatrième semaine. Le nombre moyen de feuilles des plants irrigués avec l’eau du lac et l’eau épurée connaît une stabilisation (3,75 feuilles) contrairement à celui des plants irrigués avec l’eau de robinet qui connaît une augmentation du nombre moyen de feuilles d’une façon très marquée.

b-Blé tendre :**Tableau n°29** : Evolution de nombre de feuilles de blé tendre en fonction du temps.

Jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELt	3,49	3,12	3,71	4	5,2
EPt	3,75	4,5	4,74	3,42	4,85
Tt	3,5	4,5	3,83	4,67	4,5

**Figure n°18** : Variation du nombre de feuilles du blé tendre en fonction du temps.

Nous avons constaté d'après la figure 18, qu'à partir de la 1^{ère} semaine de culture, le nombre moyen des feuilles a atteint 4,5 feuilles pour les plants irrigués avec l'eau épurée ainsi que pour l'eau de robinet. Par contre, nous remarquons une régression du nombre de feuilles des plants irrigués avec l'eau du lac atteignant une valeur de l'ordre de 3,12 feuilles.

Pour la 2^{ème} phase allant du 22 au 30 mars, nous remarquons que le nombre moyen des feuilles a augmenté pour les plants irrigués avec l'eau du lac et l'eau épurée atteignant successivement les valeurs de 3,71 et 4,74. Par contre pour les plants irrigués avec l'eau du robinet, le nombre de feuilles baisse pour atteindre 3,83 feuilles.

Au bout de la 3^{ème} semaine, le nombre de feuilles augmente et atteint 4 pour les plants irrigués avec l'eau du lac et 4,67 pour l'eau témoin. Contrairement aux plants irrigués avec l'eau épurée, nous avons noté un ralentissement du nombre de feuilles qui est de l'ordre de 3,42 feuilles.

Il en ressort aussi que pendant la quatrième semaine, le nombre de feuilles du blé tendre atteint les valeurs maximales avec 5,2 feuilles pour l'eau du lac, 4,85 feuilles pour l'eau épurée, par contre pour l'eau de robinet, nous enregistrons une baisse du nombre de feuilles avec une valeur de 4,5 feuilles.

En effet, le nombre de feuilles pendant la période évolutive du blé tendre connaît des diminutions due au jaunissement et au dessèchement des feuilles.

c-Blé dur :

Tableau n°30 : Evolution de nombre de feuilles de blé dur en fonction du temps.

jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELD	4,66	5,62	6,58	6,29	5,66
EPD	3,41	4,42	4,25	5,5	5,83
TD	3,16	4,17	4,16	6,5	6,83

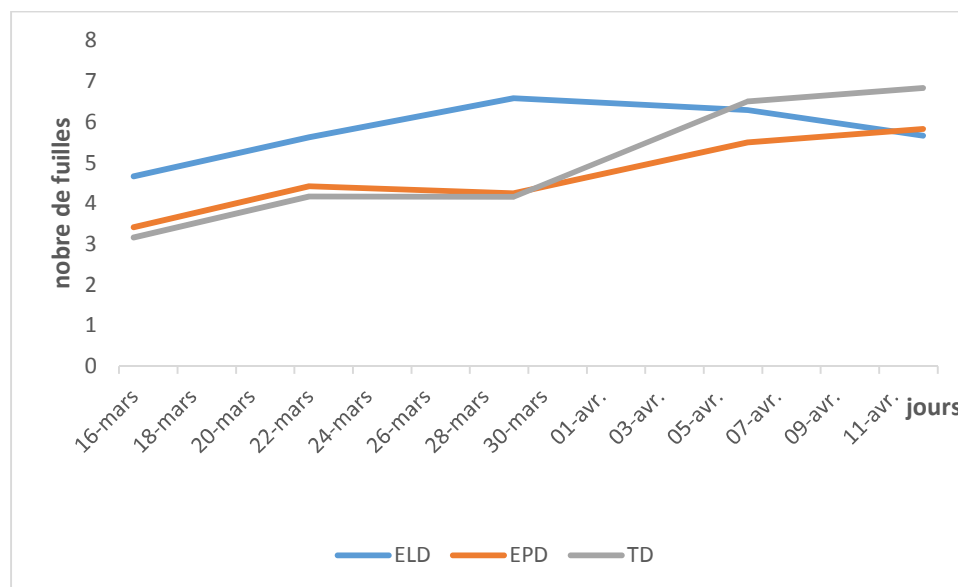


Figure n°19 : Variation de nombre de feuilles pour le blé dur en fonction du temps.

La figure 19 montre que le nombre de feuilles pour cette espèce est variable en fonction du temps et en fonction de type d'eau.

D'après l'allure des courbes, nous constatons que le nombre de feuilles des plants du blé dur irrigué avec l'eau du lac (apparu entre le 16 mars et le 29 mars) augmente et dépasse le nombre de feuilles enregistré pour les plants irrigués avec les deux autres types d'eaux , et qu'à partir de la troisième semaine, nous remarquons un ralentissement jusqu'à l'atteinte

d'une valeur minimale qui est de l'ordre de 5,66 feuilles, cela peut être due à la tombée des feuilles ou à leur jaunissement ou dessèchement.

Sous l'effet de l'irrigation avec les deux autres types d'eaux, le nombre moyen des feuilles augmentent progressivement en fonction du temps jusqu'à atteindre les valeurs maximales qui sont de l'ordre de 5,83 pour les plants irrigués avec l'eau épurée et de l'ordre de 6,83 pour ceux irrigués avec l'eau de robinet.

d-Orge :

Tableau n°31 : Evolution de nombre de feuilles de l'orge en fonction du temps

jours	16-mars	22-mars	29-mars	06-avr	12-avr
ELO	2,5	3,58	3,62	5	6,49
EPO	2,33	3,33	3,75	4,45	5,45
TO	2	3	4	5,33	6,83

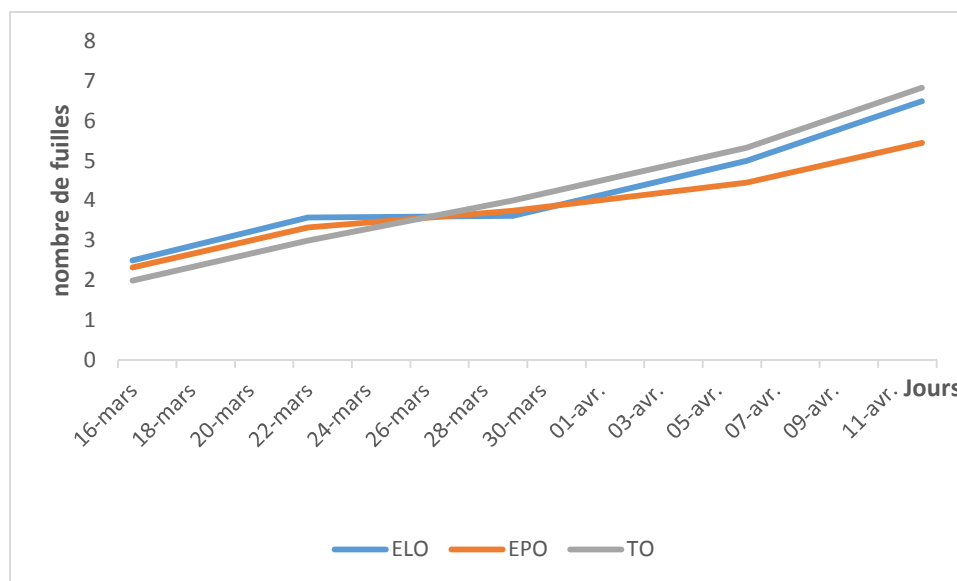


Figure n°20 : Variation de nombre de feuilles pour l'orge en fonction du temps.

D'après la figure 20, nous remarquons une augmentation proportionnelle du nombre de feuilles de l'orge atteignant des valeurs maximales de l'ordre de 6,83 pour l'eau de robinet, 6,49 pour l'eau du lac et 5,45 pour l'eau épurée.

Cependant, le nombre de feuilles des plants de cette espèce ne varie pas tellement selon les trois types d'eau.

I-4-2-1-Analyse de variance :

Afin d'estimer l'influence des eaux utilisées sur le nombre de feuilles des plants des quatre espèces, une étude de la variance à deux facteurs de classification a été réalisée.

Tableau n°32 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre nombre de feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	95,315	59	1,616				
VAR.FACTEUR 1	1,038	2	0,519	0,388	0,68574		
VAR.FACTEUR 2	26,195	3	8,732	6,525	0,00094		
VAR.INTER F1*2	3,854	6	0,642	0,48	0,82104		
VAR.RESIDUELLE 1	64,228	48	1,338			1,157	27,81%

Les résultats de l'analyse de la variance effectuée sur le nombre de feuille montrent qu'il n'y a pas de différence significative ($P = 0,68$) pour le facteur eau, ce qui explique que les caractéristiques des trois eaux utilisées restent similaires.

Par contre le résultat obtenu pour le facteur espèce nous montre une différence très hautement significative ($P = 0,00094$) entre les quatre espèces. C'est pour cela, un test de NEWMAN et KEULS a été effectué pour déterminer les groupes homogènes (tab 33).

Tableau n°33 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
3.0	BD	5,136	A
2.0	Bt	4,12	B
4.0	O	4,111	B
1.0	A	3,271	B

Le test NEWMAN et KEULS au seuil de 5% fait ressortir deux groupes : le premier groupe A représenté par le blé dur, et un deuxième groupe B dominant représenté par les trois espèces restantes. Cela explique la spécificité du développement du nombre de feuilles pour le blé dur, par contre les trois autres espèces présentent un nombre moyen de feuilles presque similaire.

I-4-3-Le volume racinaire :

Les résultats cités dans le tableau 34 indiquent la variation du volume moyen des racines en cm³ des plants irrigués par les trois types d’eaux utilisées.

Tableau n°34 : Variation des moyennes du volume racinaire des espèces considérées (avoine, blé tendre, blé dur et orge) en fonction des trois types d’eaux utilisées (eau épurée, eau du lac et eau du robinet).

Traitement	ELA	EPA	TA	ELt	EPt	Tt	ELD	EPD	TD	ELO	EPO	TO
Volume racinaire en (cm ³)	10	21,5	22	5	3	4	4	4,5	2	5,5	6	6

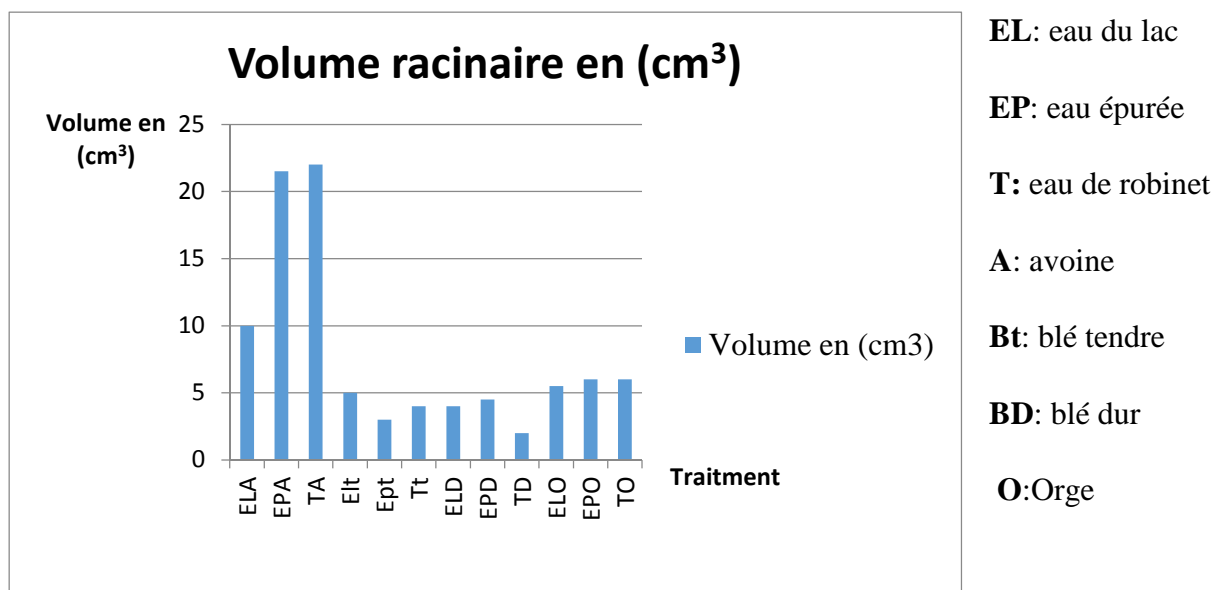


Figure n°21 : Variation des volumes moyens racinaires des espèces considérées en fonction des trois types d’eaux utilisées.

I-4-3-1-Analyse de variance:

Afin d’estimer l’influence des eaux utilisées sur le volume racinaire des plants des quatre espèces, une étude de la variance a été établie.

Tableau n°35 : Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre volume racinaire.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2129,917	47	45,317				
VAR.FACTEUR 1	1649,583	3	549,861	222,416	0		
VAR.FACTEUR 2	67,167	2	33,583	13,584	0,00005		
VAR.INTER F1*2	324,167	6	54,028	21,854	0		
VAR.RESIDUELLE 1	89	36	2,472			1,572	20,18%

Facteur 1 : espèce.

Facteur 2 : eau.

Les résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs de classification au seuil de 5%, effectuée sur le volume racinaire montrent qu'il y a une différence très hautement significative ($P = 0$) pour le facteur espèce.

Un test de comparaison des moyennes a été effectué pour déterminer les plus petites différences significatives.

Tableau n°36 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	A	17,833	A		
4.0	O	5,833		B	
2.0	BT	4			C
3.0	BD	3,5			C

Le test NEWMAN et KEULS au seuil de 5% fait ressortir trois groupes : le premier groupe A représenté par l'avoine, le deuxième groupe B représenté par l'orge, et le troisième groupe C représenté par le blé tendre et le blé dur, Cela explique la spécificité du développement racinaire de chacune des espèces avoine (qui présente un plus grand volume racinaire) et orge, par contre le blé dur et le blé tendre ayant les mêmes caractéristiques concernant la variable étudiée.

Concernant le résultat obtenu pour le facteur eau, nous constatons une différence très hautement significative ($P=0,00005$) entre les trois types d'eaux utilisées.

Un test de comparaison des moyennes a été effectué pour déterminer les plus petites différences significatives.

Tableau n°37 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	EP	8,75	A	
3.0	ET	8,5	A	
1.0	EL	6,125		B

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% fait ressortir deux groupes : le premier groupe A représenté par l'eau épurée et l'eau du robinet et un deuxième groupe B représenté par l'eau du lac.

I-4-4- Poids des graines :

Le tableau 38 indique la répartition du poids moyen des graines des plants irrigués par les trois types d'eaux utilisées.

Tableau n°38 : Poids moyen des graines en fonction des eaux d'irrigation.

Traitement	ELt	EPt	Tt	ELD	EPD	TD	ELO	EPO	TO
Poids en (g)	8,72	9,4	7	8,67	8,82	5,2	6,3	8,5	9,2
Poids en (Q/ha)	5,81	6,7	4,7	5,78	5,88	3,47	4,2	5,67	6,13

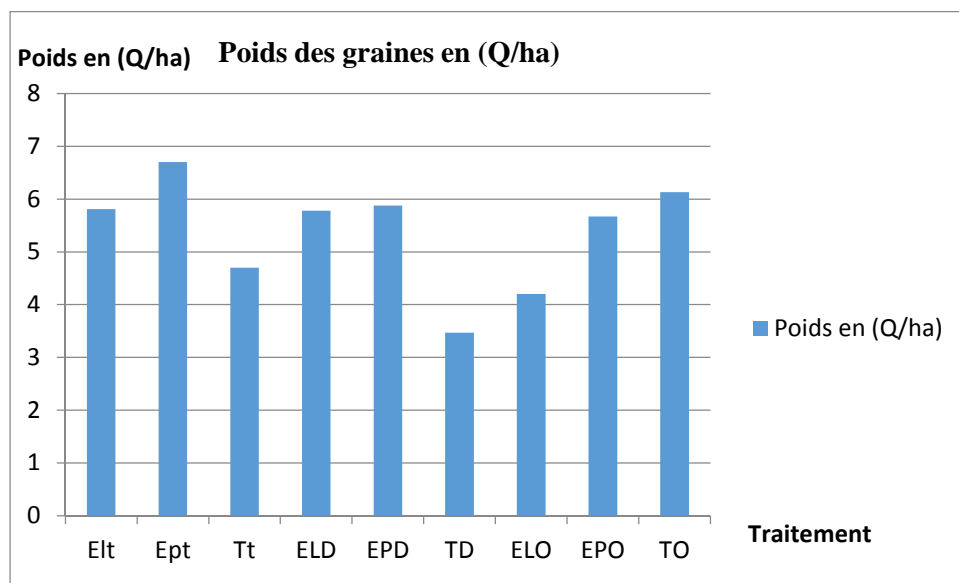


Figure n°22 : Variation du poids moyens des graines en fonction des traitements appliqués.

D'après la figure 22, nous remarquons qu'une meilleure production se situe au niveau des plants du blé tendre irrigués par l'eau épurée avec 9,4g soit 6,7Q/ha.

Par contre la faible production est enregistrée pour le blé dur irrigué par l'eau du robinet avec une valeur de l'ordre de 5,2g soit 3,47Q/ha.

I-4-4-1-Analyse de la variance:**Tableau n°39 :** Résultats de l'analyse de variance pour le paramètre pesée des graines.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	170,732	35	4,878				
VAR.FACTEUR 1	7,994	2	3,997	1,004	0,3814		
VAR.FACTEUR 2	37,536	2	18,768	4,715	0,0173		
VAR.INTER F1*2	17,738	4	4,434	1,114	0,37076		
VAR.RESIDUELLE 1	107,465	27	3,98			1,995	25,82%

L'analyse de la variance pour la variable poids des graines montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois espèces considérées ($P=0,38$).

Par contre pour le facteur eau, la différence est hautement significative ($P=0,017$) entre les trois types d'eaux utilisées.

Tableau n°40 : Résultats du test NEWMAN et KEULS.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	EP	8,883	A	
1.0	EL	7,9	A	B
3.0	T	6,4		B

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification 5% classe le facteur eau en trois groupes homogènes:

- Un groupe A renferme l'eau épurée.
- Un groupe intermédiaire AB correspond à l'irrigation avec l'eau du lac.
- Un autre groupe B diffère de A correspond à l'eau de robinet.

Nous constatons que le meilleur rendement est enregistré pour l'eau épurée avec une moyenne de 8,88g, cela peut être expliqué par la richesse de cette eau traitée en éléments fertilisants. Suivie de l'eau du lac avec une moyenne de 7,9g et enfin l'eau de robinet avec un rendement plus faible.

II-Discussion:

Afin de montrer la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'irrigation utilisées (eau épurée, eau du lac et eau de robinet), on a opté à la comparaison de nos résultats à la réglementation de l'OMS.

L'analyse physicochimique des eaux usées épurées et de l'eau du lac, obtenue au niveau du laboratoire de la STEP (Est) de la ville de Tizi-Ouzou (Pont de bougie) montrait que les valeurs enregistrées pour les paramètres étudiés sont conformes aux normes de l'OMS, sauf pour la « conductivité électrique » qui a été supérieur à la norme pendant la période de notre étude. Ces valeurs de conductivité électrique élevées traduisent selon (**Gaujous, 1995**), une minéralisation importante et indiquent ainsi une certaine richesse en sels, ce qui expliquerait le faible rendement et le mauvais développement des tiges situé au niveau de nos cultures (l'effet du sel sur les grandes cultures).

L'analyse bactériologique des eaux utilisées, obtenue au niveau du laboratoire de microbiologie de la faculté des sciences biologiques et agronomiques de l'UMMTO montrait la présence de la flore mésophile totale et les coliformes totaux avec des quantités considérables dans les deux types d'eaux utilisées. Les vibrions sont présents dans les eaux épurées et absents dans l'eau du lac et on note enfin une absence totale des streptocoques fécaux ainsi que les salmonelles dans les deux types d'eaux.

La flore mésophile totale est utilisée comme un indicateur de pollution globale.

Le nombre important de la flore mésophile dans les eaux épurées et l'eau du lac indique la présence de germes pathogènes, ce qui explique que l'eau du lac est mélangée aux eaux usées.

Cependant le dénombrement de ces germes nous donne une idée sur la charge en micro-organismes dans les eaux usées traitées et dans l'eau du lac, il est également utilisé comme indicateur d'efficacité de traitement biologique pour les eaux usées (**Fagrouch et al, 2010**).

Les coliformes totaux sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau, ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale (**Archibald, 2000**).

La présence de coliformes totaux dans l'eau traitée et l'eau du lac n'implique pas nécessairement un risque pour la santé publique. En effet, la plupart des espèces de ce groupe se trouvent naturellement dans le sol ou dans la végétation (**Edberg et al, 2000**).

Les résultats de la recherche et du dénombrement des streptocoques indiquent leurs absences dans l'eau épurée ainsi que dans l'eau du lac.

Les streptocoques sont susceptibles de contaminer les eaux, ils sont typiques des déjections animales. Ils peuvent parfois être présents chez l'homme ou sur les végétaux (**Bitton, 1999**).

La recherche des salmonelles a une importance particulière, leur présence dans l'environnement hydrique est signe de contamination fécale. Les résultats obtenus ne montrent aucun cas positif. L'élimination de ces bactéries dans les eaux usées épurées peut être due au traitement secondaire biologique au niveau de la STEP.

La recherche des germes pathogènes a révélé la présence des vibrions dans les eaux usées épurées et leur absence dans l'eau du lac. Ces résultats ne correspondent pas aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures (**OMS, 1989**).

Les résultats obtenus peuvent s'expliquer d'une part par le fait que le traitement biologique utilisé dans la STEP favorise la croissance bactérienne pour dégrader la pollution carbonée ou azotée et d'autre part par l'absence d'un traitement de désinfection qui sert à la destruction des germes pathogènes. De plus, l'eau usée est considérée comme le milieu optimal pour la prolifération microbienne.

Il est important de signaler cependant que nous n'avons pu réaliser qu'une seule analyse de ce paramètre de pollution ; il est donc difficile de juger de la fiabilité du nombre trouvé pour se prononcer de manière scientifique sur la possibilité de réutilisation de ces eaux en irrigation.

Les résultats obtenus au laboratoire concernant les caractéristiques physico-chimiques de notre sol, ont permis d'établir qu'il s'agit d'un sol à pH alcalin, riche en matière organique, peu calcaire et faible en phosphore assimilable.

S'agissant du potassium assimilable et de la conductivité électrique, il est à noter que les valeurs dans notre sol sont très élevées.

Pour le paramètre hauteur des tiges, l'analyse statistique a montré que la différence entre les trois traitements utilisés est non significative. Par contre, la comparaison entre les hauteurs des tiges des quatre graminées montre une différence très hautement significative, cependant, le blé dur, blé tendre et l'orge ont presque une même croissance au cours du cycle végétatif contrairement à l'avoine. En fait, l'avoine a été la variété la plus sensible au stress de la salinité. Le sel entraîne une diminution de la turgescence, qui provoque le retard de la croissance (**El Youssfi, 2013**).

Les conditions dont nous avons conservé les eaux d'irrigation (dans le fût et la citerne), pourraient engendrer une modification de leur composition influençant le développement des plants.

L'analyse de la variance effectuée sur le nombre de feuilles montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois eaux utilisées. Par contre pour le facteur espèce, la différence est très hautement significative. Cependant, le blé dur présente un nombre de feuilles différent (avec une moyenne de 5,13 feuilles) par rapport aux trois autres espèces qui présentent des valeurs presque similaires.

En effet, la tombée des feuilles a une part dans la diminution du nombre des feuilles qui est peut-être due :

- Soit aux carences de certains éléments nutritifs nécessaires au maintien des feuilles.
- Soit à la salinité du sol ou de l'eau d'irrigation, qui pourrait avoir une influence directe sur le jaunissement des feuilles.

Concernant le paramètre «volume racinaire», les résultats de l'ANOVA montrent une différence très hautement significative pour les deux facteurs étudiés (eau et espèce).

Pour bien déterminer le rendement des céréales, nous avons eu recours au calcul du poids des graines en (g), puis extrapolé en (Qx/ha). Dans notre essai, les résultats révèlent une augmentation apparente en poids des graines entre les différentes eaux utilisées :

Une meilleure production se situe au niveau des plants du blé tendre irrigués par l'eau épurée avec 9,4g soit 6,7Q/ha.

Par contre la faible production est enregistrée pour le blé dur irrigué par l'eau de robinet avec une valeur de l'ordre de 5,2g soit 3,47Q/ha.

En effet, l'excès en potassium dans notre sol réduit l'efficacité des autres éléments et provoque des nécroses au niveau de la racine et une faible croissance et par conséquent diminue les rendements des récoltes (**Ramdani, 2007**).

De même l'insuffisance en phosphore dans notre sol réduit l'efficacité d'autres éléments et par la suite le rendement (**Leibig, 1990 cité par Ramdani, 2007**).

L'eau usée traitée collectée à la sortie des stations d'épuration représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture.

L'objectif de notre étude vise à valoriser les eaux usées épurées de la STEP de boukhalfa en agriculture, en effet, on a eu recours à suivre la qualité physicochimique et bactériologique de ces eaux afin de les caractérisées pour une éventuelle réutilisation en irrigation.

A la lumière des résultats d'analyses physicochimiques des eaux usées traitées par la station d'épuration de Boukhalfa, les valeurs enregistrées pour certains paramètres étudiés (T°C, pH, turbidité, MES, la DBO₅, la DCO, nitrates, nitrites et les ortho phosphates) sont généralement conformes aux normes internationales fixées par l'OMS. Au terme d'évaluation du degré de la pollution physico-chimique, nous avons constaté qu'en particulier la conductivité électrique dépasse les normes admissibles ce qui prouve l'existence d'une pollution organique. Celle-ci provient des rejets domestiques et industriels de la ville de TIZI-OUZOU. Elle est plus accentuée pendant les périodes de faible débit lorsque l'eau devient un facteur limitant pour toutes les activités agricoles.

Par ailleurs, les teneurs en particulier les nitrates, semblent augmenter à la sortie de la STEP. Cette augmentation serait causée par la prolifération des algues.

Les analyses microbiologiques des eaux effectuées au cours de notre expérimentation ont montré la présence de germes pathogènes (la flore mésophile totale, coliformes totaux et vibrion) dans les eaux épurées par la station d'épuration de boukhalfa. Le nombre des coliformes totaux ne dépasse pas la norme fixée par l'OMS (1000CT/100ml).

La présence des vibrions ne correspond pas aux normes de l'OMS qui exige une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation.

Le nombre important de la flore mésophile totale peut indiquer la présence de germes pathogènes.

La comparaison de la qualité physicochimique et microbiologique de ces eaux avec les normes de l'OMS a montré l'aptitude de celles-ci à l'irrigation sans impacts négatifs majeurs sur l'environnement à condition que les cultures pratiquées ne soient pas destinées à être consommées crues.

Au cours de cette expérimentation, nous avons étudié quelques paramètres qui sont :

- ✓ La hauteur de la tige principale.
- ✓ Le nombre de feuilles.

- ✓ Volume racinaire.
- ✓ Rendement (poids des graines).

A cet effet, l'approche statistique rapporte :

- Une différence non significative de l'évolution de la hauteur et du nombre de feuilles des plants irrigués avec les trois types d'eaux utilisées.
- Une différence très hautement significative du volume racinaire des plants entre l'irrigation de l'eau épurée avec une moyenne de $8,75\text{cm}^3$, ensuite par l'eau témoin avec une moyenne de $8,5\text{cm}^3$ et enfin par l'eau du lac avec une moyenne un peu faible de l'ordre de $6,12\text{cm}^3$.
- En ce qui concerne le rendement, les résultats obtenus par l'ANOVA montrent une différence hautement significative entre les trois eaux utilisées.

Cependant, nous remarquons une moyenne importante du rendement des plants irrigués par l'eau épurée avec une valeur de 8,9g, puis une moyenne moins importante du rendement de ceux irrigués par l'eau du lac avec une valeur de 7,9g et enfin le témoin avec 6,4g.

L'Algérie est classée dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la banque mondiale à 1000 m³/habitant/an. La forte croissance démographique, l'urbanisation massive et le développement des activités industrielles ont généré une production importante d'eaux usées qui peuvent constituer une ressource en eau non négligeable suite à son recyclage.

L'aspect réglementaire du projet de réutilisation des eaux épurées n'a en effet pas pu évoluer, d'une part, à cause de la qualité physico-chimique de l'eau, notamment pour ce qui concerne sa conductivité électrique jugée trop élevée, et d'autre part à cause du retard institutionnel accusé au niveau de l'élaboration de l'arrêté interministériel fixant la liste des laboratoires habilités à effectuer les analyses de qualité des eaux usées épurées pouvant être utilisées à des fins d'irrigation.

Ces résultats nous amènent à proposer certaines recommandations dans le cadre de la réutilisation de cette eau usée épurée à toutes fins agricoles tenant compte de sa qualité physico-chimique, notamment :

- ✚ La conductivité électrique (CE), qui est remédiable soit par l'ajout d'une autre eau à l'eau usée épurée afin de minimiser sa concentration en sels solubles, soit par le choix des cultures supportant la salinité.
- ✚ Les matières en suspension (MES), qui engendrent le colmatage du réseau d'irrigation, nécessitent un traitement tertiaire.
- ✚ Mettre un plan de suivi des taux de salinité, concentrations des nitrates, phosphates et métaux lourds pour préserver la nappe et le sol contre la pollution;
- ✚ Priorité aux plantes pérennes.
- ✚ La majorité des rejets d'eaux épurées aux niveaux des stations d'épurations se fait lors du traitement secondaire. Un traitement tertiaire est exigé aux niveaux de ces stations avant leurs rejets dans le milieu naturel.
- ✚ Les eaux usées épurées doivent subir d'autres analyses physico-chimiques et bactériologiques et mêmes toxicologiques avant leur réutilisation dans le domaine agricole étant donné que les plantes sont des bio accumulateurs.
- ✚ Le respect strict des recommandations de la loi régissant la réutilisation des eaux usées épurées.
- ✚ Il est préférable de recommander l'utilisation des eaux usées épurées pour le nettoyage des voies publiques, extinction des incendies, l'arrosage des jardins où le risque sanitaire pour l'Homme est moindre.

Références bibliographiques

- **Achat H et Nait Sidnas S.,** (2002). Contribution à la caractérisation des effluents traités de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Mémoire d'ingénieur d'Etat en Agronomie. 95p.
- **Archibald F.,** (2000). The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems. *Water Quality Research Journal of Canada* 35 (1). 1-22p.
- **Asano T.,** (1998). Waste water reclamation and reuse. *Water quality management library*, 1475p.
- **Ayers R et Westcot D.,** (1989). Water quality for agriculture, bulletin FAO d'irrigation et de drainage, No.29, Food and Agriculture Organization of the United Nation, S Rome, 174p.
- **Bahri D., Sterckeman T.,** (2002). Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *The science of the total environment* 264 (1-2). 127-139p.
- **Baize D.,** (2000). Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} édition, revue et augmentée. Ed INRA, Paris, France. 257p.
- **Ballerini D.,** (1999). Traitements biologiques des sols. *Technique de l'ingénieur*. vol G2.
- **Baumont S., Camard J., Lefranc A., Franconi A.,** (2004). Réutilisation des eaux usées : risques sanitaire et faisabilité en Ile-de-France, Rapport ORS, 220p.
- **Bedouh Y.,** (2014). Evaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium Cepa », thèse de doctorat, université Badji Mokhtar – Annaba, 128p.
- **Benabdeli K.,** (2005). 50 connaissances pour préserver l'environnement. *Organisation de recherche pour préserver l'environnement*, 51p.
- **Bensaid S.,** (2013). Etude d'une extension de la station d'épuration de la ville d'Azefoun à l'horizon 2043, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, UMMTO. 74p.
- **Benseghir L.A.,** (1996). Amélioration des techniques de production hors sol du chêne liège conteneur -substrats- nutrition minérale. Master en sciences forestières CEMA GREF (Aix en provenance), 26p.
- **Berne F et Coordonier T.,** (1991). Traitement des eaux usées : épuration des eaux résiduaires de raffinage. Paris. 246p.

Références bibliographiques

- **Bitton G.**, (1999). Waste water microbiology. USA, 578p.
- **Bolag.**, (1998). Interaction entre les minéraux des sols, les composés organiques et les microorganismes. Ed. Scientifique, Registre n°404.
- **Boumaiza M et Madouni O.**, (2007)., Etude d'un avant-projet détaillé (APD) en vue de la réalisation d'une station d'épuration des eaux usées pour la ville d'Azzazga, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, UMMTO. 79p.
- **Bourrier R.**, (2008)., Les réseaux d'assainissements, 5^{ème} éd, TEC et DOC, Lavoisier.
- **Bouziani M.**, (2000)., L'eau de la pénurie aux maladies, éd, IBN-KHALDOUN. 250p.
- **Bremont et Vuichard.**, (1973). Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 7^{ème} ed, 1365p.
- **Cauchi, Hyvrard., Nakache., Schwartzbord., Zagury., Baron., Carre., Coutois., Dernat, Larbaigt., Dernagere., Martigne., Seguret.**, (1996)., Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Technique, Science et Méthodes, 2 :81-118p.
- **Coulibaly M.**, (2010). Contribution à l'analyse des eaux usées urbaines de la nouvelle station d'épuration est de Tizi-Ouzou, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en biologie, UMMTO. 72p.
- **Degrement S.**, (2005). Mémento technique de l'eau, Tom I et Tom II, éd Degrement 10^{ème} éd Française, Paris.587p.
- **Desjardins R.**, (1997). Le traitement des eaux. 2^{ème} edition.ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303p.
- **Djeddi H.**, (2007). Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestière urbaines. Thèse de magistère, université Mentouri – constantine, 144p.
- **Duclos G.**, (1979). Analyses de terres de plains champs en régions méditerranéennes. Revue « Eau et aménagement de la région provençale » n°28. Ed. SCP, 17-31p.
- **Duguet J-P., Bernzeau F., Cleret D., Gald A., Laplanche A., Moles J., Montiel A., Riou G., Simon P.**, (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine, 1^{ère} éd, ASTE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement).
- **Ecrosse D.**, (2001).Technique alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde : Qualité et gestion de l'eau. Amien : faculté des sciences, 62p.
- **Eddabra R.**, (2011). Evaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des STEP du grand Agadir, Thèse en Cotutelle présentée pour obtenir le grade de Docteur, Université de STRASBOURG. 107p.

Références bibliographiques

- **Edberg S., Rice E., Karlin R., Allen M.,** (2000). Escherichia coli: The best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of applied microbiology 88, 106-116p.
- **Edline F.,** (1996). L'épuration physico-chimique des eaux. 3^{ème} édition. ed. CEBEDOC, Paris, 283p.
- **Elalaoui A.,** (2007). Fertilisation minérale des cultures. Les éléments fertilisants majeurs (Azote, potassium, phosphore). Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTA.
- **El Oumlouki K ; Moussadek R ; Zouahri A ; Dakak H ; Chati M ; El Amrani M.,** (2014). Etude de la qualité physicochimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (cas de périmètre Issen), Maroc. Institut National de la recherche CRRAR, Département de l'environnement et de la conservation des ressources naturelles. Rabat-Maroc.2370-2373p.
- **El Youssfi L.,** (2013). Durabilité d'un système de culture non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir. Thèse de doctorat en environnement. Université Ibn Zohir. 163p.
- **Faby J et Brissaud F.,** (1997)., L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office international de de l'eau, 76p.
- **Fagrouch A., Amyay S., Barrachou A., El Halwani H., Abdelmoumen H.,** (2010). Performances d'abattement des germes pathogènes en lagunage naturel sous climat aride : cas de la filière de traitement des eaux usées de la ville de Taourirt. Afrique Science 6 (3), 87 – 102p.
- **Feillet P.,** (2000). Le grain de blé: Composition, utilisation. Ed, INRA, Paris. 308p.
- **Foucard J.,** (1994)., Filière pépinière de la production et de la plantation. Technique et documentation. Ed, Lavoisier, Paris, 428p.
- **Gaid A.,** (1993). Epuration biologique des eaux usées urbaines, mise à jour de J.SIBONY et BIGOT, Paris.
- **Gaujous D.,** (1995). La pollution des milieux aquatiques ; aide-mémoire. Ed. Technique et documentations. Lavoisier. Paris. 220p.
- **Gilbert C.,** (1998). Hydrogéologie : principes et méthodes, éd, Dunod, Paris, 236p.
- **Haddadi S et Hamlat O.,** (2002). Amélioration des performances par simulation au laboratoire, Thèse d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, UMMTO. 95p.

Références bibliographiques

- **Haddoum N., Hamad K., Hamadache H.**, (2013). Essai de la réutilisation des eaux usées épurées dans les cultures maraîchères : Cas du haricot nain (*Phaseolus Vulgaris* .L), Mémoire d'ingénieur d'état en sciences biologiques, UMMTO, 111p.
- **Iddir F et Lafdal S.**, (2009). Etude de la possibilité d'exploitation des eaux usées traitées de la station d'épuration de pont de bougie en irrigation, Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie, UMMTO. 71p.
- **Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., Alday Ansola J.**, (2003). L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyse d'exemples mondiaux. *Techniques, Sciences et méthodes*, 9 : 64-85p.
- **Loumi F et Yefsah K.**, (2010). Valorisation des eaux usées traitées en irrigation : Cas de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou, Mémoire d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, UMMTO, 134p.
- **Lounis F.**,(2005). Conception de la station d'épuration de la ville de Bouira, Thèse d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, UMMTO. 140p .
- **Mara D et Cairncross S.**, (1991). Guide pour l'utilisation sans risque des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture. Genève : Organisation Mondial de la Santé, 212p.
- **Manseur F.**, (2009). Contribution à l'étude de la réalisation d'une station d'épuration des eaux usées Freha-Azzazga, Mémoire de fin d'études en sciences agronomiques, UMMTO, 135p.
- **Mansouri F.**, (2012)., Contribution à l'étude d'extension de la station d'épuration Ouest Tizi-Ouzou (Boukhalfa), Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie, UMMTO, 77p.
- **Metahri M.S.**, (2002). Caractérisation de l'état de pollution et modélisation du pouvoir auto épurateur du SEBAOU par la méthode du bilan d'oxygène et évolution de la pollution par les nitrates. Thèse de Magister. UMMTO.103p.
- **Metahri M.S.**, (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, Thèse de Doctorat en Agronomie, UMMTO. 138p.
- **Mhiri A.**, (2002). Le Potassium dans les sols de Tunisie. Institut National Agronomique de Tunisie.
- **Nebil B.**, (2010). Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hadeb Sfax. Thèse de doctorat, université de limoge, 188p.

Références bibliographiques

- **Ould Rabah N.**, (2012). Essai de phytoremédiation des sols contaminés par les hydrocarbures. Magister en chimie de l'environnement. UMMTO. 115p.
- **Pesson P.**, (1976). La pollution des eaux continentales : incidence sur les biocénoses aquatiques, éd Gauthier-Villars, Paris, 285p.
- **Rabia D.**, (2012). Etude d'une extension de la station d'épuration de la ville de Tizirt, Thèse d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, UMMTO. 64p.
- **Ramdani N.**, (2007). Contribution à l'étude des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées résiduaires. Effet sur la fertilité d'un sol sableux. Thèse de Magister en science de l'environnement et climatologie. Université d'Oran. 109p.
- **Rejsek F.**, (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques, Ed Centre Régional de Documentation pédagogique d'Aquitaine, Paris.
- **Rodier J.**, (1984). Analyse de l'eau : Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 7^{ème} Edition. Dunod Bordas. Paris, 1365p.
- **Rodier J.**, (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Dunod. Paris, 1383p.
- **Rodier J ; Legube B ; Merlet N ; Brunet R ; Mialocq JC ; Leroy P ; Houssin M ; Lavison G ; Bechemin C ; Vincent M ; Rebouillon P ; Moullin L ; Chomodé P ; Dujardin P ; Gosselin S ; Seux R ; Almardini F.**, (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. Dunod. France. 1511p.
- **Roula S.**, (2005). Caractérisation physicochimique et valorisation des boues résiduaires urbaines pour la confection de substrats de culture en pépinière hors-sol. Magister en sciences agronomiques. Université Colonel El Hadj Lakhdar Batna, 115p.
- **Serge Gagnon M.SC.**, (1996). Des méthodes faciles pour mesurer le pH et la conductivité électrique. Agr. Plant- Prod Québec. P 9-10.
- **Talbi C et Khelfa G.**, (2010)., Contribution à l'étude de la protection de la cuvette de barrage Taksept , Dimensionnement et mise en place de système d'épuration : Cas de sous bassin versant de ouasif, Thèse d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, UMMTO. 79p.
- **Valiron F.**, (1983). La réutilisation des eaux usées. Paris : Edition du B.R.G.M, 207p.
- **Autres Références :**
- **FAO.**, (1992). Waste water reclamation and reuse. Water treatment and use in agriculture. Bulletin FAO irrigation de drainage n° 47. Rome.
- **FAO.**, (2002). The use of treated waste water (TWW) in forest plantations in the near east region near east forestry commission, 5p.

Références bibliographiques

- **FAO.**, (2003). L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO irrigation and drainage paper, 65p.
- **IANOR.**, (2006). Qualité de l'eau : détermination de la turbidité. NA 746. Alger : 10p.
- **JORAD n°35.**, (2007). Décret exécutif n° 07-149 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurée à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges - type y afférent, Algérie, p.8-12.
- **JORAD n°41.**, (2012). Arrêté interministériel du 8 safar 1433 correspondant au 21 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irrigués avec des eaux usées épurées 21-22p.
- **MCRF.**, (1974). Ministère de la coopération de la république Française.
- **MRE.**, (2003). Le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des ressources en eau, Algérie.
- **OMS.**, (1989). Utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandation à visées sanitaire. Genève, OMS.778 : 205p.
- **ONEMA.**, (2009). Technologie d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT).