



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمّة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar-EL OUED

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences Biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

Contribution à la connaissance de la composition des eaux usées urbaines de la ville d'El Oued

Présenté Par :

BENAZIA Attef

MAIASSI Zahia

Devant le jury composé de :

Président : ALLOUCH Jennat

MCB, Université d'El-Oued.

Examineur : TOUMI Ikram

MCA, Université d'El-Oued.

Promoteur: LAOUFI Hayat

MAA, Université d'El Oued.

Année universitaire :2020/2021

Dédicace

A celui qui a donné sa vie pour mon bonheur et ma réussite, à celui qui a vécu et s'est sacrifié pour accomplir cet humble travail.

A toi, mon père.

À celle qui a un bon cœur et un beau sourire, à celle qui est restée éveillée des nuits pour voir mon succès...

Ma mère.

Je dédie également ce travail à mes sœurs en leur souhaitant plein succès dans leur cheminement académique.

À mon petit frère, Mohammad Yassin, s'il vous plaît passez par ici:

A toute ma grande famille.

A tous mes collègues du journalisme.

Je dédierai également cet ouvrage à mon professeur et à ceux qui ont suivi ma carrière tout au long de ces années, " Saida Messelleka ".

Enfin, je sais que cet espace ne suffit pas pour remercier mes amis.

Mais il suffit que vous soyez ma source de soutien et de continuité, merci pour les gentils mots, merci à tous.

Attéf

Dédicace

je dédie ce travail à :

Mes parents...

Mes frères.

Mes amis.

Malak

Remerciements

Au début, louanges et remerciements à Dieu, qui nous a permis d'accomplir cette œuvre.

Je tiens à remercier mon professeur, Laoufi Hayat, qui nous a orienté pour accomplir ce travail et pour avoir une bonne qualité scientifique, et je lui souhaite également plein de succès.

Nous souhaitons exprimer nos remerciements et notre gratitude au professeur respecté et estimé Khaoula Saihi, instructeur de l'Office national de la désinfection (ONA), qui nous a supervisés lors de la réalisation de l'expérience, de son explication approfondie et détaillée et de son soutien.

Nous remercions également le Laboratoire de Contrôle de qualité, Fatilab, qui nous a aidé dans la réalisation des analyses de laboratoire.

Enfin, nous remercions tous les professeurs qui ont soutenu ce projet par leurs conseils et précisions.

Résumé

Avec l'accélération du développement économique, l'homme est de plus en plus responsable de la pollution de l'environnement. La population déverse ses eaux usées, provenant de ses diverses activités, directement dans les milieux récepteurs sans aucun traitement en favorisant la propagation des maladies hydriques, et la contamination des eaux de surface et souterraine. La ville d'El Oued (Sud-est algérien) n'échappe pas à ce fléau.

Notre travail traite dans un premier lieu la caractérisation et l'évaluation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la pollution engendrée par la population urbaine d'un rejet important de la ville d'El Oued situé à Koiunine. Dans un second lieu, nous avons mis en évidence une approche comparative à travers des études antérieures pour mettre en évidence les potentialités du *Phragmite australis* plante aquatique à épurer les eaux usées.

Les résultats révèlent que les valeurs des paramètres physico chimique et bactériologiques enregistrées au niveau du rejet d'El Oued sont proches à ceux comparés des rejets d'Annaba et Biskra et ce qui nous renseigne sur une qualité de pollution mauvaise.

De plus, il ressort de l'approche comparative du traitement des eaux usées des rejets d'Annaba et Biskra par le filtre planté à macrophyte l'efficacité du procédé de la phyto-épuration dans l'abattement de la pollution hydrique confirmée par les résultats, ou une diminution nette et significative à été observé.

Mots clés : Eaux usées, El Oued, indice de pollution.

Abstract

With the acceleration of economic development, humans are increasingly responsible for environmental pollution. The population discharges its wastewater, coming from its various activities, directly into the receiving environments without any treatment, promoting the spread of water-borne diseases, and the contamination of surface and underground water. The city of El Oued (south-eastern Algeria) no escape from this scourge.

Our work first deals with the characterization and evaluation of the physical-chemical and bacteriological parameters of the pollution generated by the urban population of a major discharge from the city of El Oued located in Koiunine. Secondly, we have demonstrated a comparative approach through previous studies to highlight the potential of *Phragmite australis* aquatic plant to purify wastewater.

The results reveal that the values of the physicochemical and bacteriological parameters recorded at the level of the El Oued discharge are close to those compared to the discharges of Biskra and Annaba and which tells us about a bad quality of pollution. the comparative approach to the treatment of wastewater from the Annaba and Biskra discharges by the planted filter with macrophyte, the efficiency of the phyto-purification process in the reduction of water pollution confirmed by the results, where a net and significant decrease was observed.

Keywords: Wastewater, El Oued, pollution index.

المخلص

مع تسريع التنمية الاقتصادية ، أصبح البشر مسؤولين بشكل متزايد عن التلوث البيئي حيث يقوم السكان بتصريف مياه الصرف الصحي الناتجة عن أنشطتهم المختلفة مباشرة في البيئات المستقبلية دون أي معالجة ، مما يؤدي إلى انتشار الأمراض المنقولة بالمياه وتلوث المياه السطحية والجوفية. حيث أن مدينة الوادي (جنوب شرق الجزائر) لم تسلم من هذه الظاهرة .

يهدف عملنا أولاً إلى تقييم العوامل الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية للتلوث الناتج عن السكان نتيجة التصريف الكبير حيث تمت الدراسة في مدينة كونين الواقعة في ولاية الوادي . ثانياً ، لقد أظهرنا نهجاً مقارناً من خلال الدراسات السابقة لتسليط الضوء على إمكانات نبات *Phragmites australis* في تنقية مياه الصرف الصحي. أظهرت النتائج أن قيم المعلمات الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية المسجلة على مستوى منطقة الوادي قريبة من تلك التي قورنت مع تصريفات بسكرة وعنابة والتي تخبرنا عن سوء نوعية التلوث. أثبتت الدراسة بعد معالجة المياه المستعملة (العادمة) الناتجة عن التصريف بعنابة وبسكرة بالفلتر المزروع من النباتات الكبيرة كفاءة عملية التنقية النباتية في الحد من تلوث المياه و هو ما أكدته النتائج من خلال إنخفاض كبير و واضح .

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي ، الوادي ، مؤشر التلوث.

Liste des Figures

Figures	Titres	Pages
01	Principe de l'épuration dans un bassin a macrophytes flottants	17
02	Localisation de wilaya d'El oued sur la carte d'Algérie	22
03	Situation de rejet de STEP1 de kouinin	23
04	Localisation de wilaya d'El oued sur la carte d'Algérie	26
05	Variation des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la région du Souf entre la période (2009- 2019).	27
06	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) de la région d'El Oued durant la période (2009- 2019).	28
07	Etage bioclimatique de la région du Souf selon le diagramme d'Emberger (2009-2019).	29
08	pH Mètre (pH 510) de marque « hach »	34
09	Conductimètre (Terminal 740) de marque « WTW »	35
10	Papier filtre en verre de marque « filter-lab »	36
11	Ensemble de filtration à vide de marque « Speed flow »	36
12	Etuve chauffé (105°C) de marque « memmert »	37
13	Balance (0.001 g de précision) de marque « Denver »	37
14	Le dessiccateur.	38
15	la technique de détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	39
16	Variation de la température des eaux usées brutes des 3 régions Biskra Annaba El oued	42
17	: Variation du potentiel hydrogène des eaux usées brutes des 3 régions.	43
18	Variation de la conductivité électrique des eaux usées brutes des 3 régions.	44
19	Variation de MES des eaux usées brutes des 3 régions.	45
20	Variation de DBO5 des eaux usées brutes des 3 régions	46

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
01	Températures mensuelles maximales et minimales de la région d'El Oued pour l'année 2018 et durant la période 2009- 2019.	25
02	Précipitations moyennes mensuelles de la région du Souf durant la période (2009-2019).	27
03	Germes recherchés sur les eaux usées avant l'expérimentation.	41
04	tableau des résultats bactériologiques obtenus dans les trois régions.	47
05	Résultats de l'analyse des paramètres physicochimique avant et après épuration dans les régions d'Annaba et Biskra.	49
06	Résultats de l'analyse des paramètres bactériologiques avant et après épuration dans les régions d'Annaba et Biskra	49

Liste d'abréviations

Abréviations	Signification
ONA	Office National de l'Assainissement
STEP	Station de traitement des eaux polluée
PH	Potentiel d'hydrogène
MES	Matières en suspension
DCO	Demande chimique en Oxygène
DBO5	Demande biochimique en oxygène en 5 jours
EUB	Eaux usées brutes
EUE	Eaux usées épurées

Sommaire

Dédicace.....	
Dédicace.....	
Remercîments	
Résumé.....	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Sommaire.....	
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
Partie 01 : Revue sur les eaux usées et leurs caractéristiques.	5
1. Définition des eaux usées :	5
2. Origine des eaux usées.....	5
2.1.Les eaux usées domestiques.....	5
2.2.Les eaux usées industrielles :	6
2.3. Les eaux usées agricoles	6
2.4.Les eaux usées pluviales :	7
3. Indicateurs de pollution	7
3.1.Indicateurs physico-chimique	7
3.2. Indicateurs bactériologiques.....	9
3. 3. Métaux lourds	11
4. Incidences des effluents d'eaux usées municipales	11
4.1. Incidences des effluents sur la santé humaine.....	12
4.2. Contamination de l'eau potable	12
4.3. Dégradation de l'environnement.....	13
4.4. Eutrophisation des eaux réceptrices	13
4.5. Toxicité directe.....	14
Partie 02 : Généralité sur la technique de la phyto-épuraton.	15
1. Historique de la Phyto-épuraton :	15
2. Définition de la phyto-épuraton :	15
3. Phyto-épuraton en Algérie :	15
4. Principe de l'épuraton par macrophytes :	16
5 .Rôles majeurs des macrophytes :	17

5.1 Partie des plantes :.....	17
5. 2.Partie immergée :	17
5.3. Racines et rhizomes dans les sédiments ou les dépôts de surface :	17
5.4. Types de filtre planté :.....	17
6. Paramètres influençant la phyto-épuration:	18
7. Avantage et inconvénient de la phyto-épuration :	20
7. 1. Avantage de la phyto-épuration :	20
7. 2. Inconvénients de la phyto-épuration :	20
Chapitre II : Matériel et méthode	
Partie 01: Présentation de la région d'étude.....	22
1. Situations géographiques des régions d'études :	22
1.1. Présentation de la région d'El Oued :	22
1.1.1 .Localisation de site de rejet (Station d'épuration des eaux usées STEP 1)	23
1.1.2. Les facteurs écologiques	24
Partie 02: Méthodologie	31
1. Méthode et stratégie de travail :.....	31
1.1. Technique de prélèvement :	31
1.2. Transport et conservation des échantillons	31
1.3. Méthode d'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux :	31
1.3.1 Les paramètres physico-chimiques :	31
1.3.2. Les paramètres bactériologiques	37
Chapitre III : Résultats et discussion	
1. Résultat des analyses des paramètres physico chimique et bactériologiques des eaux usées et approche comparative :.....	41
1.1. Résultats des analyses des paramètres physicochimiques :.....	41
1.1.1. Variation de la température :.....	41
1.1.2. Variation du pH :.....	42
1.1.3. Variation de la conductivité :	43
1.1.4. Variation de MES (matière en suspension) :	44
1.1.5. Variation de DBO5 :	45
1.2. Résultats des analyses des paramètres bactériologiques :	46
2. Résultat des analyses des paramètres physico chimiques et bactériologiques des eaux usées après épuration par le phragmite :	47
Conclusion	51

Références bibliographiques.....	53
---	-----------

Introduction

L'eau a toujours figuré au premier plan des ressources naturelles primordiales pour la vie de l'homme. Le manque d'eau prend de jour en jour de l'ampleur devant des sources limitées et une explosion démographique accentuée par la demande croissante de deux secteurs stratégiques l'agriculture et l'industrie.

La raréfaction de cette ressource et due à la dégradation sans cesse et accrue des écosystèmes aquatiques qui a pris, au cours des dernières décennies, une ampleur catastrophique et constitue une des dimensions environnementales les plus préoccupantes du XXIème siècle. Une dégradation fortement liée, non seulement aux pathogènes biologiques, mais également aux produits chimiques fabriqués par l'homme. Leur présence dans l'environnement, et plus particulièrement dans l'eau, est un phénomène sans précédent dans l'histoire de l'humanité par leur quantité et leur diversité. Ils sont responsables de cas de pollution de plus en plus importants et récurrents rendant très difficile voire impossible la préservation de la qualité des écosystèmes (Zgheib, 2009).

Cependant, l'assainissement des eaux usées est quasi absent dans les pays en voie de développement du fait du coût élevé d'investissement et de maintenance. Il convient donc de trouver des techniques fiables à faible coût, capables de traiter efficacement les eaux usées.

En effet, Dans les zones arides et semi-arides où l'eau constitue un facteur limitant de la production végétale et où les besoins liés à l'accroissement de la population et à l'accroissement du niveau de vie le volume des eaux résiduaires produites augmente, de façon importante et continuera à augmenter régulièrement. On peut alors, considérer que les eaux résiduaires constituent, dans ces conditions, une source inépuisable, une politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer au développement durable par la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation (Suwasa et Wanida, 2011).

C'est pour cela notre objectif s'appuie sur une évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées d'un rejet important de la wilaya de El Oued. L'étude proposera la technique de phyto-épuration comme solution écologique pour remédier à ce problème.

Pour atteindre cet objectif nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres. Le premier est à une synthèse bibliographique sur les eaux usées suivi par une revue sur la phyto-épuration, comme technique adopté pour la dépollution des eux usée. Les caractéristiques climatiques de la région d'étude et la méthodologie adoptée. Le troisième chapitre sera consacré aux différents résultats obtenus, simultanément une approche comparative avec des

résultats obtenus d'études ultérieures du traitement des eaux usées avant et après épuration de deux rejets appartenant à deux étages bioclimatique différents à savoir de Biskra et Annaba suivit d'une discussion. Nous terminons cette modeste contribution par une conclusion.

*Chapitre I : Synthèse
bibliographique*

Partie 01 : Revue sur les eaux usées et leurs caractéristiques.

A la suite de l'expansion démographique importante et de l'essor économique durant ces dernières années, on assiste à des changements inquiétants dans la qualité des eaux superficielles des principaux cours d'eau algérien, engendrés par une pollution massive et anarchique tant par des matières organiques naturelles que par des produits industriels (Bennasser et al., 1997), la conséquence majeure et inévitable d'une telle mise en décharge est la production d'un lixiviat pouvant faire émerger de sérieux problèmes écologiques. Plus précisément, lorsque le site n'est pas pourvu d'un système de confinement, les lixiviats riches en matières organique et inorganique, mais aussi en métaux lourds, peuvent contaminer les systèmes aquatiques (Khattabi et al., 2007) et entraînent l'eutrophisation du milieu récepteur (Heisler et al., 2008 ; Renuka et al., 2014), l'exemple frappant et ceux des eaux usées acheminés directement dans la nature.

1. Définition des eaux usées :

Une eau est dite usée ou polluée une fois qu'elle perd ses caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques. La modification défavorable ou nocive de ces propriétés les rendant impropres à l'utilisation normale (Dugniolle, 1980 ; Glanic et Benneton, 1989).

Selon Bechac et al (1984), les eaux usées sont toutes les eaux provenant des activités domestiques, agricoles et industrielles, qui parviennent dans la canalisation d'assainissement très chargées en matières toxiques. Elle peut contenir des débris et quelques 200 substances chimiques (Bliefert et al., 2010).

2. Origine des eaux usées

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue trois catégories d'eaux usées :

2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux d'origine domestique sont constituées d'une combinaison des eaux domestiques (habitations, bureaux, bains publics), et en moindre quantité d'eaux issues de fonds de commerce et de petites industries. Les eaux domestiques sont constituées d'eaux de bain, lessive, urines, fèces et résidus alimentaires. Les eaux commerciales sont issues principalement de lavage de voitures, restaurants, cafés et pressing. Ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produits d'entretiens ménagers. Elles présentent en général une bonne biodégradabilité. Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des excréments humains : urines, fèces (eaux-vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols

et des aliments (eaux ménagères). Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont généralement sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement des eaux vannes d'évacuation de toilette. Et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains. Elles proviennent essentiellement des eaux de :

- Cuisine qui contient des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
 - Buanderie contenant principalement des détergents ;
 - Salle de bain chargé en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Vannes qui proviennent des sanitaires (W.C), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et micro-organismes (Rejsek, 2002).

2.2. Les eaux usées industrielles :

Elles sont 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 également 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. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution. Les grandes entreprises sont toutes équipées d'unités de traitement interne. En vingt ans, la pollution industrielle a été réduite de moitié. Ce sont actuellement les PME (garages, pressing, entreprises de peintures ...) qui produisent plus de 90% de la pollution par déchets toxiques. <https://cutt.us/jgYLQ>

2.3. Les eaux usées agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique, leurs ruissellements causent un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des cours d'eaux (Loehr, 1977).

2.4. Les eaux usées pluviales :

Ce sont les eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation, elles peuvent être particulièrement polluées (Franck, 2002). 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 (Metahri, 2012).

3. Indicateurs de pollution

Les eaux usées accumulent plusieurs types différents et variés de polluants. Pour déterminer les degrés de pollution, trois principaux paramètres d'analyses sont employés :

- Indicateurs physico-chimiques
- Indicateurs bactériologiques
- Les métaux lourds (Rejsek, 2002).

3.1. Indicateurs physico-chimique

Les indicateurs de pollution de nature physico-chimique sont :

- D'ordre globale : la température, l'oxygène dissous, le pH, la conductivité, les matières en suspension (MES) et la matière organique.
- Des polluants organiques spécifiques : tels que les nitrates, azote et les phosphates, la Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours (DBO5), ou encore la Demande Chimique en Oxygène (DCO).

3.1.1. Température

La température de l'eau est importante pour le bon fonctionnement des systèmes d'épuration dans la mesure où elle peut influencer de différentes manières sur la solubilité des sels et des gaz (la solubilité d'un gaz diminue avec une augmentation de la température).

La température est l'un des paramètres à mesurer et à noter sur place, au moment du prélèvement par un appareil électronique ou thermomètre à mercure, comme le confirme Potelon, (1998).

3.1.2. Couleur

La couleur des eaux varie du jaune pâle à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation des matières végétales. La couleur dépend aussi du pH et de la turbidité (Rejsek, 2002), ce qui explique les différentes méthodes proposées pour son examen.

Parmi elle la mesure de la coloration par comparaison avec une gamme de concentration comme de solutions colorées, soit par mesure spectrophotométries (Olivier, 1995).

3.1.3. pH

Selon Rejsek, (2002) le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, et varie habituellement entre 7.2 et 7.6. Les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant des terrains pauvres en calcaire ou siliceux ont un pH faible de l'ordre de 7 et parfois un peu inférieur.

3.1.4. Conductivité

La mesure de la conductivité donne un aperçu général sur la qualité des sels dissous dans l'eau. Cette dernière varie en fonction de la température de l'eau. En effet, l'augmentation de la température entraine également l'augmentation de la conductivité électrique.

La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température, et diminue avec celle de la viscosité (Bahmed et al., 2004).

3.1.5. Turbidité

La turbidité permet de visualiser la qualité de l'eau, en traduisant la présence des matières en suspension dans l'eau. En effet, une turbidité forte favorise la fixation des micro-organismes Rejsek, (2002).

3.1.6. Matières en suspension (MES)

Les MES sont des particules organiques ou minérales transportées dans l'eau, qui proviennent de particules de sable, de sédiment, ou bien de divers débris évacués par les eaux usées, ou les eaux pluviales très riche en MES. En effet, les teneurs élevées en MES freinent la pénétration de la lumière, et diminuent la concentration de l'oxygène dissous ce qui limite alors l'accroissance de la vie aquatique et crée un certain déséquilibre entre diverses espèces confirme Marc (2006).

3.1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO (demande chimique en oxygène) est la mesure de la concentration de l'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques présentes dans un échantillon donnée définis Moll (2005).

3.1.8. Azote

L'azote dans l'eau usée est présent essentiellement à l'état soluble. Il peut se trouver sous les deux formes suivantes : l'azote organique, qui provient surtout des excréments d'animaux et humaines, et des rejets d'industries agro-alimentaires ; ou bien l'azote ammoniacal, originaire des rejets industriels ou de la transformation de l'azote organique par ammonification, comme le classe **l'Agence de l'Eau et Ministère de l'Environnement (1994)**.

3.1.9. Phosphore

Le phosphore se présente sous trois formes : ortho-phosphate, polyphosphate et phosphate organique. L'ensemble de ces derniers forme le phosphore total. La forme assimilée par les bactéries est l'orthophosphate (PO_4^{3-}), pour oxyder la DBO ; le polyphosphate doit d'abord être hydrolysé en orthophosphate avant d'être utilisé, ce qui nécessite un certain temps. Le phosphate organique doit lui aussi être converti en orthophosphate avant d'être utilisé, et cette conversion nécessite encore plus de temps déclare Morel (1978).

3.2. Indicateurs bactériologiques

Les micro-organismes évacués par les eaux usées sont d'origines fécales. Parmi elles, l'on retrouve les germes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes selon Baumont et al.(2004).

3.2.1. Coliformes

Les coliformes sont des indicateurs de pollution important qui regroupent un certain nombre de bactéries appartenant à la famille des Enterobacteriaceae, qui sont intéressants dans la mesure où ils vivent en abondance dans les matières fécales.

La définition suivante a été adoptée par l'Organisation internationale de standardisation (ISO), le terme (*coliforme*) correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatifs, oxydase négatifs, anaérobies facultatives, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C (Rodier, 2005).

a) Coliformes totaux

Le terme coliforme correspond à des micro-organismes en bâtonnets, non sporogènes, à coloration gram négative, oxydase négative, aérobies anaérobies facultatifs, et capable de fermenter le lactose au moins de 48 heures à 35°C. Les coliformes totaux sont présents un peu partout dans la nature, dans les eaux riches en éléments nutritifs, dans les sols, sur la végétation et sur les animaux (Hade, 2003).

b) Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux comprend les coliformes pouvant formes des gaz en moins de 24h à 44,5°C. On retrouve les bactéries coliformes fécales en grand nombre dans les intestins et les excréments des animaux à sang chaud (Desjardins, 1997).

3.2.2. Clostridium sulfito-réducteurs

Le genre *Clostridium*, regroupe des bactéries Gram positif sporulées apparaissant sous leur forme végétative comme des bacilles en paires ou en chaînettes courtes.

Ce sont des bactéries anaérobies strictes qui conservent leur vitalité dans les sols grâce à leurs spores résistantes ; dans l'eau ces germes sont des indicateurs de contamination fécale confirme Dellarras (2010).

3.2.3. Salmonelles

Ce sont des bactéries Gram négatif, oxydase négative, anaérobies facultatives, asporulées, en forme de bâtonnet qui forment des colonies typiques sur milieu sélectif solide. Elles présentent les caractéristiques biochimiques et sérologiques de ce genre d'Entérobactéries (Frank, 2002).

3.2.4. Streptocoques fécaux

Les *Streptocoques fécaux* sont des espèces considérées comme pathogène, qui appartiennent à un groupe de *streptocoque* qui n'est pas toujours d'origine fécale (groupe D). Toutefois, leur recherche constitue un bon indice de contamination fécale. Ces derniers étaient un meilleur témoin que les coliformes fécaux pour des pathologies infectieuses d'origine hydrique comme le confirment Potelon et Zysman, (1998).

3.2.5. Staphylocoques

L'eau, l'air, le sol, les poignées de porte, sur la vaisselle, dans les aliments et sur les animaux les *staphylocoques* sont très réponsus, ils sont aérobies ou anaérobies facultatifs, Gram (+), catalase (+), fermentant les sucres en produisant de l'acide lactique, confirment Leclerc et al. (1995).

3.2.6. Pseudomonas

Selon Lamnaouer (2002), le genre *Pseudomonas* de la famille des *Pseudomonaceae* sont des espèces de forme bacilles à Gram négatif, aérobies stricts, qui sont ubiquitaires.

3.3. Métaux lourds

Selon Maurice, (1994) les métaux lourds sont considérés comme des éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. Le bon fonctionnement des plantes et des animaux est assuré par la présence des métaux lourds.

Ils jouent un rôle important dans la transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques déclarent Kozłowski et al. (2002).

Ces derniers sont présents dans l'environnement sous forme d'éléments traces : fer, mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. D'entre eux plus toxiques sont le plomb, le cadmium et le mercure constate (Arris, 2008).

Selon Cauchi (1996), l'origine des métaux lourds provient des produits consommés, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement des rejets industriels.

4. Incidences des effluents d'eaux usées municipales

Les eaux usées peuvent influencer sur l'utilisation humaine des ressources en eau et sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Le rejet d'eaux usées a pour effets:

- L'imposition de restrictions à la consommation de poissons et de mollusques ;
- La dégradation des populations aquatiques et sauvages et de leur habitat (y compris de la qualité de l'eau et des sédiments).
- Des incidents isolés de maladies hydriques découlant de la contamination par des eaux usées des sources d'eau potable de collectivités qui dépendent d'une alimentation en eau brute de haute qualité
 - La fermeture de plages.
 - Des nuisances visuelles.
 - Des coûts accrus pour les utilisateurs agricoles, industriels et municipaux qui doivent traiter de l'eau autrement inacceptable.

Les incidences peuvent être de nature aiguë et apparaître rapidement ou être cumulatives (à long terme) et ne se manifeste qu'après une longue période (Vilagines, 2003).

Les incidences aiguës découlent généralement de concentrations toxiques d'ammoniac, de chlore résiduel total ou de métaux lourds. Dans les eaux réceptrices ; de charges de DBO ou de DCO qui réduisent les concentrations d'oxygène dissous à des valeurs insuffisantes pour assurer la survie des organismes aquatiques ; de forts écoulements de ruissellement urbain (Cluus, 2010) et d'une contamination bactérienne qui rend les mollusques impropres à la consommation humaine. La fréquence des effets aigus attribuables aux ERU est déterminée par la nature et la quantité des rejets industriels et résidentiels, le type de traitement, le régime de désinfection et le dépassement de la capacité des stations d'épuration. En outre, la présence de métaux et de contaminants organiques traces dans les eaux réceptrices peut être cause d'incidences toxiques cumulatives (Vilagines, 2003).

4.1. Incidences des effluents sur la santé humaine

La mauvaise gestion des déchets ménagers est à l'origine du problème de la santé publique d'autant plus qu'il constitue le facteur dominant de création de nids de production des vecteurs de menace de la santé comme les moustiques, mouches, cafards, souris...

Soumise à une urbanisation galopante et non planifiée, les villes des pays en développement apparaissent comme des espaces à risques potentiels sanitaires (Vilagines, 2003).

En général, les déchets ménagers sont mal gérés à causes de l'absence d'infrastructures d'hygiène et d'assainissement de base, un manque de synergie d'action des acteurs... cela se traduit par une hygiène défectueuse qui offre des conditions bioécologiques favorables au développement de germes pathogènes (virus, bactéries, parasites) responsables de nombreuses maladies qui sévissent dans les quartiers les transformant de plus en plus en espace potentiellement "épidémiogène" (un espace dont le fonctionnement génère des germes pathogènes qui provoquent des processus pathologiques et qui contribuent à faire apparaître et propager des phénomènes morbides au sein d'une population) (Vilagines, 2003) .

4.2. Contamination de l'eau potable

Étant donné que l'eau destinée à la consommation, est traitée et désinfectée, les éclosions fulgurantes de maladies d'origine hydrique sont rares. Mais des cas isolés de contamination microbienne de l'eau potable ayant pour origine des ERU, des eaux pluviales insuffisamment traitées ont été signalés. Des méthodes analytiques de plus en plus précises pour la détection des parasites et des virus ont donné naissance à une préoccupation à l'égard de l'innocuité d'eaux qui satisfont par ailleurs aux normes de qualité actuelles pour l'eau potable. Dans le cadre d'une étude épidémiologique portant sur le territoire de la Communauté

urbaine de Montréal, (Payment et al., 2002). ont signalé que le risque de troubles gastro-intestinaux était plus élevé chez les personnes consommant de l'eau du robinet (incidence de 0,76) ayant pour origine des eaux de surface contaminées par des eaux usées, que celui déterminé pour les personnes ayant consommé la même eau, mais filtrée dans une unité domestique d'osmose inversée (incidence de 0,50) (Payment et al., 2002).

4.3. Dégradation de l'environnement

Le rejet dans les eaux réceptrices d'ERU à charge de DBO élevée peut provoquer une réduction immédiate de l'oxygène dissous dans la colonne d'eau de même que des effets à plus long terme (à l'échelle de mois ou d'années) découlant de l'accumulation de matériaux consommant l'oxygène dans les sédiments benthiques (demande d'oxygène des sédiments) (Bitton, 2005). Le manque d'oxygène dissous menace souvent les poissons et d'autres organismes en été car la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue avec l'augmentation de sa température. Mais sous les climats plus froids, lorsque les cours d'eau et les lacs sont recouverts de glace pendant plusieurs mois, ce manque d'oxygène dissous peut survenir en hiver, la couverture de glace prévenant toute réaération (Payment et al, 2002). La réduction de la concentration d'oxygène dissous peut avoir des incidences écologiques, comme un appauvrissement de la diversité biologique et la perte d'espèces. Ainsi que les concentrations élevées d'ammoniac pouvaient être à l'origine des hécatombes de poissons.

4.4. Eutrophisation des eaux réceptrices

Les ERU (eaux résiduaires urbains) apportent des substances nutritives (N et P) dans les plans d'eau récepteurs et favorisent ainsi l'eutrophisation. Comme les substances nutritives peuvent s'accumuler dans les sédiments benthiques et être libérées dans l'eau ultérieurement, la charge en substances nutritives a un effet cumulatif et un effet immédiat (Metcalf, 2003). Les incidences sur les écosystèmes aquatiques de l'ajout de substances nutritives sont sources d'importantes préoccupations car ces quantités supplémentaires peuvent favoriser la croissance des producteurs primaires (algues et plantes aquatiques à racines) à des niveaux nuisibles pour l'écosystème (exp., modification de la dynamique énergétique et de la structure du réseau trophique, modification de l'habitat et perte d'espèces). Ces changements écologiques peuvent, à leur tour, influencer sur l'utilisation humaine des ressources aquatiques notamment en ce qui a trait aux activités récréatives, aux pêches et à la qualité de l'eau utilisée à des fins urbaines, industrielles et agricoles (Metcalf, 2003). Mais même si les conséquences d'une charge excessive en substances nutritives sont claires, les concentrations de P ou de N qui font passer d'acceptable à inacceptable la qualité de l'eau d'un lac, d'un

cours d'eau ou d'eaux côtières sont difficiles à définir car elles sont fonction de l'écosystème et des objectifs des utilisateurs. L'azote et le phosphore sont nécessaires au maintien d'un écosystème diversifié et leur concentration s'accroît naturellement au cours des siècles à mesure du vieillissement de l'écosystème aquatique. Mais une fois atteinte une concentration de base de substances nutritives, il demeure une large gamme de concentrations acceptables (et donc une abondance et une composition d'organismes aquatiques acceptables) avant que des concentrations excessives donnent lieu à une nette dégradation de l'environnement. L'eutrophisation était un problème courant au début des années 1970 avant que l'on ne reconnaisse le rôle essentiel des substances nutritives dans la régulation de la productivité et de l'état trophique des lacs, des cours d'eau et des eaux marines (ITRC). Ces études ont permis de noter que le phosphore était la substance nutritive la moins présente dans la plupart des eaux intérieures et que sa disponibilité régissait normalement la croissance des plantes aquatiques et, par conséquent, l'eutrophisation. Mais dans la plupart des eaux marines, c'est le N qui régularise la croissance des plantes aquatiques. Avec la constatation du rôle des substances nutritives dans l'eutrophisation.

4.5. Toxicité directe

La toxicité des effluents urbains est fonction de divers facteurs dont la taille et l'étendue des installations industrielles et urbaines, le type et l'efficacité des procédés de traitement et de désinfection et les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des eaux réceptrices. Dans le cas des ERU, la toxicité est généralement attribuée à l'ammoniac, au chlore résiduel total (effluents chlorés), au cyanure, aux sulfures, aux phénols, aux tensioactifs et à de nombreux métaux lourds (notamment le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) (Lynchet al., 2002). D'autres facteurs, comme la température, le pH, la dureté, l'alcalinité et l'oxygène dissous, ont tendance à modifier la toxicité des constituants chimiques. En outre, les composés peuvent réagir entre eux et la toxicité résultante ne reflète pas nécessairement celle des composés individuels. Par conséquent, étant donné les nombreux facteurs et leurs interactions ainsi que la spécificité au site des effets dans le milieu récepteur, il est difficile de formuler des généralisations sur la toxicité des ERU (Bonjoch et al., 2004). Bien qu'il soit parfois possible d'attribuer la toxicité à une substance ou à un groupe de substances présentes dans un effluent complexe, il arrive souvent que la toxicité ne présente pas de relation nette avec les concentrations de substances toxiques connues.

Partie 02 : Généralité sur la technique de la phyto-épuration.

La purification artificielle des eaux usées au niveau des stations d'épuration, à travers les pays utilisateurs de ce mode, a montré sa complexité et ses exigences matérielles et humaine (haute technicité) ; de ce fait d'autres moyens plus simples et efficaces ont été mis en place pour l'épuration des eaux. Parmi eux un mode purement naturel où les agents actifs dans le processus sont des Macrophytes (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse (Saggai, 2004).

1. Historique de la Phyto-épuration :

La méthode du traitement des eaux usées grâce à la symbiose bactéries/végétaux est née dans l'ancienne Allemagne de l'Ouest dans les années 60. Depuis, elle n'a jamais cessé de s'améliorer et s'est développée au Danemark, en Autriche puis en Hollande, en Angleterre, aux USA et même en Australie. En France, l'une des premières implantations a été réalisée à Pannessières, dans le Jura, en 1986. Cette technique s'oppose aux techniques classiques dites "à culture bactérienne libre" (exemple : stations d'épuration à boues activées) ou à "culture bactérienne fixée" (exemple : filtre bactérien), où l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratrices est apporté mécaniquement au prix de coûts énergétiques importants.

2. Définition de la phyto-épuration :

La phyto-épuration est un système de traitement des eaux usées en utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces dernières sont des microphytes et/ou des macrophytes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépurature naturelle, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore.

Les macrophytes et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que le macrofaune du sol, ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, lesquelles sont compostées et forment un humus sur place (Medjdoub, 2014).

3. Phyto-épuration en Algérie :

En Algérie, cette technique d'épuration, par filtres plantés, a fait son apparition que tardivement. En effet, ce n'est qu'en 2007 que le ministère des ressources en eau a procédé à

la mise en place d'un système expérimental d'épuration des eaux usées basé sur un procédé naturel. Ce pilote expérimental, destiné pour les petites agglomérations de moins de 2000 habitants est le premier du genre en Algérie, réalisé dans la région de Témacine servira de test pour une éventuelle vulgarisation à travers les zones et les hameaux enclavés de notre pays et qui sont dépourvus de système d'épuration.

4. Principe de l'épuration par macrophytes :

La phyto-épuration comprend l'épuration par les filières plantées de macrophytes, qui favorisent la biodiversité des espèces végétales plantées dans les bassins. Une station d'épuration par filières plantées de macrophytes fonctionne comme un marais naturel. Dans ce cas, les eaux brutes (eaux grises et eaux vannes) passent à travers des bassins remplis d'un substrat minéral (sable, gravier, pouzzolane selon les cas) où sont plantés différents végétaux sub-aquatiques : roseaux, massettes, joncs, iris... (espèces locales de préférence car elles sont adaptées au climat). Ces plantes, et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites Communis* ou *Phragmites Australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent, apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que le macrofaune du sol (lombrics...), ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, lesquelles sont compostées et forment un humus sur place. (B.E.I.E.R.E, 2009)

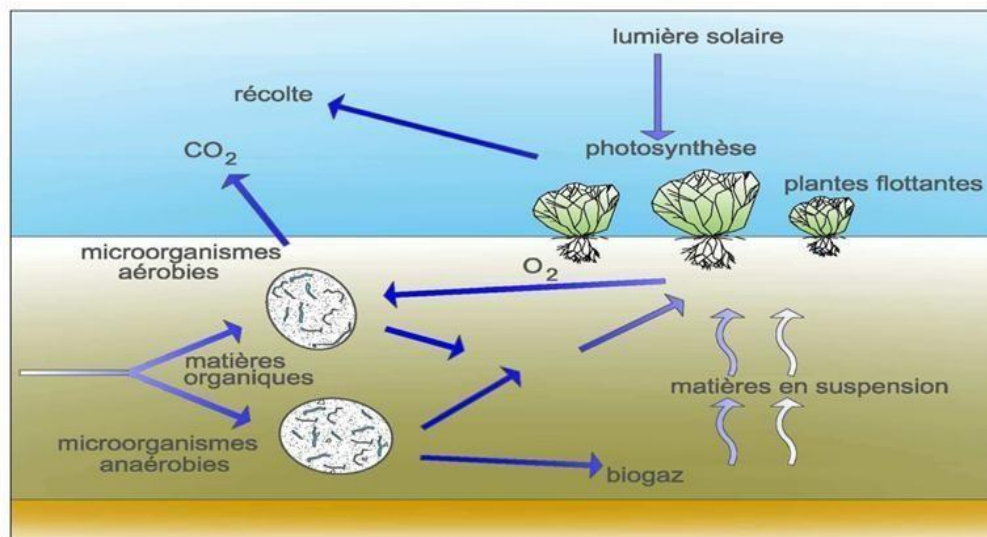


Figure 01:Principes de l'épuration dans un bassin à macrophytes flottants (Rakotoarison, 2008)

5 .Rôles majeurs des macrophytes :

5.1 Partie des plantes :

- Atténuation de la lumière, réduction de la photosynthèse dans les eaux,
- Influence du microclimat, isolation (hiver ou été);
- Réduction de la vitesse du vent et du risque de remise en suspension des sédiments.
- Évapotranspiration estivale ;
- Aspect esthétique positif du système ;
- Stockage d'éléments nutritifs.

5. 2.Partie immergée :

- Réduction de la vitesse du courant et augmentation du taux de sédimentation, réduction du risque de remise en suspension ;
- Production d'oxygène photosynthétique ;
- Absorption des éléments nutritifs ;
- Augmentation de surface de fixation du périphyton.

5.3. Racines et rhizomes dans les sédiments ou les dépôts de surface :

- Stabilisation de la surface des sédiments, réduction de l'érosion ;
- Prévention du colmatage dans les systèmes à écoulements verticaux, effet de filtre des gros déchets.
- Augmentation de surface de contact pour les développements bactériens.
- Libération d'oxygène augmentant la nitrification et la dégradation bactérienne.
- Absorption des éléments nutritifs.
- Production d'antibiotiques, de phytometallophores et de phytochélatines.

(SciencesEaux et Territoires, 2014).

5.4. Types de filtre planté :

Les filtres plantés peuvent être soit à écoulement vertical, soit à écoulement horizontal. La combinaison en série des deux est largement répandue (systèmes hybrides), elle permet d'améliorer la qualité de l'épuration ainsi réalisée. Ils diffèrent par leur mode d'alimentation, par le sens de l'écoulement de l'eau et par les conditions aérobies de traitement.

- Filtres plantés à écoulement vertical
- Filtres plantés à écoulement horizontal

6. Paramètres influençant la phyto-épuration:

- **L'aération du substrat :**

Qui se présente comme le plus important de ces paramètres car c'est un paramètre limitant. En effet, l'élimination des matières organiques et la nitrification sont deux réactions qui demandent beaucoup d'oxygène.

- **Température :**

Elle a une influence déterminante sur l'activité biologique des micro-organismes et sur la réserve d'oxygène pour le processus d'autoépuration. Pour l'ensemble des micro-organismes responsables des biodégradations, la zone de température favorable se situe entre 4 et 25 °c en aérobiose, et entre 10 et 65 °c en anaérobiose.

- **Oxygène dissous :**

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est indispensable ; l'oxygène permet de maintenir plusieurs facteurs de la qualité de l'eau, notamment son goût, il est essentiel pour la survie de nombreux organismes aquatiques.

L'oxygène dissous dans l'eau peut provenir :

- De la dissolution de l'oxygène de l'air par la diffusion à travers la surface.
- De l'apport d'un affluent plus oxygéné, surtout dans le cas des rivières, et parfois même, d'une aération artificielle ;
- De la biosynthèse pour les plantes vertes aquatiques qui, sous l'effet de la lumière solaire, utilisent le CO₂ dissous dans l'eau grâce à leur fonction chlorophyllienne dans le cas du lagunage (Mekhloufi, 2003).

- **Pollution microbiologique :**

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation.

Les micro-organismes ont un rôle essentiel à jouer dans tous les systèmes de traitement des eaux usées à partir des plantes. Qu'ils soient aérobies ou anaérobies, ce sont eux qui consomment la partie carbonée des eaux usées pour la transformer principalement en CO₂ pour les bactéries aérobies et aussi en méthane pour les bactéries anaérobies. Lorsqu'il est

possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (Medjdoub, 2014).

- **Constitution du filtre :**

La qualité des matériaux est la condition majeure au bon fonctionnement des filtres (durée de vie et performances épuratoires). De par sa granulométrie, le matériau de remplissage a un rôle évident de filtration des matières en suspension et de la partie organique associées présentes dans les eaux usées, d'où le nom de filtres, Son efficacité dans ce rôle dépend en grande partie de la texture du matériau que l'on approche par sa granulométrie et qui interviendra notamment sur les caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique en milieu saturé ou non).

Les graviers et les sables utilisés doivent être roulés, lavés et à fin d'éviter d'éventuelles contamination de la nappe souterraine, les bassins de phyto-épuration doivent être imperméabilisés, en utilisant des géomembranes synthétiques ou de la bentonite, cependant, il est déconseillé de couler un radier en ciment pour une question de coût de réalisation et de problèmes d'étanchéité.

L'utilisation d'un sol argileux est la possibilité la plus économique, qui nécessite cependant une très faible perméabilité ($K < 10^{-8}$ m/s) et avec une profondeur de nappe à plus de 1m sous la base du lit du bassin (Carleton et al., 2001).

- **Effets des plantes dans le système de phyto-épuration :**

Les macrophytes participent d'une façon indirecte à la décomposition des substances organiques des eaux usées brutes. Ces plantes disposent d'un système racinaire très dense qui améliore l'oxygénation des filtres, et par la suite le développement des micro-organismes adéquats. Poursuivant leur croissance même en hiver, les rhizomes assurent enfin le fonctionnement permanent de la station d'épuration (Bhupinder et al., 2009).

Le développement racinaire limite le colmatage des filtres grâce à la formation de pores tubulaires le long des racines qui permet d'accroître la surface de fixation pour le développement des micro-organismes (Bhupinder et al., 2009).

- **Temps de séjour :**

Les eaux à traiter doivent séjourner dans les bassins pendant une durée supérieure ou égale au temps nécessaire à leur épuration, Aussi l'efficacité d'un traitement par lagunage dépend fortement du temps de séjour qui est plus long en hiver qu'en été.

Le temps de séjour de l'eau dans un marais est en fonction de la pente de celui-ci. Selon certains auteurs, la pente longitudinale d'un marais filtrant peut varier entre 0 à 1 % (Johnson, 2002). Cependant, plus la pente est élevée, plus court sera le temps de séjour de l'affluent et moindre sera l'efficacité du traitement (Astebol et al., 2004). Le temps de séjour minimum recommandé est de 24 heures (Galvão, 2005).

7. Avantage et inconvénient de la phyto-épuration :

7. 1. Avantage de la phyto-épuration :

- Elle ne dégrade pas l'environnement principalement dut au fait qu'elle ne dégage pas de gaz à effet de serre. Ainsi elle est constituée de matériaux naturels
- L'exploitation de la station d'épuration est simple et peu contraignante que se soit au niveau du temps qu'au niveau de sa complexité, elle demande donc peu de compétences (Pauline, 1995)
- Moins coûteux à construire et à exploiter que les systèmes conventionnels
- Facilité de mise en œuvre
- Nécessite peu d'équipements mécanisés
- Consomme peu d'énergie
- Contrairement au lagunage, cette installation peut intégrer le tissu urbain (Cors, 2007).
- L'eau traitée par cette station d'épuration est de bonne qualité par rapport à d'autres infrastructures (Yvan, 2002).
- Elle possède une excellente élimination de la pollution microbiologique.
- Contribue au développement et à la diversification de la flore locale, ainsi qu'à la protection de la faune et de la biodiversité. (Yvan,2002).
- Le traitement est 100% naturel, sans produit chimique
- la tolérance aux variations de charges et de débits est très importante (Yvan,2002).

7. 2. Inconvénients de la phyto-épuration :

- Elle ne s'adapte qu'aux petites collectivités de moins de 2000 équivalent-habitants, plus il ya d'habitants plus il y a besoin d'une grande surface, en effet il faut entre 2 et 4.5 m² par habitants.
- Il faut également assurer une pente naturelle suffisante, entre l'entrée et la sortie de la station pour que l'eau puisse couler (Anne,2001).
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.
- En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs pourrait apparaître.

Chapitre II : Matériel et méthode

Partie 01:Présentation de la région d'étude .

Dans ce chapitre nous allons aborder en premier lieu la situation géographique et les caractéristiques climatiques de notre région d'étude. Le deuxième volet sera consacré pour les méthodes adoptées et les paramètres traités pour l'évaluation du degré de pollution d'un rejet ainsi que la solution préconisée pour cela.

1. Situations géographiques des régions d'études :

1.1. Présentation de la région d'El Oued :

La région d'Oued-Souf est située dans le Sahara Algérien, elle forme une Wilaya depuis 1984 et couvre une superficie totale de 4458600 ha. Elle se trouve à environ 700 km au Sud-Est d'Alger (Fig02) et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie). Elle est limitée : au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa, à l'Est par la Tunisie et du côté Ouest se trouve les wilayas de Biskra, Djelfa et Ouargla cette dernière se situe également sur le côté Sud.

De plus La vallée de Souf est considérée comme une unité de ressource en eau qui est délimitée :

- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental.
- Au l'Est par une série de chotts.
- Au l'Ouest par l'Oued Righ et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt.

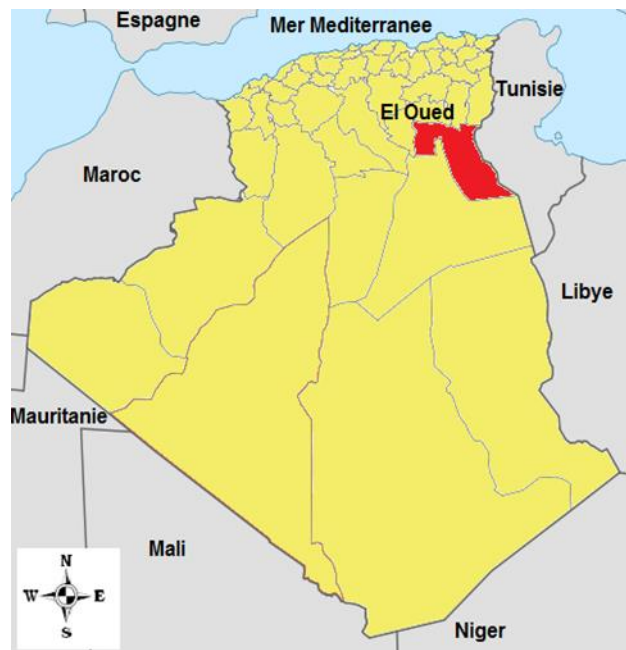


Figure 02 : localisation de wilaya d'El oued sur la carte d'Algérie

1.1.1 .Localisation de site de rejet (Station d'épuration des eaux usées STEP 1)

• La station d'épuration des eaux usées sert à collectée les eaux usées des communes d'El-Oued, Robbah, Bayadha et Kouinine, elle est située au Nord-est de Kouinine. Kouinine est la maire de l'une des municipalités qui appartiennent au groupe et de la vallée sera oasis, le désert au sud de l'Atlas et se situe sur zone de 116 Km² elle est situé au centre de la route national N°48, donc loin du siège du département d'état, environ sept kilomètres, elle est située sur niveau de 97 m au-dessus de la mer, et d'augmenter l'élévation vers le sud, tandis que la baisse dans la Nord. Kouinine est une municipalité située au Nord de la vallée, représente la gestion administrative de la vallée est leur localisation comme se suit :

- Au Nord : commune Taghzout.
- Au Sud : commune d'El-Oued et Sud l'Ouest Oued Alanda.
- Au l'Est : commune de Hassani Abed Alkarime.
- Au l'Ouest : Ouermase. (DUC). Cette station occupe une superficie de l'ordre de 100 hectares, permet de répondre aux besoins fonciers. La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle, orienté sud- nord, dont les dimensions sont :

- Largeur : 500 à 800 m.
- Longueur : 500 à 1400 m.
- Actuellement, le site est occupé. A l'avenir, il conviendra de veiller à ce qu'aucun développement de l'occupation du sol n'ait lieu sur cette zone compte tenu de leur utilisation ultérieure (ONA.2009)

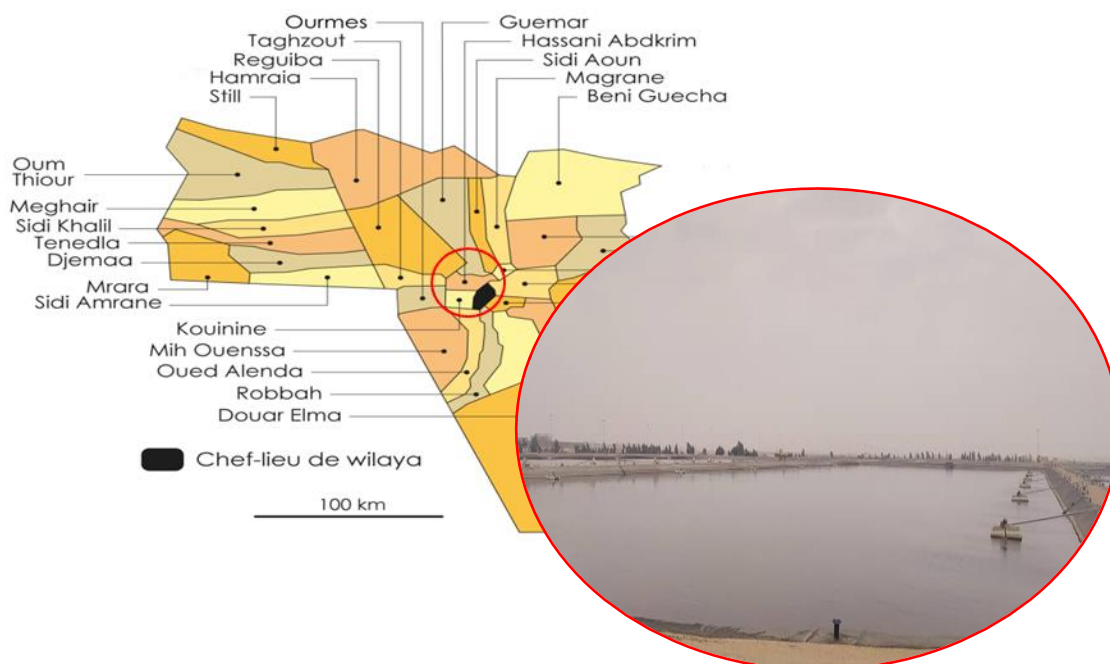


Figure 03 : Situation du rejet STEP1 de kouinin

1.1.2. Les facteurs écologiques

L'étude des facteurs écologiques, constitue une étape indispensable pour la compréhension du comportement et des réactions propres aux organismes, aux populations et aux communautés dans les biotopes aux quels ils sont inféodés (Ramade, 2003). Il est classique de distinguer en écologie des facteurs abiotiques et des facteurs biotiques (Dajoz, 1971), ces facteurs sont abordés dans ce qui va suivre :

1.1.2.1. Facteurs abiotiques

Les facteurs les plus actifs sont au nombre de quatre. Il s'agit du relief, du sol, de l'hydrogéologie et du climat (températures, précipitations, humidité relative et vents).

➤ le sol

Les sols de la région du Souf sont typiques pour les régions sahariennes. Ils sont pauvres en matière organique, à texture sableuse et à structure caractérisée par une perméabilité très importante (Boucharia, 2010). Selon Nadjah (1971) ; il prend deux aspects dont le plus dominante est l'ensemble dunaire qui est constitué par de grandes accumulations sableuses pouvant atteindre 100 mètres de hauteur. Tandis que l'autre partie dénommée localement "SHOUNES" est située dans la partie Nord-Est-Sud, caractérisée par une superficie caillouteuse avec des croutes gypseuses entourées par de hautes dunes (Ghroud) qui leur donnent aussi une forme de cratère, alors qu'à l'Ouest, on trouve la Tefza constituée essentiellement par du carbonate de calcium (CaCO_3).

➤ Relief

La configuration du relief de Souf se caractérise par deux principales formes :

- Une zone sableuse : qui couvre la totalité du Souf, ainsi que les parties Est et Sud de Oued Righ, se présente sous un double aspect, l'Erg et le Sahara.

- Une zone de dépression : Caractérisée par la présence d'une multitude de chotts elle est située au Nord de la wilaya et se prolonge vers l'Est (Voisin, 2004).

Il est à signaler que l'altitude diminue du sud vers le nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négatif au niveau du chott.

➤ Hydrogéologie

Dans le région de Souf, nous trouvons l'eau en surface, c'est la nappe phréatique, et l'eau en profondeur, c'est la nappe dite du Pontien inférieur. Le Pontien supérieur forme un écran imperméable séparant la nappe artésienne profonde de la nappe phréatique superficielle.

Les eaux de la nappe du Souf sont caractérisées par une forte salinité, une faible sodocité et un pH acceptable (Nadjah, 1971).

➤ **Climatologie**

• **Température**

Clement (1981) définit la température comme une grandeur physique qui traduit la sensation de froid et de chaud. D'une façon générale les êtres vivants ne peuvent subsister que dans un intervalle de température comprise entre 0 °C et 50 °C en moyenne, elle limite les aires de répartition qui agit comme un facteur limitant (Dajoz, 1982).

Les données thermométriques caractérisant notre région d'étude sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 01 : Températures mensuelles maximales et minimales de la région d'El Oued pour l'année 2018 et durant la période 2009- 2019.

Années	T (C°)	Mois											
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juillt	Aout	Sept	Oct	Nov	déc
2009 à 2019	M	19.98	21.67	26.36	31.67	36.53	42.42	46.23	44.77	40.11	32.92	25.72	20.86
	m	5.97	7.31	11.5	16.22	20.74	26.23	29.87	29.52	25.65	18.022	11.66	6.87
	T	12.66	14.4	19.11	24.24	29.03	34.78	38.49	37.36	32.66	26.09	18.54	13.41

(WWW.tutiempo.net 2020)

M : Moyennes mensuelles des températures maximales exprimées en °C.

m : Moyennes mensuelles des températures minimales exprimées en °C.

T : Moyennes mensuelles des températures exprimées en °C.

Le climat thermique de notre région d'étude est relativement uniforme; selon le tableau précédant et la figure ci-dessous, nous remarquons que durant les derniers 10ans, la période chaude s'étale du mois de mai à octobre avec une température moyenne de 38,49 °C. La température moyenne maximale est enregistrée en mois de juillet avec 46,23°C.

Tandis que la période froide débute du mois de Novembre à Mars avec une moyenne de 14,4 °C, les plus faibles valeurs se produisent en janvier, avec 5,97°C .

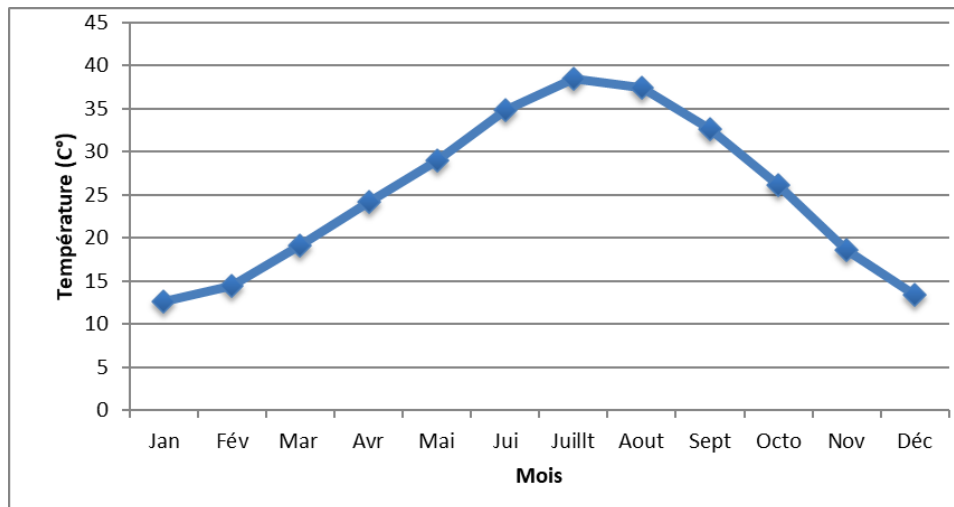


Figure 04 : Variation mensuelle de la température moyenne de la région du Souf durant la période (2009- 2019).

• Précipitations

Les précipitations se rapportent à toutes les formes d'eau fondue et grêlé qui tombent de l'atmosphère. Elles varient d'un endroit à l'autre et elles ont un effet notable sur la répartition et les type d'organismes présents (Ravenetal.,2009). Ils constituent un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des

écosystèmes terrestres. La répartition annuelle des précipitations est importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue (Ramade, 2003).

Tableau 02 : Précipitations moyennes mensuelles de la région du Souf durant la période (2009-2019).

Années		Mois											cumul	
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juillt	Aout	Sept	Oct	Nov		déc
P(mm)	2009 à 2019	13.21	7.09	9.83	11.48	2.19	0.69	0.20	0.74	10.72	3.02	7.37	1.07	67.61

(WWW.tutiempo.net 2020)

P (mm) : Précipitations moyennes mensuelles en (mm).

Dans la zone d'El Oued, janvier est le mois le plus pluvieux avec 13.21 mm Par ailleurs, juillet le mois qui reçoit le minimum de précipitations avec 0.20 mm.

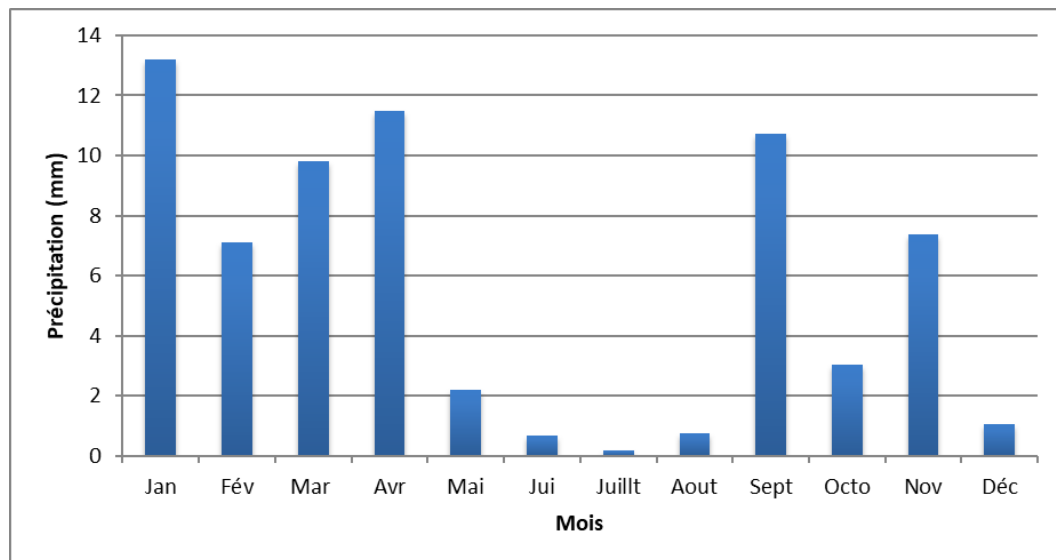


Figure 05 : Variation des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la région du Souf entre la période (2009- 2019).

Selon Dubief (1953), les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et par des pluies torrentielles rares.

Comme dans la majeure partie des régions sahariennes, les précipitations sont marquées par leur caractère faible et irrégulier (Rouvillois,1975).

• Synthèse climatique sur la région d'étude

L'établissement d'une synthèse des facteurs climatiques à savoir la pluviométrie et la température fait appel à deux paramètres :

A. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953):

Le diagramme ombrothermique de Gausсен permet de déterminer les périodes sèches et humides de n'importe quelle région à partir de l'exploitation des données des précipitations mensuelles et des températures moyennes mensuelles (Dajoz, 2003).

D'après Frontier et al (2004), les diagrammes ombrothermiques de Gausсен sont constitués en portant en abscisses les mois et en ordonnées, à la fois, les températures moyennes mensuelles en (°C) et les précipitations mensuelles en (mm). L'échelle adoptée pour les pluies est double de celle adoptée pour les températures dans les unités choisies.

Un mois est «sec» si les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne et réputée «humide» dans le cas contraire (Frontier et al., 2004).

Pour localiser les périodes humides et sèches de la zone d'El Oued, nous avons tracé le diagramme ombrothermique. La période sèche s'étale ainsi sur l'ensemble des 12 mois de l'année (Fig06).

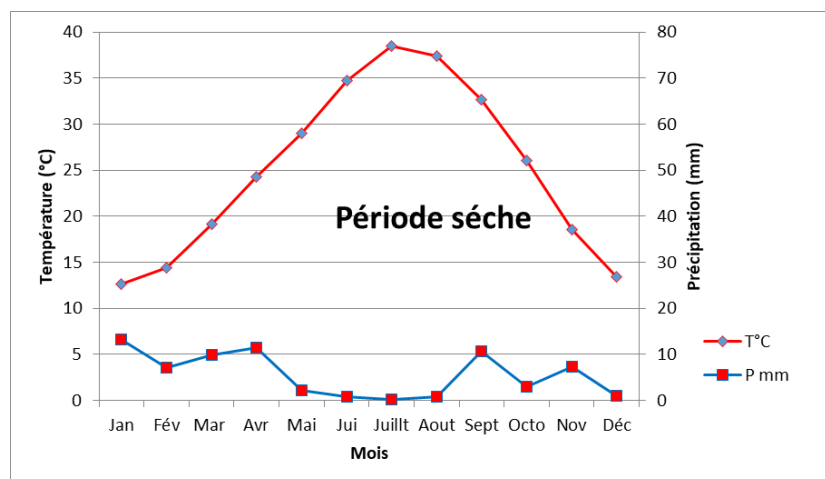


Figure 06 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен(1953) de la région d'El Oued durant la période (2009- 2019).

B. Climagramme d'Emberger

Le système d'EMBERGER permet la classification des différents climats méditerranéens (Dajoz, 1985 - 2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels, d'une part la sécheresse représentée par le quotient pluviométrique Q2 en

ordonnées et d'autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses. Il est défini par la formule simplifiée suivante (Stewart, 1969) :

$$Q = \frac{3.43 \times P}{M - m}$$

P : pluviométrie annuelle en mm.

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en °C.

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

Selon DAJOZ, 1985, le quotient pluviométrique est d'autant plus élevé que le climat est plus humide, FAURIE et *al.* (1998 - 2003) avancent également que cet indice n'est vraiment établi que pour la région méditerranéenne et qu'en fonction de la valeur de ce coefficient on distingue les zones suivantes :

humides pour $Q > 100$; tempérées pour $100 > Q > 50$; semi-arides pour $50 > Q > 25$; arides pour $25 > Q > 10$; désertiques pour $Q < 10$.

Grâce à cette formule il est possible de calculer le quotient pluviométrique de la zone d'étude de la région de Oued Souf qui est égal à $Q = 5.76$ avec $m = 5.97^\circ\text{C}$ ce qui permet de classer la zone dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Fig07).

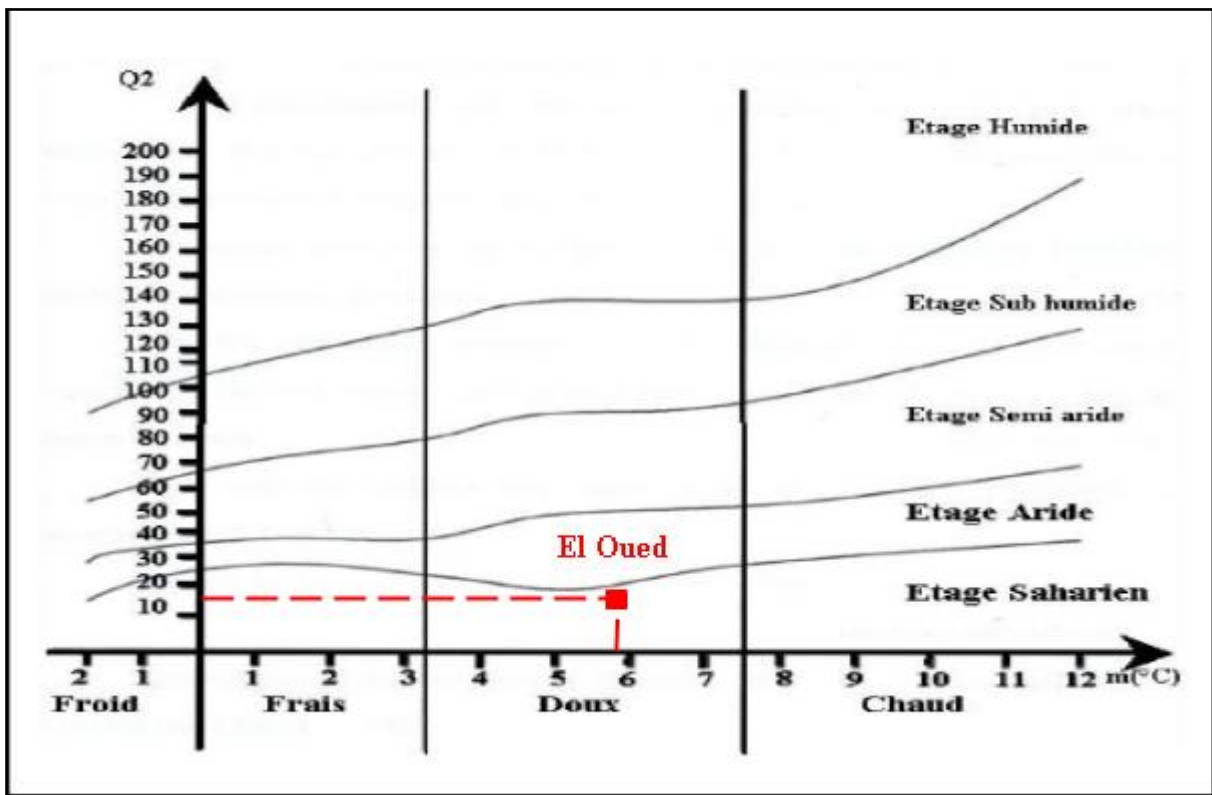


Figure 07: Etage bioclimatique de la région d'El Oued selon le diagramme d'Emberger (2009-2019).

1.1.2.2.Facteurs biotiques

Dans cette partie, on s'intéresse aux données bibliographiques de la faune et la flore de la région d'étude.

1.1.2.2.1.Données bibliographiques sur la flore de Souf

Le couvert végétal du Souf est ouvert ,a une densité faible avec une diversité aussi faible présenté par des plantes spontanées qui sont caractérisées par la rapidité de croissance, la petite taille et l'adaptation vis-à-vis les conditions édaphiques et climatiques de larégion.

Des arbustes rabougris et des touffes d'herbes espacées croissent aux pieds des dunes : le Souf n'est pas une région stérile, mais une région aride.Laflore spéciale est caractérisée par un certain nombre de traits déterminés qui sont : la rapidité d'évolution, l'adaptation au sol et au climat, le petit nombre des espèces, le caractère discontinu du matériel végétal (Voisin, 2004).

Plusieurs travaux sont effectués par différents auteurs Allal et Zerig(2008).Ces derniers signalent 30 familles végétales. La famille la plus riche en espèces est celle des *Poaceae* des plantes spontanées, représentée par *Cutandiadichotoma*(Forsk) et *AristidaPungens* (Desf).

1.1.2.2.2. Données bibliographiques sur la faune du Souf

Les deux principaux embranchements représentés dans la région d'El Oued sont les insectes, et les arachnides, aussi les vertébrés (mammifères, oiseaux, reptiles).de plus on trouve les carabée, les scorpions, le fennec et lagerboise, et plus de 20 espèces d'oiseaux, 32 espèces de reptiles, (23 lézards et 9 serpents) dont7 sont liées aux sables vifs des massifs de dunes, et 25 sont des formes sahariennes vraies, 55 espèces de mammifères dont 24 sont proprement sahariennes. Parmi les 20 espèces d'oiseaux de passage ou sédentaires dans le Souf,15 sont spécifiques au Sahara (Voisin, 2004).

Partie 02: Méthodologie

Dans le but de connaître l'état de pollution des eaux usées dans la wilaya d'El Oued, cette étude porte sur l'évaluation du degré de pollution des rejets important au niveau de cette région à travers la détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologique.

1. Méthode et stratégie de travail :

1.1. Technique de prélèvement :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière.

L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté de préférence bouchés émeri ou le cas échéant avec des bouchons en polyéthylène ou en téflon maintenus pendant 1 heure dans l'eau distillée puis séchés. Pour les analyses microbiologiques, les flacons utilisés doivent assurer une fois bouchés, une protection totale contre toute contamination. Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée, car il ne doit rester aucune trace d'un éventuel détergent ou antiseptique. Durant les prélèvements, les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon est placé de telle manière à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.

Les prélèvements s'effectuent dans les meilleures conditions de stérilisation.

1.2. Transport et conservation des échantillons.

Les échantillons d'eaux usées ont été recueillis dans des flacons en verre de 500 ml, ils ont été conservés dans une glacière dont la température est maintenue à 4°C conformément au guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons (Rodier, 2009).

1.3. Méthode d'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux :

La qualité des eaux usées du rejet a été évaluée à travers l'analyse des indicateurs de pollution physicochimique et bactériologique qui sont illustrés ci-dessous.

A noter que les traitements physico-chimiques sont effectués à la station d'épuration n° 1 (STEP1) de Kouinine, alors que les traitements bactériologiques sont réalisés au laboratoire Fatilab d'El Oued

1.3.1 Les paramètres physico-chimiques :

✓ Détermination de température et le pH

Principe : La température influe sur la quantité d'oxygène, la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de certaines maladies, et la

prolifération d'algues bleues qui libèrent des toxines. Le potentiel hydrogéné (pH) est en relation avec la concentration des ions hydrogéné présent dans l'eau ou les solutions. But d'analyse :

- Détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau.
- Pour sa mesure est effectuée à l'aide du pH-mètre de poche.

Appareil : pH Mètre (pH 510).

Electrode : Electrode de pH combiné.

Expression des résultants : La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil après l'immersion d'une électrode spécifique de pH dans l'échantillon.



Figure 08: pH Mètre (pH 510) de marque « hach »

✓ **Détermination de la conductivité :**

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique elle traduit le degré de minéralisation globale, et elle nous renseigne également sur le taux de salinité. La teneur de la conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. C'est un facteur vital à suivre lorsqu'on est intéressé par une réutilisation des eaux usées en agriculture (Shilton et al., 2005). Ces paramètres ont été mesurés avec la sonde multi paramètres WTW -Terminal 740.



Figure09 : Conductimètre (Terminal 740) de marque « WTW »

✓ Détermination des matières en suspension (MES)

But d'analyse : c'est de déterminer la teneur de matières en suspensions d'une eau usée.

Principe : L'eau est filtrée et le poids des matières retenues est déterminé par différence de pesée.

Appareillages :

- Papier filtre en verre diamètre 47 µm .
- Rampe de filtration sous vide.
- Pompe à vide ou sous vide.
- Etuve chauffé (105°C).
- Balance (0.001 g de précision).
- Le dessiccateur.

Formule : $M.E.S = (P1 - P2) \times 1000000 / 100 = (P1 - P2) \times 10000$. Avec :

P1 : Poids de filtre en vide.

P2 : Poids de filtre en plein.



Figure 10 : Papier filtre en verre de marque « filter-lab »



Figure 11 : Ensemble de filtration à vide de marque « Speed flow »



Figure 12 : Etuve chauffé (105°C) de marque « memmert »



Figure13 :Balance (0.001 g de précision) de marque « Denver »



Figure14:Le dessiccateur.

✓ **Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)**

Principe : L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostat est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacés en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP.

Appareillages :

- Réfrigérateur conservant à une température de 20C°;
- Flacons d'incubation à bouchons rodés de 510ml;
- Barrou-magnétique;
- Pastilles de KOH.

Expression des résultants :Lecteur de la valeur après 5 jours. $DBO5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$.



Figure 15 : la technique de détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)

1.3.2. Les paramètres bactériologiques

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur les principaux indicateurs de la contamination fécale, à savoir les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux et salmonelle. Le dénombrement bactérien a été effectué selon la méthode du NPP (le nombre le plus probable) et ces résultats sont déterminés à partir de la table de Mac Grady. (Rodier, 2009 ; Rejsek, 2002).

✓ Coliformes totaux :

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

✓ Coliformes fécaux :

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

✓ Streptocoques fécaux :

Ce groupe n'est généralement pas considéré comme pathogène, tout fois leur recherche associée celle des coliformes fécaux consiste un bon indice de contamination fécale car les streptocoques étaient un meilleur témoin que les coliformes fécaux pour des pathologies infectieuse (Potelon et Zysman, 1998).

✓ Clostridium :

Groupe de bactéries anaérobies (bactéries qui se développent en l'absence d'oxygène). Il existe plus de 100 espèces de *Clostridium*. Ils comprennent, par exemple, *Clostridium difficile*, *Clostridium perfringens* (également appelé *Clostridium welchii*) et *Clostridium botulinum*.

<https://www.medicinenet.com/clostridium/definition.htm>

✓ Salmonelle :

L'une des nombreuses bactéries anaérobies facultatives en forme de bâtonnet du genre *Salmonella*, qui peuvent pénétrer dans le tube digestif des humains et d'autres mammifères dans les aliments contaminés et provoquer des douleurs abdominales et une diarrhée violente. (<https://www.dictionary.com/browse/salmonella>)

Le tableau ci-après résume les techniques adoptées pour l'analyse bactériologique :

Tableau 03 : Germes recherchés sur les eaux usées avant l'expérimentation.

Germes recherchés	Description de la méthode	Références
Coliformes Totaux	Milieu PCA (gélose standard avec glucose)/Incubation à 37°C	Rodier, 2009
Coliformes Fécaux	Milieu présomptif : Bouillons lactosé au proupre de bromocrésolé double concentration avec cloche de durhan /Incubation à 37°C Pdt 24h. Milieu confirmatif : (test de Mackensie) : Shubert- Eau peptonée exempte d'indole – Incubation à 44°C	Rodier, 2009
Streptocoques Fécaux	Milieu présomptif :Rothe (D/C) – Rothe (S/C)	Rejsek,2002
Salmonella	Milieu d'enrichissement : Bouillon sélénite de sodium Milieu d'isolement : Gélose S-S, Mac conkey, Gélose hectoen – Description des bactéries avec la coloration de Gram- Test de l'oxydase-identification à travers la galerie biochimique classique	Rejsek, 2002

***Chapitre III : Résultats et
discussion***

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans un premier temps les différents résultats relatifs à la constitution physico chimique et bactériologique des eaux usées brute du rejet d'El Oued (STEP 1) qui seront simultanément comparé à ceux obtenus de deux rejets différents à savoir Biskra et Annaba. Puis nous présentant les résultats des mêmes paramètres traités au préalable de la région de Biskra et Annaba uniquement, après épuration afin de montrer l'efficacité du *phragmite australis* dans la purification des eaux usées.

1. Résultat des analyses des paramètres physico chimique et bactériologiques des eaux usées et approche comparative :

L'étude suivante montre une comparaison entre les résultats des analyses des eaux usées brutes obtenus dans chacun des régions suivantes : El oued, Annaba et Biskra.

1.1. Résultats des analyses des paramètres physicochimiques :

1.1.1. Variation de la température :

La température reste un paramètre dont la détermination est souvent négligée. Son contrôle est indispensable. De plus elle joue un rôle important dans la qualité de l'épuration et elle réduit le colmatage

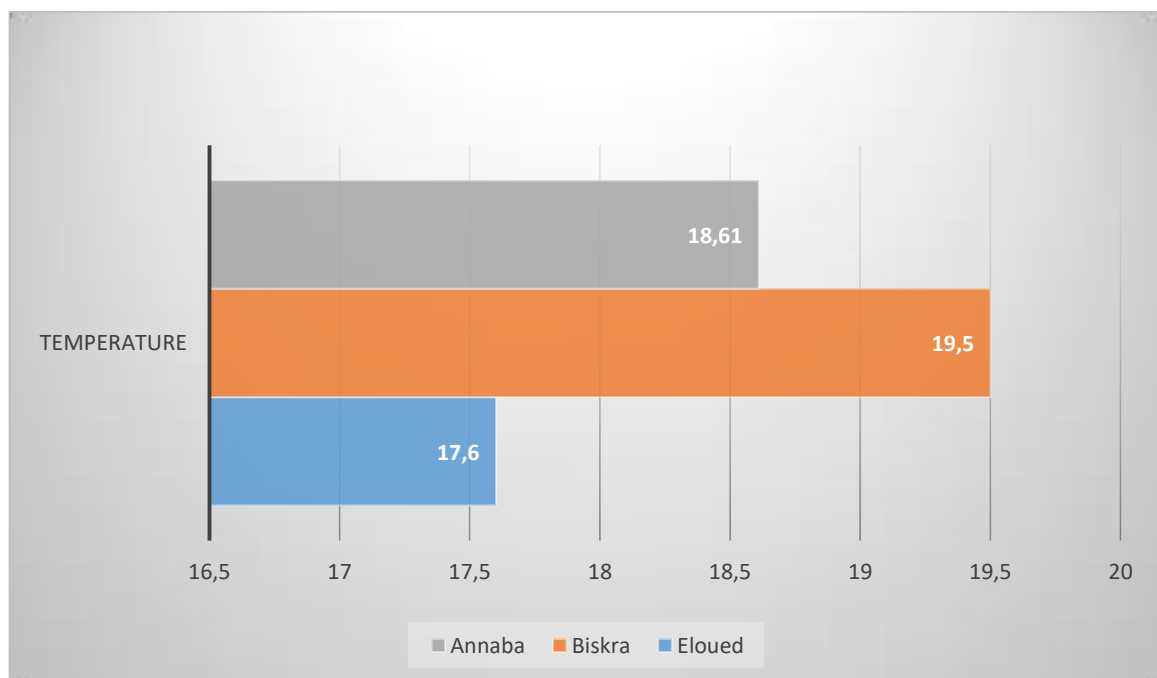


Figure 16: Variation de la température des eaux usées brutes des 3 régions

Les résultats de la prise de température pour le rejet de la région d'El Oued montrent une valeur de 17.6 C. Les rejets de la région d'Annaba et Biskra enregistrent respectivement des températures de 18.61C et 19.5C.

Ces valeurs sont conformes aux résultats obtenus des travaux antérieurs de Hemeir (2014) et Derraji (2015) et 4 et aux normes algériennes de rejets des eaux usées dans la nature. Selon Bechac et al. (1987). Le fonctionnement de certains ouvrages de la chaîne de traitement (dégraisseurs) nécessite que l'effluent présente une température inférieure à 30°C.

1.1.2. Variation du pH :

Le potentiel hydrogène (pH) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH de neutralité.

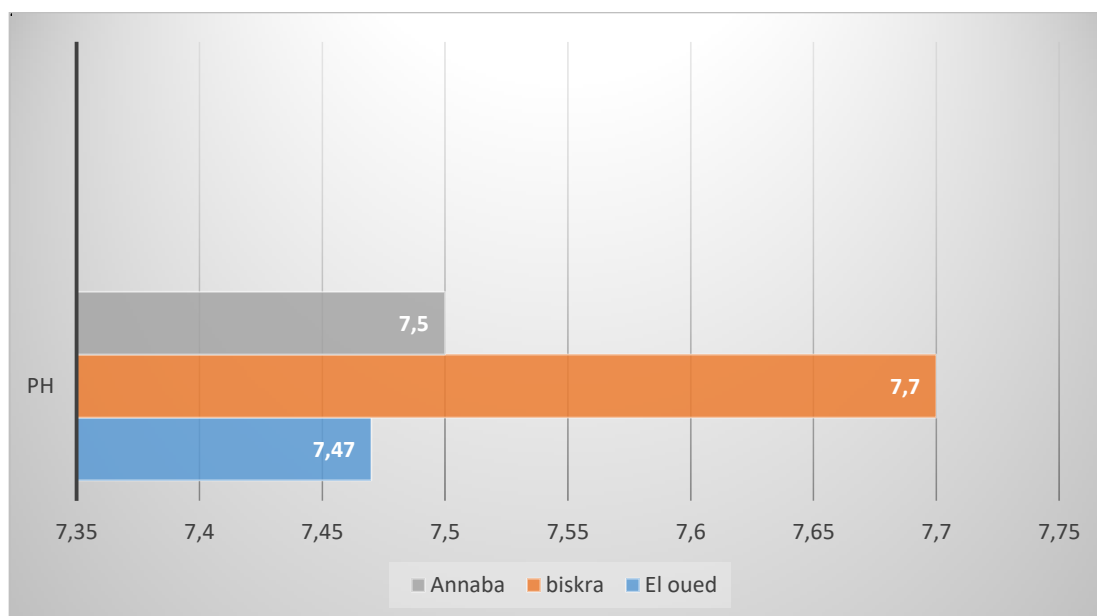


Figure17 : Variation du potentiel hydrogène des eaux usées brutes des 3 régions.

L'analyse de l'histogramme relative à la variation du pH, montre une valeur de 7.47 enregistré des eaux usées évacuées par le rejet d'El Oued, comparativement un pH de 7.5 pour le rejet d' Annaba et 7.70 pour celui de Biskra.

Nous pouvons dire que ces résultats du pH des eaux brutes sont caractéristiques des eaux résiduaires urbaines, ces valeurs répondent aux normes de rejet Algérienne (5.5-8.5), des résultats similaires ont été enregistrés au Maroc (Salama et al. 2012).de plus d'après Olivier, (1995), le pH d'un rejet doit être compris entre 5,5 et 8,5. Plus un effluent s'éloigne du 7 (neutre) plus la vie biologique n'est difficile.

1.1.3. Variation de la conductivité :

La mesure de la conductivité permet d'évaluer très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

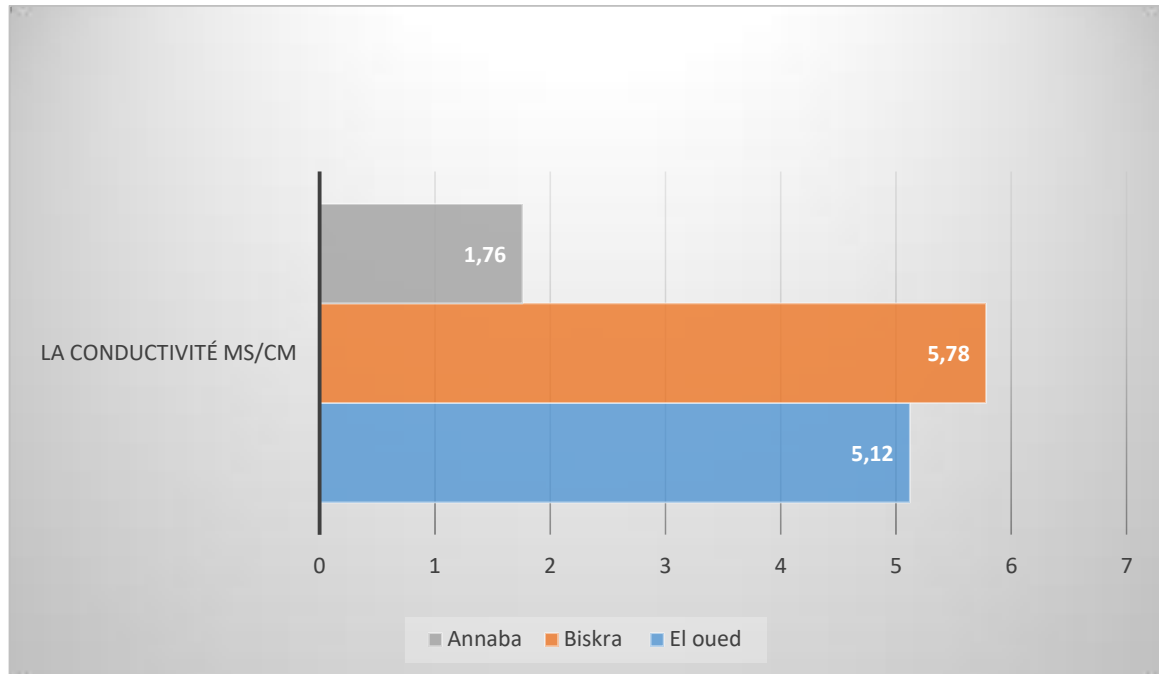


Figure 18 : Variation de la conductivité électrique des eaux usées brutes des 3 régions.

La conductivité enregistrée au niveau du rejet d'El Oued est de 5,12 ms/cm, qui est très proche de la valeur de la conductivité électrique mesurée dans le rejet de Biskra qui est de 5,78 ms/cm, comparativement à celui de Annaba avec une valeur très faible 1,76ms/cm

Nos résultats suivent les valeurs journalières de la conductivité électrique des eaux brutes obtenues par Abid et Lechaari (2017) qui varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 2,59 ms/cm au maximum de 9,3 ms/cm.

En d'autres termes, ces valeurs indiquent une minéralisation importante de l'eau synchronisée avec une dégradation de la matière organique et MES par les bactéries dans les deux rejets sahariens. Alors que la valeur de la conductivité électrique enregistrée au niveau d'Annaba est inférieure à la norme algérienne qui est égale à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (J.O.R.A, 1993) qui peut indiquer le manque de minéralisation des eaux prélevées dans ce rejet.

1.1.4. Variation de MES (matière en suspension) :

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (Marc et Bechir, 2006).

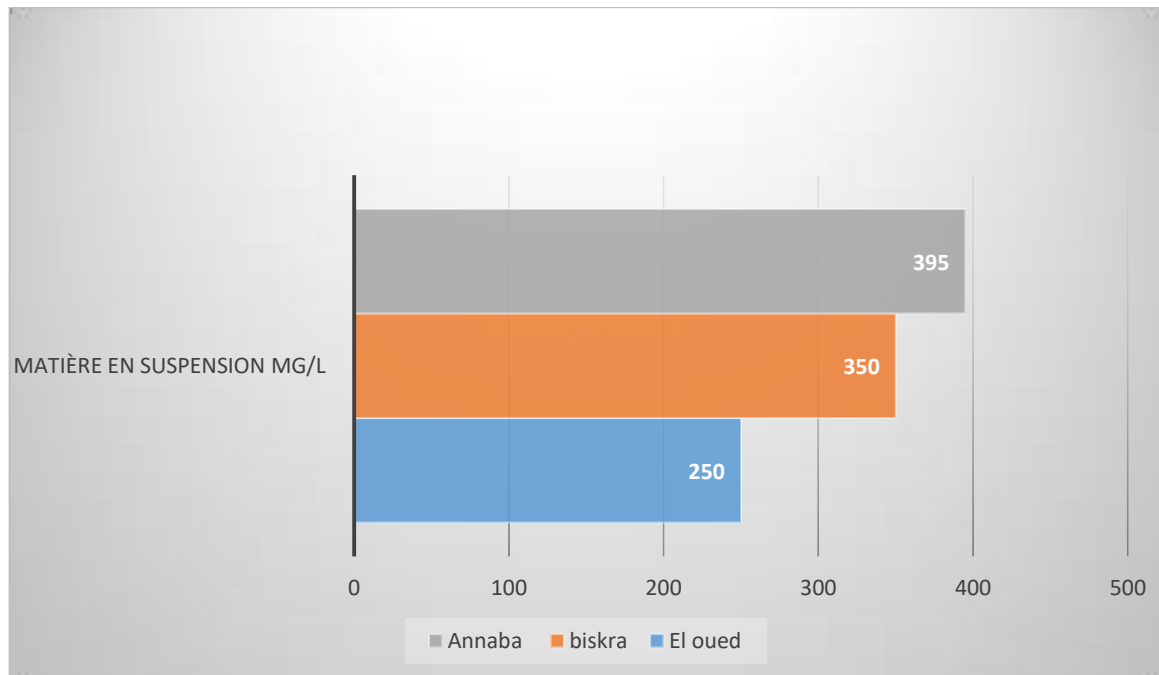


Figure 19: Variation de MES des eaux usées brutes des 3 régions.

Les matières en suspension mesurés pour le rejet d'El Oued est d'une concentration de MES de 250 mg/l qui correspond à ceux enregistrée par Benammeur (2014) au niveau du rejet Chabet Roba de Biskra avec une concentration de MES égale à 245,276 mg/L. ce qui reflète une minéralisation excessive. Cet endroit est enrobé par la végétation provoquant le phénomène de l'évapotranspiration ainsi que la mort naturelle des racines.

Cependant, la concentration mesurée au niveau des rejets de Biskra et Annaba se rapprochent qui sont respectivement de 350 mg/1 pour rejet de Biskra et 395 mg/1 pour rejet d'Annaba.

En effet, la teneur et la composition minérale ou organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables. Néanmoins des teneurs élevées en MES peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique et créer des déséquilibres entre les diverses espèces interférer avec la qualité d'eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques. Cette

mesure permet donc de connaitre la quantité de matière non dissoutes, qu'elles soient organiques ou minérales, présentes dans un échantillon (Moll, 1999, 2008).

1.1.5. Variation de DBO5 :

La DBO, ou Demande Biochimique en Oxygène correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique.

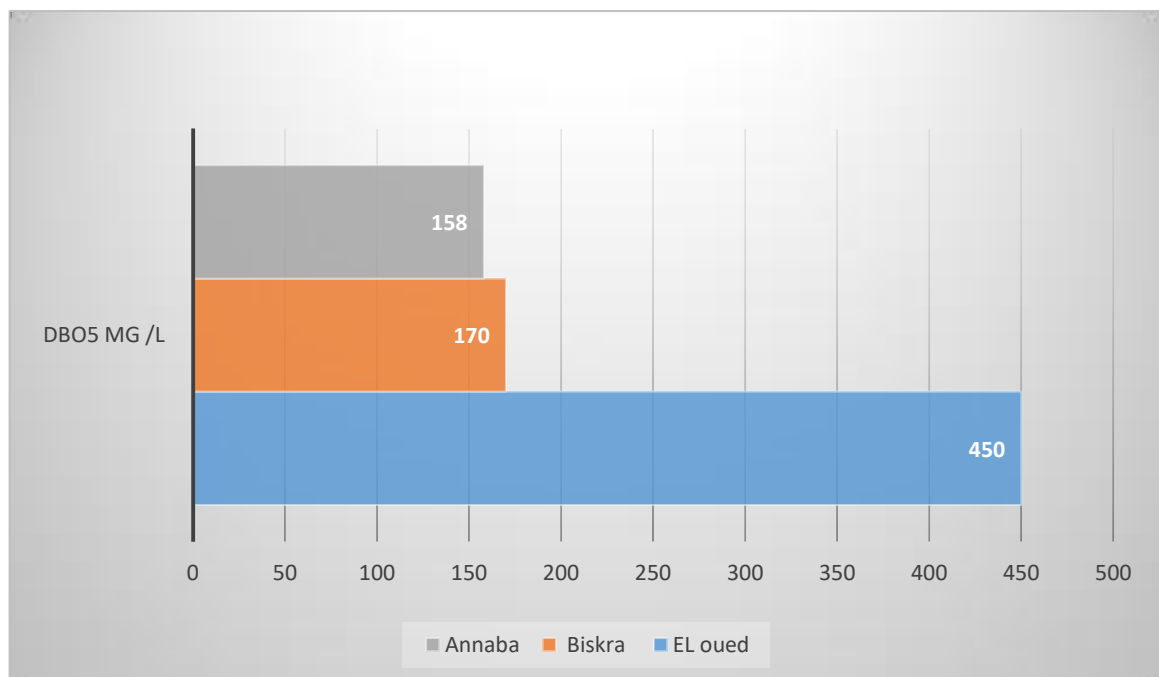


Figure20 : Variation de DBO5 des eaux usées brutes des 3 régions

L'analyse de l'histogramme relative à la variation du DBO5, montre que le rejet d'El Oued présente une valeur DBO5 considérablement élevée qui est de 450mg/l, par rapport à ceux enregistré à Biskra qui est de 170 mg/l, et 158 mg/l pour le rejet d'Annaba.

Ces concentrations dépassent énormément la norme Algérienne qui ne dépasse pas 40 mg/l.

Pour évaluer la qualité de ces eaux nous avons appliqués l'échelle de valeurs de DBO5 (Norme NF EN 278888-ISO7888). Nous avons constatés que la concentration des eaux usées des trois rejets se situe dans la classe des eaux d'égouts, avec l'intervalle : $100 < C < 400$.

La demande biochimique en oxygène est l'un des paramètres physico-chimiques d'estimation du carbone organique biodégradable dans une eau. En milieu pollué, le carbone est utilisé par les bactéries comme source d'énergie et pour la synthèse de nouvelles cellules.

Cette dégradation peut se faire en présence ou en absence d'oxygène (Boutin, 1987). Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante entraîne une consommation de l'oxygène) au cours des procédés d'autoépuration (Agence de l'eau Rhones Méditerranée et Crose, 1999).

1.2. Résultats des analyses des paramètres bactériologiques :

Les eaux usées sont des milieux favorables pour la croissance et la prolifération des germes pathogènes tels que les germes totaux, les coliformes fécaux, coliformes totaux, streptocoques fécaux, clostridium, les salmonelles et les vibrions cholériques.

Les résultats de certains indices bactériologiques des eaux usée brutes, effectuées au niveau du rejet d'El Oued et éventuellement ceux de Annaba et Biskra avec les normes approuvés sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 04 : tableau des résultats bactériologiques obtenus dans les trois régions.

Rejet	El oued	Biskra	Annaba	Normes algériennes	OMS
Coliformes totaux 37°C/ 100 ml	1100	1100	50,15 (x10 ³ germes/100 ml)	< 10/ 100 ml	<0/100ml
Coliformes fécaux 44°C/100 ml	1400	460	16,5 x 10 ² germes/100ml	< 0/ 100 ml	< 0 /100 ml
Streptocoques fécaux ° C 100ml	Abs	300	52,33 germes x10 ² /100ml	0/ 100 ml	< 0 /100 ml
Salmonelles	Abs	Abs	2,5 germes x10 ² /ml	< 0 /100 ml	< 0 /100 ml

Les résultats des analyse relative au indice bactériologique montre une augmentation significative de la quantité des coliformes totaux dans les deux régions El oued et Biskra jusqu'à ce qu'il devienne indénombrable 1100/100 ml par rapport à sa quantité très élevés dans le rejet d'Annaba ou il atteint 186.66 x10³ /100 ml.

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 (Bedouh, 2014). En effet d'après Lebres, (1990), les coliformes regroupent des Entérobactéries ayant certains caractères communs et pouvant avoir une signification sanitaire en raison de leur origine

fécale. Ils représentent donc de bons indices, témoins de contamination fécale. Leur présence est constante dans les fèces humaines et animales.

Néanmoins, l'évolution saisonnière des coliformes totaux est marquée par la réduction des valeurs en période hivernale en raison de leurs dilutions, et leur augmentation en période estivale période de fort ensoleillement et de grandes températures (Derradji, 2015).

De même le dénombrement des Coliformes fécaux dans le rejet d'Annaba révèle un taux supérieur à celui des rejets d'El Oued et Biskra. Sachant que, les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C, l'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli*(*E. coli*) (Edberg *et al.*, 2000). Leur présence témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale ou provenant d'eaux enrichies en matière organique (Barthe *et al.*, 1998).

L'analyse du tableau fait ressortir, une absence totale des streptocoques fécaux dans le rejet d'El Oued, une concentration de 300 germes /100 ml au rejet de Biskra, alors que une concentration très importantes est enregistré au niveau du rejet d'Annaba ($11,33 \times 10^2$ /100 ml). Cette augmentation bactérienne peut être expliquée par l'élévation de la température qui est un facteur de prolifération des bactéries indicatrices de pollution (Souiki, 2008).

Pour ce qui concerne les salmonelles, on remarque également leurs absences totales du rejet d'El Oued et aussi de celui de Biskra, bien que une valeur assez élevé de 2.5×10^2 germes / 100 ml est enregistré dans la région de Annaba. En effet les salmonelles font parti de la famille des Entérobactéries. Ce sont des bacilles à Gram négatif de 1 à 3 microns, mobiles, aérobie-anaérobies, non sporulés, poussant facilement sur des milieux de culture ordinaire en 24 à 48 heures. Elles n'acidifient pas le lactose mais fermentent le glucose et possèdent une nitrate-réductase mais n'ont ni oxydase ni Uréase (Bourrillon, 2008)

2. Résultat des analyses des paramètres physico chimiques et bactériologiques des eaux usées après épuration par le phragmite :

Dans ce qui suit on va dresser les différents résultats des analyses physico chimique et bactériologiques des eaux usées du rejet d'Annaba et Biskra après traitement et épuration par un macrophyte (*phragmites australis*) afin de montrer l'efficacité de celui-ci contre la pollution.

Les résultats de l'épuration des eaux usée sont mentionnés dans les tableaux (03et 04) suivant :

Tableau 05 : Résultats de l'analyse des paramètres physicochimique avant et après épuration dans les régions d'Annaba et Biskra.

Rejet	Biskra		Annaba		Normes
Paramètres	EUB	EUEp	EUB	EUEp	/
Température	19.5	16.5	18.61	19	/
Ph	7.7	7.5	7.07	6.9	/
Conductivité ms/cm	5.12	10.8	1.017	0.6	/
MES Mg /l	372	32	352.83	18	40 mg /l
DBO5 Mg /l	170	10	140.66	12	40 mg /l

Tableau 06 : Résultats de l'analyse des paramètres bactériologiques avant et après épuration dans les régions d'Annaba et Biskra

Rejet	Biskra		Annaba		Normes
Paramètres	EUB	EUEp	EUB	EUEp	/
Coliformes totaux 37°C/ 100 ml	1100	93	50,15(x10 ³ germes/100 ml)	22x10 ²	/
Coliformes fécaux 44°C/100 ml	460	9	7 x10 ³ germes/100ml	02	/
Streptocoques fécaux ° C 100ml	300	0	9x10 ² germes/100ml	0	/
Salmonelles	Abs	0	2,5 germes x10 ² /ml	Non calculé	40 mg /l

L'analyse des tableaux fait ressortir une diminution significative de l'ensemble des valeurs des indices : pH, conductivité, MES et DBO5, coliformes totaux, coliformes fécaux et les streptocoques fécaux prélevés dans les eaux usées après épuration par le *phragmites australis*, des rejets situés d'Annaba et Biskra.

Le suivi du pH peut renseigner sur le déroulement de l'épuration. Si le système d'épuration fonctionne correctement, le pH sera proche de la neutralité, c'est le pH le plus favorable à l'activité bactérienne. Il apparaît assez nettement que la vitesse de la nitrification est influencée par le pH.

D'après (Franck, 2002), pour le processus d'épuration aérobie, la biomasse a besoin d'un pH proche de la neutralité pour réaliser son activité épuratrice.

La température joue un rôle important dans la qualité de l'épuration en réduisant le colmatage qui menace la phyto-épuration. En effet, Makni (1995) a montré que la capacité d'épuration dépend de la température qui semble influencer les cinétiques d'oxydation de la pollution dissoute. Une basse température ralentit l'activité bactérienne.

Pour la région de Biskra la présence des roseaux intervient certainement dans cette augmentation de la conductivité. La même constatation est effectuée par Abissy et Mandy (1999); d'autres résultats similaires sont obtenus par Finlayson et Chick (1983). Ils ont associé cette augmentation de la conductivité au phénomène d'évapotranspiration de la végétation, qui tend à concentrer davantage l'effluent.

La conductivité électrique augmente d'une manière importante, ce qui indique une minéralisation de l'eau synchronisée avec une dégradation de la matière organiques et MES par les bactéries.

Concernant la région de Annaba les *Phragmites australis* ont tendance à accumuler les sels dissous ce qui explique la diminution de la conductivité de l'eau au niveau des cuves plantées des roseaux. Concernant la cuve non plantée la diminution pourrait être expliquée par la filtration et la sédimentation des particules et des sels minéraux à travers le massif de sable et de gravier (Tanner et al., 1995).

La masse de la matière en suspension a nettement diminué. Ces importants résultats sont expliqués par le fait que le massif implanté par *Phragmites australis* permet une bonne élimination des matières en suspension et matières organiques dégradé par l'activité bactérienne au niveau des racines (Vymazal, 2005). La présence des roseaux empêche le colmatage et améliore nettement la capacité de décantation, de plus sa densité présente un obstacle physique pour les particules et permet la clarification de l'eau qui était au départ trouble, des résultats similaires ont été enregistrés par (Mimeche et al., 2010).

Nos résultats montrent un abattement très important de la DBO5 dans les deux filtres plantés par rapport au filtre nu; résultats confirmés par (Bensmina et al., 2013) et (Garcia et al., 2005). Ceci est lié à une meilleure oxygénation du substrat dans le lit à *Phragmites australis* permettant aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation et oxydation de la matière organique.

Tous ces résultats montrent qu'il y a un abattement de la teneur en bactéries : coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, dans les eaux usées récupérés des filtres plantés.

Concernant la détection des autres paramètres tels que les Salmonelle nous avons remarqués qu'il y avait absence totale aux niveaux de rejet de Biskra contrairement au rejet de Annaba.

Conclusion

Conclusion :

L'eau est très inégalement répartie dans le monde. La demande de cette source est de plus en plus croissante pour faire face aux problèmes de son manque. Il est clair et indéniable qu'il ne peut y avoir de développement durable sans la maîtrise de cette ressource et plus particulièrement pour les pays arides et semi arides.

Chaque jour des quantités énormes des eaux usées sont rejetées dans la nature sans subir aucun traitement préalable. Ces eaux, rejetées dans la nature à l'état brute, engendrant des impacts directs sur la dégradation de l'écosystème et de la santé humaine, ou sont développés des foyers de propagation de certaines maladies à transmission hydrique (typhoïde, cholera,...), insectes nuisibles (les moustiques notamment) notamment la contamination de la nappe phréatique très proche de la surface.

Il ressort du présent travail, que la constitution des paramètres physico chimiques d'un rejet civile de la ville d'El Oued, le qualifié dans la norme polluée, les valeurs enregistrées sont proches de ceux obtenus de l'analyse des rejets d'Annaba et Biskra.

Il a signalé aussi la présence d'indices bactériologiques avec des concentrations qui répondent aux normes de pollution, excepté l'absence totale des streptocoques et salmonelles.

En revanche, il résulte de l'approche comparative une diminution nette et considérable des indices de pollutions physico chimiques et bactériologiques des rejets d'Annaba et El Oued après épuration par filtre planté.

L'épuration des eaux usées par ce mécanisme, apparaît comme une technique incontournable pour le développement durable des stratégies d'assainissement. En effet elle participe, à la protection des écosystèmes de tous risques de déficience et qui surtout elle offre la possibilité de réutiliser les eaux usées dans les domaines agricoles et industriels.

Références bibliographiques

- Abid Chaima, LECHAARI Ikram**, Audit de procédé technologique de traitement des eaux usées, cas ONA Kouinine, El-Oued, Année universitaire ,2016/2017 , UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA .
- Abissy et Mandi. 1998**. Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines: cas du roseau, revue des sciences de l'eau, 12: 285-315
- Anne,2001**: Epuration des eaux usées domestique par les bassins filtres à plantes aquatiques. Rivière de l'association EaVivante .
- Arris S., (2008)**, Etude Expérimentale de l'Elimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales, En vue de l'obtention DU Doctorat en sciences en génie des procédés. Département de chimie industrielle, p.7.
- Astebol, S.O, Hvitved-Jabobsen T, Simonsen, O, (2004)**: Sustainable stormwater management at Fornebu -from an air port to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway, Science of The Total Environment 33.
- Bahroun S. et Kherici Bousnoubra H, 2011**. Evaluation de l'indice de pollution organique Dans les eaux naturelles cas de la région d'El Taref (Nord -Est Algérien). Larhyss Journal9, 171-178.
- Bahmed L., Djebabra M. et Abibsi A. (2004)**. Demerche d'intégration du concept qualité – sécurité – environnement aux systèmes d'alimentation en eau potable. Journal du laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface. Recherches 2002-2003, n°3. Université de Biskra, pp 117-120.
- Balestri F., Moschini R., Cappiello M., Del-Corso A., Mura U, 2013**. Impact on enzyme,activity as a new quality index of wastewater. Journal of Environmental Management 117, 76- 84.
- Baumout S. Cammrdr J.P. (2002)**, Le franc A & Francon A. Réutilisation des eaux usées épurées. risques sanitaire et faisabilité en Ile-de France, Paris, p.p. 12-27
- Bechac J.P. et Boutill P. 1987**. Traitement des eaux, Edition 2 Eyrolles, Paris, 281p.
- Beiere, 2009** : Eco-gestion d'habitats Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement.
- Bennasser L., Fekhaouf M., Benoit J., Merlin G, 1997**. Influence of tide on water quality of lower sebou polluted by gharb plain wastes (Morocco). Water Resources 31(4),859-867.

- Bensmina-Mimeche L., Debabeche M., Mekaoussi S, 2009.** Epuration des eaux usées domestiques par les macrophytes dans un milieu semi-aride; séminaire international d'hydraulique El oud.
- Bhupinder Dhir, P. Sharmila, and P. PardhaSaradhi, (2009).** Potential of Aquatic Macrophytes for Removing Contaminants from the Environment. *Environmental Science and Technology*, 39: p.754–781.
- Bitton G., (2005),** Wastewater microbiology, 3eme edition., Ed., wiley-Liss. 765 p
- Bliefert C et Perraud, (2010),** Chimie de l'environnement, Air-Eau-Sols-Déchets, Paris.
- Bonjoch, X., E. Balleste', and A. R. Blanch. (2004).** Multiplex PCR with 16S rRNA gene-targeted Primers of *Biobacterium* spp. to identify sources of fecal pollution. *Appl. Environ. Microbiol.* 70: p.3171–3175.
- Bouslah S., Tachi S., Soufi A, 2012.** Impact of the urban and industrial rejection on the environment « Annaba, North - Est Algeria ». *Energy Procedia* 18, 581 – 586.
- Boutin C, 2006.** Usage de filtres plantés de roseaux dans le traitement des eaux usées du « petit collectif ». Ministère de l'Agriculture, Paris, France, 2p.
- Cluus Bliefert., Robert Perraud, (2010).** Chimie de l'environnement air eau sol déchets. Edition DE Boeck .
- Colley R., Mara D, 2005.** Pond treatment technology, IWA Publishing, London, Seattle, 479p.
- Carleton, J.N., Grizzard, T.J., Godrej, A.N., Post, H.E. (2001).** Factors affecting the performance of storm water treatment wetlands, *Water Research* 35: 1552-1562.
- Cors Marie, 2007:** Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques. Le meilleur choix environnemental en zone rurale Dossier IEW Inter-Environnement Wallonie.
- Dajoz R., (1985),** Précis d'écologie. Édition Dunod .331 p.
- Derradji M., Souiki L., Berrebbah H., Djebbar MR, 2014.** Assessment of the bacteriological contamination of the wastewaters in Annaba's main discharges (North-Eastern Algeria). *IJB* 4(1), 112-114.
- Delarras C, (2010),** Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation – Micro-organismes Prélèvement –Analyse .2ème édition. LAVOISIR, p.88-100.

- Djesjardins. R., 1997.** Traitement des eaux. 2ème édition. Canada : Presses internationales polytechniques.304p.
- Dugniolle H. 1980.** L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC-revue n°3-septembre, pp. 44-52.
- El Moustaine R., Chahlaoui A., Bengoumi D., Rour E.H., Belghiti L, 2013.** Qualité de l'eau en élevage avicole dans la région de Meknes (Maroc) impact sur la santé et la production. Larhyss Journal 13, 47 - 61.
- Franck R, 2002.** Analyse des eaux : Aspects réglementaire et techniques. Edition CRDPAquitainedécembre.
- García-Limones C., Hervás A., Navas-Cortés JA., Jiménez-Daíz RM., Tena M, 2002.** Induction of an antioxidant enzyme system and other oxidative stress markers associated with compatible and incompatible interactions between chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. *Physiol Mol Plant Pathol* 61, 325–337.
- Hade. A., 2002.** Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger. Canada : Fides. 359 p.
- Heisler J., Glibert PM., Burkholder JM., Anderson DM., Cochlan W., Dennison WC., Dortch Q., Gobler CJ., Heil CA., Humphries E., Lewitus A., Magnien R., Marshall HG., Sellner K., Stockwell DA., Stoecker DK., Suddleson M, 2008.** Eutrophication and harmful algal blooms: a scientific consensus. *Harmful Algae* 8, 3–13.
- Molle P, 2003.** **Filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore.** Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 280 p.
- Journal Officiel de la République Algérienne J.O.R.A, 1993.** Normes de rejets dans le milieu récepteur. Art. n°46 (10 juillet), pp. 7-12.
- Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A), 2005.** La prévention et la protection contre les pollutions. Art n° 60 (du 4 septembre 2005), p8.
- Khattabi H., Belle E., Servais P., Aleya L, 2007.** Variations spatiale et temporelle des abondances bactériennes dans quatre bassins de traitement du lixiviat de la décharge d'Étueffont (Belfort, France). *Comptes Rendus Biologies* 330, 429 – 438.
- Kozłowski R, Kozłowska J, Grabowska L, Mankowski J, Szpakowska B., (2002)** Métaux lourds dans l'environnement, menaces et possibilités de riposte. Centre de recherche pour l'agriculture et la forêt. Académie des Science Polonaise, POZNAN, Pologne.
- Leclerc H., Gailard J.L., Simonet M.,(1995),** Microbiologie générale : la bactérie et le monde bactérien. Edition .Doin. p.535.

- Loehr R.C., Pollution Control for Agriculture. Academic Press, 1977, New York, NY, p. 382**
- Lynch, P.A., B.J. Gilpin, L.W. Sinton, and M.G. Savill. (2002).** The detection of *Bi. Dobacteriumadolescentis* by colony hybridization as an indicator of human faecal pollution. *J. Appl. Microbiol.* 92: p.526–533.
- Makni M. H. 1995.** L'oxydation et la décontamination en infiltration percolation, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, Science et technique du Languedoc, 200 p.
- Marc S. et Béchir S., (2006),** Guide technique de l'assainissement. 3^e édition. Ed., le Moniteur., Paris.713p. Martin G., 1979. Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris, 279p.
- Maurice Bernard, (1994).** Cours de chimie minérale, 2^eme édition DUNOD, Paris
- Meddjoubet T , 2014 :** Etude ,conception et dimensionnement d' une STEP par filtre plantés de réseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny .
- Metahrimohammed Saïd ,2012:** élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes.cas de la step est de la ville de tizi-ouzou
- Metcalf et Eddy (2003).** "Wastewater Engineering- Treatment and Reuse", Editions McGraw Hill,4^{ième} édition, 233pp.
- Mimeche Leila Mahmoud Debabeche , Halima Mancer (2012).** Analyse du Pouvoir Epuratoire D'un Filtre Implante de Phragmite Australis Pour le Traitement des Eaux Usées Sous Climat Semi-Aride- Region de Biskra. *Journal International EnvironmentalConflict Management, Santa Catarina – Brazil*, 1, pp. 10-15.
- Moll D., (2005),** Les normes de rejet des eaux et les paramètres d'analyses de la pollution (Grenoble eau pure rapport)
- Pauline M.S, 1995:** Cours de procédé unitaires biologiques et traitement des eaux. Edition OPU, Ben Aknoun, Alger.
- Payment P., Godfree A., and Sartory D. (2002).** *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, pp. 861–871, Wiley-Interscience, N.Y .
- Potelon J. E., Zysman K, 1998,** Guide des analyses de l'eau potable, Ed. « La lettre du cadre territoriale ». S.E.R.T. Dossier d'expert, France.
- Poulet JB., Terfous A., Dap S., Ghenaim A, 2004.** Stations d'épuration à lits filtrants

plantés de macrophytes. Courrier du Savoir 5,103-106.

Rejsek F, 2002. Analyse des eaux – aspects réglementaire et techniques-. Edition scérén.110p.

Renuka N., Sood A., Prasanna R., Ahluwalia AS, 2014. Influence of seasonal variation in water quality on the microalgal diversity of sewage wastewater. South African Journal of Botany 90, 137–145.

Saggai M, 2004. Contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de La Ville de Ouargla. Mémoire de magister, Université de Ouargla, 86p.

Salama Y., Mountadar M., Rihani M., Assobhei O, 2012. Evaluation physicochimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'El Jadida (Maroc). ScienceLib Editions Mersenne 120906(4), ISSN : 2111-4706.

Sciences Eaux et Territoires,2014 : Note – Des macrophytes pour épurer les eaux N°15.

Souiki L, 2008. Caractérisations biochimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de Biskra et purification par le procédé biologique Phragmifiltre. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 174p.

Suwasa Kantawanichkul and Wanida Duangjaisak, (2011). Domestic wastewater treatment by a constructed wetland system planted with rice Water science et technologies 2376-2380 Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 39:p754–781.

Olivier T., (1995), Métrologie des eaux résiduaires. TEC et DOC, Paris. p : 7- 57.

Vilagines R. (2003). Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie, 2^e édition.

Vymazal J, 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecol. Eng 25, 478-490.

Yvan S. J, Cécile T, Michel J, 2002: Dossier « Assainissement autonome. Histoires d'eau usée », revue la maison écologique n° 8.

Zgheib S, 2009. Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Thèse de Doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, 349p.

