

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El oued



Faculté de Technologie

Département : Hydraulique et Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option: Ouvrages hydrauliques

THEME

**La réutilisation des eaux usées en agriculture à partir
de la station d'épuration (STEP 2) de la wilaya
El- Oued**

Dirigé par :présenté par :

➤ Dr. BOUCHEMAL Fattoum

*OMANE Mohammed

* SAHRAOUI Ilyes

* DAGASad

Soutenu devant un jury composé :

Dr. Président

Dr. Examineur

Promotion:2020/2021



Remerciements

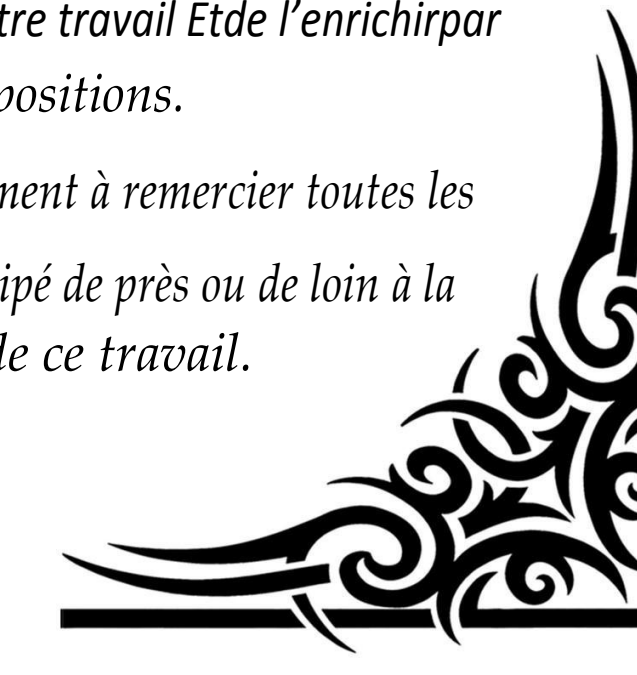
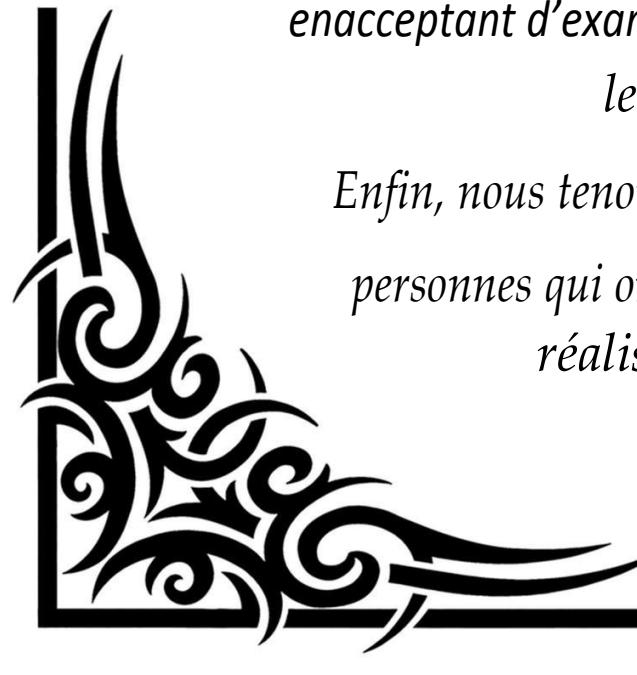
*Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et
miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir
ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadrant
M^{me}: Bouchemal, sa précieuse conseil et son aide durant toute la
période de travail.*

*Il n'est jamais facile pour un étudiant de trouver un stage, c'est pour
quoi nous remercions l'entreprise de la station d'épuration
Step 2
Eloued pour la confiance qu'elle nous a accordée, son accueil et son
intégration*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du
jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche
en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par
leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les
personnes qui ont participé de près ou de loin à la
réalisation de ce travail.*



DEDICACES

Je dédie ce travail à:

**Ma très chère mère qui m'atoujours apportéeson amour et
son affection**

**Mon cher père, qui m'atoujours encouragée, conseillée et
soutenue dans mon travail**

Ma très chère sœur

Mes très chers frères

Toute ma famille et belle famille

Mes camarades de la promodepost-graduation 2020/2021

Mes très chers amis

MOHAMMED

Dédicaces

A...

Mon dieu seul pour son succès,

L'âme de mon cher frère Zinelabidine

Mes parents qui me sont les plus chers au monde,

Toute ma famille

Doyen de la faculté technologie Chemsal Ali,

Toute la promotion Ouvrage hydraulique 2021,

A tout, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.

Ilyes

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

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

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

Ma très chère sœur Mes très chers frères

Mon mari, qui m'a vraiment encouragée Toute ma famille et belle famille

*Mes camarades de la promo de post-graduation 2020/2021 Mes très
chers amis*

Sad

Sommaire

Remerciements	I
Dedicaces	II
Sommaire	V
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
Résumé.....	XII
Introduction générale :	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Chapitre I: Généralités sur les eaux usés	
I.1.Introduction :.....	3
I.2.Définition des eaux usées	3
I.3.Origine des eaux usées.....	3
I.3.1.Les eaux usées domestiques	3
I.3.2.Les eaux usées urbaines	3
I.3.3.Les eaux usées industrielles	4
I.3.4.Les eaux pluviales.....	4
I.4.Composition des eaux usées	4
I.4.1.Les matières en suspension (MES).....	5
I.4.2.Les micropolluants organiques et non organiques.....	6
I.4.2.1.Eléments traces	6
I.4.2.2.Les micropolluants organiques	6
I.4.3.Les substances nutritives	7
I.4.3.1.L'azote	7
I.4.3.2.Le phosphore.....	8
I.4.3.3.Le potassium (K+)	8
I.4.3.4.Chlore et sodium.....	8
I.4.5.Les éléments microbiologique	8
I.4.5.1.Les virus.....	9
I.4.5.2.Les bactéries	10
I.4.5.3.Les protozoaires	10

I.4.5.4.Les helminthes	11
I.5.Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel	12
I.5.1.La nécessité de l'épuration	12
I.6.Les principales voies de réutilisation des eaux usées	12
I.6.1.La réutilisation industrielle	14
I.6.2.La réutilisation en zone urbaine	14
I.6.3.La production d'eau potable	15
I.6.4.La recharge de nappe	15
I.6.5.La réutilisation agricole.	16
I.7.Conclusion	18

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

II .1.Introduction	20
II .2.Présentation de la wilaya d'EL oued	20
II.3.Présentation de Hassani Adel Karim	20
II.4.Présentation de la station d'épuration STEP 2	21
II.4.1.Données générales de la station.....	21
II.4.2.Procédés d'épurations des eaux usées dans lastation	22
II.4.2.1.Prétraitement.....	22
II.4.2.2.Traitement secondaire ou biologique des eaux usées	24
II.4.2.3.Filière boues (déshydrations naturelle)	25
II.5.Conclusion	26

Chapitre III: La réutilisation des eaux uséesépurées pour l'irrigation

III .1.Introduction :	28
III .1.Définition de la réutilisation.....	28
III .2.Les types de réutilisation.....	28
III.2.1.Réutilisation directe	28
III .2.2.Réutilisation indirecte	28
III .3.Aspects Environnement Aux Associes À L' utilisation	29
III.3.1.Avantages environnementaux	29
III.3.2.Effets négatifs potentiels sur l'environnement	30
III.3.2.1.Effets sur le sol.....	30
III.3.2.2.Effets sur les eaux souterraines	30
III.3.2.3.Effets sur les eaux de surface	31

III.3.2.4.Effets sur les cultures : Problème de phytotoxicité et gestion	31
III.4.Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole	31
III.4.1.Qualité des eaux usées épurées	32
III.4.1.1.Principaux critères d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation	32
III.4.1.1.1.Salinité.....	32
III.4.1.1.2.Sodium	32
III.4.1.1.3.Alcalinité.....	33
III.4.2.Choix du système d'irrigation	33
III.4.3.Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement	34
III.4.4.Contrôle des EUE destinées à l'irrigation.....	34
III.4.5.Exigence au niveau microbiologique pour la REUE en agriculture	35
III.4.5.1.Normes actuellement en usage	35
III.4.5.1.1.Normes et critères	35
III.4.5.1.2.Normes et réglementation algérienne.....	36
III.4.5.1.2.1.Normes	36
III.4.5.1.2.2.Cadre réglementaire de la Réutilisation :	36
III.4.5.1.3.Normes microbiologiques et critères de l'USEPA.....	36
III.4.6.Liste des cultures autorisées.....	37
III.4.7.Réutilisation dans le monde	38
III.4.8.Situation de la réutilisation des EUE en Algérie :.....	39
III.5.Conclusion.....	40

Chapitre IV: Objectifs et méthodologie

IV.1.Introduction.....	42
IV.2.La plante étudiée:	42
Classification de Cronquist (1981).....	42
IV.2.1.Description.....	43
IV.2.2.Distribution	44
IV.2.3.Utilisation.....	44
IV.2.4.Propriétés médicinales	44
IV.2.5.Variétés de poivrons	45
IV.2.6.Quelques secrets pour des rendements élevés.....	45
IV.3.Protocole expérimentale.....	46
IV.3.1.Matériau expérimental utilisé	46

IV.3.2.Processus de préparation de la terre	46
IV.3.3.Le processus de fertilisation organique des soles	47
IV.3.4.Mesures morphologiques	47
IV.4.Caractéristiques des eaux usées :	48
IV.4.1.Caractéristiques physiques :.....	48
IV.4.2.Caractéristiques chimiques :	49
IV.4.3.Caractéristiques biologiques :	53
IV.4.3.1.Matière en suspension.....	53
IV.4.3.2.Salinité	53
IV.4.3.3.Matière organique	54
IV.4.3.4.Substance nutritive.....	54
IV.4.3.4.Bactéries.....	54
IV.5.Conclusion	54

Chapitre V: Résultatset discussions

V.3.Résultats des mesures morphologiques	58
V.4.Conclusion.....	60
Conclusion générale:	62
Référence bibliographique :	64

Liste des figures

Figure 1: Nature de la pollution des eaux.	4	
Figure 2 : La réutilisation des eaux usées épurées	13	
Figure 3: Répartition des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines (Lazarova, 1998).	13	
Figure 4: Principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines (d'après Lazarova, 1999 cité par Ecosse, 2001).....	17	
Figure 5 : la situation géographique de la région d'El Oued	20	
Figure 6 : situation géographique de STEP 2.....	21	
Figure 7 station de lagunage aéré de HASSANI ABDEL KARIM.	22	
Figure 8 : Dégrilleurs	23	
Figure 9 : Dessablage	23	
Figure 10 : Répartiteur dans bassins d'aération	23	
Figure 11 : Lagune aérée step 2.	24	
Figure 12 : Aérateur step 2.....	24	
Figure 13 : lagune de finition	25	
Figure 14 : lits de séchage des boues.	25	
Figure 15 : du poivron.....	42	
figure 16 : du poivron.....	43	
figure 17: Poivrons en formation	43	
figure 18: les pots	46	
figure 19 : l'engrais.....	46	
figure 20 : la terre prêt pour la fertilisation	47	
figure 21: la terre prêt pour le semis	47	
figure 22: pH -mètre	49	
figure 23: Oxymètre	50	
figure 24 : thermo réacteur	figure 25 : spectrophotomètre.....	51
figure 26 : incubateur contient des bouteilles du DBO5	52	
figure 27 : Préleveur échantillon	52	
Figure 28 : Une photo des pots prise le premier jour.	58	
Figure 29: Unephotodes potspriseaprès17jours.	58	
Figure 30: Unephotodes potspriseaprès30jours	59	
Figure 31 : Une photo des pots prise après 53 jours	59	

Liste des tableaux

Tableau 1: Composants majeurs typique d'eau usée domestique.....	5
Tableau 2 : Les virus dans les eaux usées	9
Tableau 3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées.....	10
Tableau 4 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées	11
Tableau 5: Évaluation du risque (acceptable ou non) en fonction des traitements et des usages (Lunn, 2001).....	16
Tableau 6: Guide pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (FAO, 1985).....	33
Tableau 7: Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium	33
Tableau 8 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (MRE ,2014)	35
Tableau 9 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	37
Tableau 10 : Réutilisation des différents types des eaux usées dans les régions arides et semi arides.	53
Tableau 11 : les différents paramètres de l'eau épurée du STEP2 El-Oued et de l'eau nappe	56
Tableau 12 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (MRE ,2014)	57

Liste des abréviations

CRAAQ : centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

EUE : eaux usées épurée

EU : eaux usées

EUT : eaux usées traitées

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

MRE : ministère des ressources en eau

ONA : office national d'assainissement

REU : réutilisation des eaux usées

SAR: sodium adsorption ratio

STEP: station d'épuration

OMS : organisation mondiale de la santé

MES : matières en suspensio

REUE : réutilisation des eaux usées épurée

-Ni: Nickel.

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

K: Potassium.

OMS : Organisation Mondiale de Santé

NH₄⁺: Azote ammoniacal.

NO₂⁻: Nitrite.

NO₃⁻: Nitrate.

Résumé

Nos travaux se sont concentrés sur l'étude de la gestion des produits d'épuration des eaux usées à la station 2 d'Eloued et de leurs impacts agro-environnementaux sur la zone de valorisation. Une étude comparative a été menée entre des zones de valorisation agricole traditionnellement irriguées avec de l'eau de la dernière couche composée avec des zones de valorisation agricole irriguées avec des eaux usées traitées. L'approche d'étude utilisée à travers des enquêtes et des travaux expérimentaux sur la plantation de la plante poivron (*capsicum annuum*), a permis de conclure à certaines observations que les expériences ont été menées dans différents bassins d'irrigation.

Les principaux résultats obtenus dans cette recherche montrent que l'irrigation avec des eaux usées traitées entraîne une augmentation de la longueur des plantes par rapport aux autres bassins.

Mots clés: eaux usées, plantule du poivron, processus d'irrigation avec eau traitée, agriculture, Step2 Eloued, paramètres physico-chimiques.

ملخص:

ركز عملنا على دراسة تسيير نواتج تصفية مياه الصرف الصحي في المحطة 2 لولاية الوادي وتأثيراتها الزراعية والبيئية على منطقة الاستصلاح. وقد أجريت دراسة مقارنة بين مساحات الاستصلاح الزراعي التي تسقى تقليديا بمياه طبقة المركب النهائي مع مساحات الاستصلاح الزراعي المسقية بمياه الصرف الصحي المعالجة. وقد أتاح نهج الدراسة المتبع من خلال التحقيقات والأعمال التجريبية على زراعة نبات الفلفل (الفليفلة الحولية) باستنتاج بعض الملاحظات أن التجارب أجريت في أحواض ري مختلفة..

تظهر النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها في هذا البحث أن الري بمياه الصرف الصحي المعالجة يؤدي إلى زيادة طول النباتات مقارنة بالأحواض الأخرى.

الكلمات الرئيسية: مياه الصرف الصحي ، شتلة الفلفل ، عملية الري بالمياه المعالجة ، الزراعة ، المحطة 2 لولاية الوادي ، المعايير الفيزيائية والكيميائية ،

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour l'homme, survie et son alimentation ; elle est également indispensable pour ses activités agricoles, industrielles et touristique, et la qualité de son environnement (**HEBERT S. et LEGRE S, 2000**)

Cette produit a pour nombreux usages essentiels dans la vie de la communauté : la boisson, la préparation des repas, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, la fabrication industrielle, l'irrigation des cultures.

En Algérie, le volume d'eaux usées est estimé actuellement à près de 800 millions de m³ et dépassera 1.5 milliards de m³ à l'horizon 2020 (**MRE, 2014**).

Les eaux usées sont généralement la cause direct des rejets domestiques ou industrielles dans le milieu naturel perturbent l'équilibre aquatique de surface et souterrain, la pollution de l'environnement engendrée, menace la biodiversité, parfois d'une manière irréversible (**SAHNOUN A.Y, 2010**). L'Algérie dispose à l'heure actuelle de 137 stations d'épuration des eaux usées dont le volume épurées est estimé à 16 millions de mètres cube (ONA, 2017). Les eaux usées sont généralement traitées par voie biologique dans des stations de lagunage comme dans la station étudiée (STEP 2), boues activées, phyto-épuration...etc. ces stations ont pour rôle déconcentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises.

L'augmentation de la population, l'urbanisation croissante, l'industrialisation et l'intensification de l'agriculture, et l'utilisation accrue de l'eau et de la consommation a connu une croissance phénoménale, Cette évolution est accompagnée par l'augmentation inévitable dans les déchets domestiques, agricoles et industriels : avec le passage du temps, l'augmentation des niveaux de pollution de l'eau est devenue un facteur déplacé maladies hydrique. Ces eaux non potables sont le vecteur de micro-organismes (bactéries, eucaryotes...etc), de virus et de contaminants chimiques qui engendrent des troubles et des pathologies pouvant être mortelles (**GRAINI L, 2011**).

Dans le monde, chaque minute, 3enfants meurent en raison de diarrhées provoquées par l'eau insalubre et l'absence de latrines. Diarrhées, choléra, fièvre...etc. Cette situation quotidienne de 2.4 milliards de personnes dans le monde (**KHALID E, 2007**).

Le traitement des eaux usées est devenu un impératif et un enjeu social et environnemental incontournable puisqu'un effluent non traité contamine le milieu naturel et celui de l'homme compte tenu des risques sanitaires qu'il présente (**REUTR, 2010**).

Notre travail vise la réutilisation des eaux usées en agriculture à partir de la station d'épuration (STEP 2) de la wilaya d'El Oued, à partir des analyses des eaux usées utilisé dans la culture du poivre.

Notre manuscrit est composé de cinq chapitres comme suit :

Chapitre I : généralités sur les eaux usées.

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

Chapitre III : la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation.

Chapitre IV : méthodologie et objectifs.

Chapitre V : résultats et discussion

La manuscrit se termine par une conclusion avec des solutions et recommandations.

Chapitre I
Généralités sur les eaux uses

I.1.Introduction :

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (Selghi, 2001).

I.2.Définition des eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent, est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines » (Moussa-Moumouni-Djermakoye., 2005).

I.3.Origine des eaux usées

Les eaux usées regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines) (Baumont et al., 2004).

I.3.1.Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout- à-l'égout » (Baumont et al., 2004).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.) (Vaillant, 1974).

I.3.2.Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules).

Plomb venant du plomb tétra éthyle contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines (Desjardins, 1997).

I.3.3. Les eaux usées industrielles

Peuvent également être introduites dans les systèmes d'assainissement collectifs publics. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre (métaux lourds, micropolluants organiques, hydrocarbures,...). Ainsi, ces effluents ne sont pas toujours compatibles avec le système d'épuration public destiné à l'assainissement des effluents urbains et la présence d'éléments indésirables peut dégrader la qualité des boues d'épuration. Dès lors, une politique d'assainissement des eaux résiduaires industrielles est nécessaire (Elskens., 2010 ., Pons et al., 2008).

I.3.4. Les eaux pluviales

Les eaux de pluie ruissèlent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbure rejetés par des véhicules.

Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique

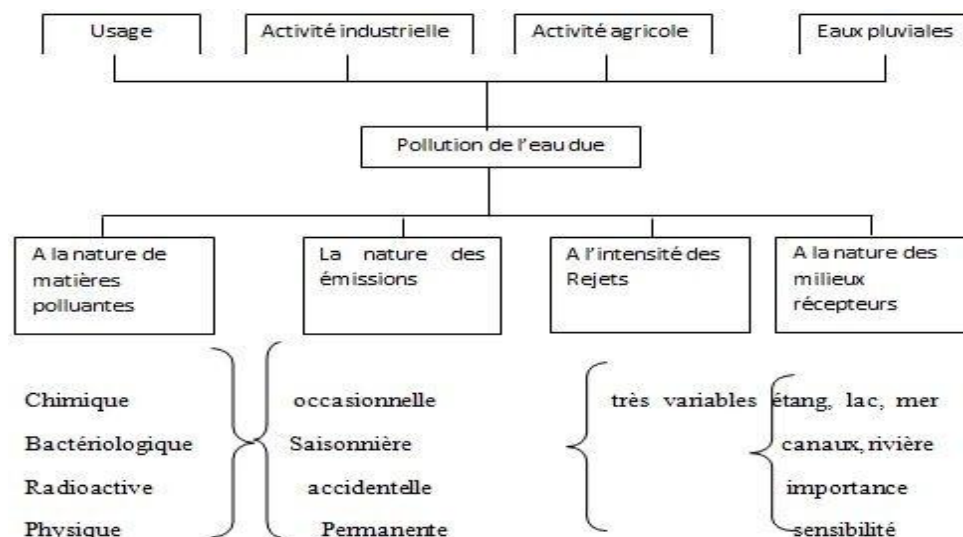


Figure 1: Nature de la pollution des eaux. (Djeddi,2007)

I.4. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées (Tableau 1), est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.).

Tableau 1: Composants majeurs typique d'eau usée domestique

Constituants	Concentration(mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous (TDS) ¹	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore1	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅ ²	300	200	100

¹ que les montants de TDS et les chlorures devraient être augmentés par les concentrations de ces composants dans l'eau issue des voitures.

² DBO 5 est la demande biochimique en oxygène à 20°C pendant 5 jours, c'est une mesure de la matière organique biodégradable dans les eaux usées. (Source: Faby, 1997).

Selon Faby, (1997), elle dépend:

- de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vanes)•
- de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques•
- de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (Baumont et al., 2004.)

I.4.1.Les matières en suspension (MES)

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

I.4.2. Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées.

La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante.

Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. (Baumont et al., 2004).

I.4.2.1. Eléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb.

Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces.

Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » (Cauchi, 1996.)

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments (Faby, 1997).

I.4.2.2. Les micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc.

Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes) (Xanthoulis, 1993).

Les principales familles de la chimie organique de synthèse sont représentées : hydrocarbures polycycliques aromatiques, chlorophénols, phtalates... avec une concentration de l'ordre de 1 à $10\mu\text{g/l}$ dans les effluents.

Dans le sol, ces micropolluants restent liés à la matière organique ou adsorbés sur les particules du sol. Cependant, quelques composés ioniques (pesticides organochlorés, solvants chlorés) peuvent être entraînés en profondeur.

Il semble que les plantes soient susceptibles d'absorber certains composés organiques, mais il existe peu de données disponibles à ce sujet. Les PCB, quant à eux, restent fixés à 97 % dans les racines.

En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues et c'est surtout lors de l'épandage de ces dernières que leurs teneurs devront être contrôlées (Faby, 1997).

Les pesticides sont les éléments traces les plus surveillés, et une étude d'impact et de métabolisme est obligatoire avant leur mise sur le marché. Par contre, le danger représenté par tous les autres polluants organiques est encore mal apprécié actuellement. Les contrôles de routine ne permettent pas de repérer toutes les toxines.

Par ailleurs, on ne connaît rien de la toxicité des mélanges complexes qui peuvent se former par réaction entre les différents contaminants (Baumont et al., 2004).

I.4.3. Les substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare:

- de 16 à 62 kg d'azote,
- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium (Faby, 1997).

I.4.3.1. L'azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O₂) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH₃), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH₄⁺) (Martin, 1979).

La nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries et passe par les étapes:

- N organique à NH_4^+ : ammonification
- NH_4^+ à NO_2^- : nitritation par Nitrosomonas
- NO_2^- à NO_3^- : nitrification par Nitrobacter (Chellé et al., 2005).

I.4.3.2. Le phosphore

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement (FAO, 2003). Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation; cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore (Asano, 1998).

I.4.3.3. Le potassium (K^+)

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins (Faby, 1997). Il faut noter cependant que, s'il existe, un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers, à une consommation de luxe pour les récoltes (FAO, 2002).

I.4.3.4. Chlore et sodium

Leur origine est:

- Naturelle (mer : 27g/l NaCl, et terrains sales).
- humaine (10 à 15g/l NaCl dans les urines/j).
- industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (Gaujous, 1995).

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (Faby, 1997).

I.4.5. Les éléments microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes 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 (Baumont et al., 2004).

I.4.5.1. Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte.

Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries (tableau 2). Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation (CSHPF, 1995).

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10³ et 10⁴ particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel.

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A (Asano, 1998).

Tableau 2 : Les virus dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus :			
Poliovirus	Paralysie, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion

Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre.		Ingestion
-------------------	---	--	-----------

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

I.4.5.2. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau (tableau 3). Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g (Asano, 1998).

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridiiums.

Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermotolérants (Faby, 1997).

Tableau 3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de décontamination Principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).

I.4.5.3. Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte.

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées (Baumont et al, 2004). Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia* (Asano, 1998).

I.4.5.4. Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata* (CSHPF, 1995).

Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. (Faby, 1997). Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées (Baumont et al., 2004).

Tableau 4 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre	Voies de contamination principales
Protozoaires			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose: ganglions, faible fièvre		Inhalation/ Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
<i>Ascaris</i>	Ascariase: diarrhée, troubles nerveux	5 à 11	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion/Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie		Cutanée
<i>Taenia</i>	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande mal cuite
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
<i>Strongyloïdes</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

I.5. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible (Chellé et al., 2005).

Quant les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine (Vaillant, 1974).

I.5.1. La nécessité de l'épuration

Ce qui précède démontre la nécessité de l'épuration des eaux usées et des eaux résiduaires industrielles. Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) (Xanthoulis, 1993).

I.6. Les principales voies de réutilisation des eaux usées

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

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

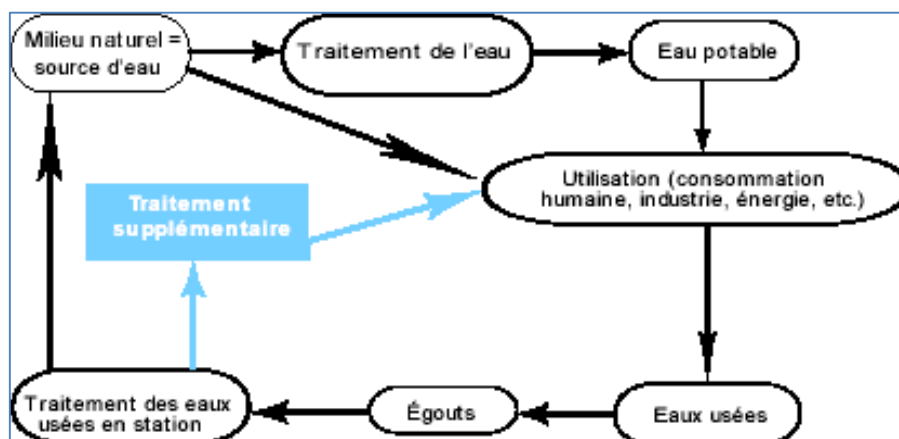


Figure 2 : La réutilisation des eaux usées épurées

(Source : Baumont et al., 2004)

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau. La Figure 3 résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis.

Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (Ecosse, 2001).

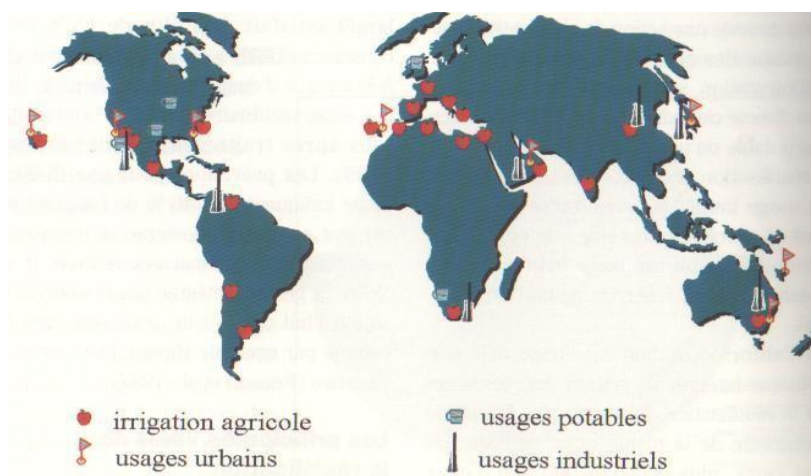


Figure 3: Répartition des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines (Lazarova, 1998).

L'évolution de la réutilisation des eaux usées a connu et connaît encore à l'heure actuelle différentes phases en fonction des intérêts mis en jeu, qu'ils soient économiques, sanitaires, socioculturels ou environnementaux. Elle est liée aux développements de l'ingénierie des

eaux usées, couplés aux pressions croissantes exercées sur les ressources en eau. Actuellement, les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très larges, quand la qualité est en adéquation avec l'usage (Bahri, 1998).

I.6.1. La réutilisation industrielle

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau (Ecosse, 2001).

Parmi les activités industrielles, la production d'énergie est de très loin le secteur qui prélève le plus d'eau dans le milieu. La REUE industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.

L'un des premiers cas dans le monde est une papeterie du Japon qui est fournie en eaux épurées depuis 1951 (Asano, 1998).

I.6.2. La réutilisation en zone urbaine

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

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

La qualité requise dans les projets de réutilisation des eaux usées épurées (REUE) en zone urbaine a des exigences similaires aux autres réutilisations, avec quelques variantes:

La qualité esthétique est importante : la présence de mousse, d'algues, etc. est à éviter (mauvaise perception de la part du public). Il faut également réduire le développement d'insectes (moustiques...) ; la présence d'une faune concentrant des polluants (mercure, DDT, etc.) peut poser problème pour les activités de pêche.

Les pays à la pointe de la REUE en milieu urbain sont en majorité des pays développés et fortement urbanisés : États-Unis, Japon, Corée du Sud, Allemagne (Ramade, 2000).

I.6.3. La production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel ; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « pipe to pipe »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie (Asano, 1998).

La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est à la limite de la définition d'une REUE .

La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement. C'est le cas du comté d'Essex en Angleterre, où une ville de 140 000 habitants, Chelmsford, est alimentée en eau potable pendant l'été par des eaux épurées, après un passage dans la rivière Chelmer. D'un point de vue sanitaire, il faut noter qu'aucune incidence sur la santé n'a été relevée, aussi bien à Windhoek, où la REUE existe depuis plus de 25 ans, qu'à Chelmsford (début du projet en 1996) (Lunn, 2001).

I.6.4. La recharge de nappe

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

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique:

-par percolation : c'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m³ par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation ;

-par recharge directe : c'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une

véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe. Chaque jour, 57 000 m³ sont déversés dans la nappe (Asano, 1998).

Tableau 5: Évaluation du risque (acceptable ou non) en fonction des traitements et des usages (Lunn, 2001).

	Désinfection tertiaire I a	Désinfection tertiaire II b	Désinfection secondaire c
Arrosage de golf	Acceptable	Acceptable	Non acceptable
Irrigation de culture	Acceptable	Acceptable	Non acceptable
Bassin d'agrément sans restriction	Non acceptable	Non acceptable	Non acceptable
Recharge de nappe	Acceptable	Acceptable	Acceptable

- (a) Filtration puis chloration directe
- (b) Chloration directe
- (c) Pas de chloration

I.6.5. La réutilisation agricole.

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est, de très loin, le mode le plus répandu de réutilisation des eaux usées urbaines (figure 4). C'est aussi, si on le compare aux autres modes de réutilisation, qu'il s'agisse du double réseau urbain, des usages industriels, ou des recharges d'aquifère, celui qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme (Faby, 1997).

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

La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants, qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique (Asano, 1998).

Le bénéfice d'une REUE peut donc être double:

- au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais;
- au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue (Baumont et al., 2004).

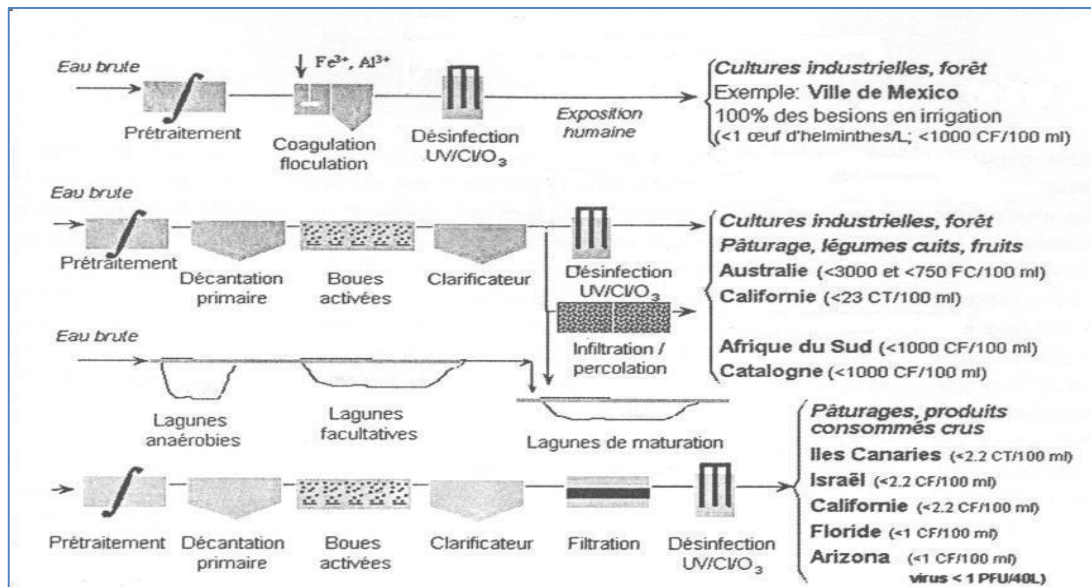


Figure 4: Principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines (d'après Lazarova, 1999 cité par Ecosse, 2001)

I.7. Conclusion

Les eaux usées de différentes compositions et diverses origines constituent un fléau pour la nature lors du rejet sans subir des traitements. D'où la nécessité impérieuse de l'épuration à moindre coût et à basses nuisances auditives et olfactives et même nulle ce qui peut être achevé avec des méthodes près de la nature.

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion, principalement associée à l'agriculture. Dans les pays où les réserves actuelles d'eau douce sont, ou seront prochainement, à la limite du niveau de survie, le recyclage des eaux usées semble être la technique alternative la plus abordable, tant au niveau financier (les traitements extensifs sont les plus adaptés) qu'au niveau technique pour les réutilisations agricoles, industrielles et urbaines ne nécessitant pas une eau de qualité potable. Dans ce contexte ce chapitre a eu pour objectif de donner un aperçu sur les origines des eaux usées, leurs caractéristiques et leurs compositions.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II .1.Introduction

L'épuration des eaux est un ensemble de technique qui consiste à purifier l'eau. Le système d'assainissement de la région d'Oued Souf a pour assurer le transit d'ensemble des eaux usées et la procédure de traitement avant le rejet.

L'étude qui sera réalisée se fera au niveau de la station STEP2 à Hassani Abdel Karim à El Oued.

II .2.Présentation de la wilaya d'EL oued

La wilaya d'El Oued est située au nord-est du sahara algérien. Elle est délimitée :

- Au nord, par les wilayas de Tebessa et Khenchela.
- Au nord et au nord –ouest, par lawilaya d'EL-Meghaier.
- Au sud et au sud-ouest, par la wilaya de Touggourt.
- Et à l'est par la Tunisie.

Elle a une superficie de 54573 km² (MEZIANI et AL, 2012).et contient de 647548 habitants (2008) avec densité de 12 hab/km² (ANDEL, 2013).

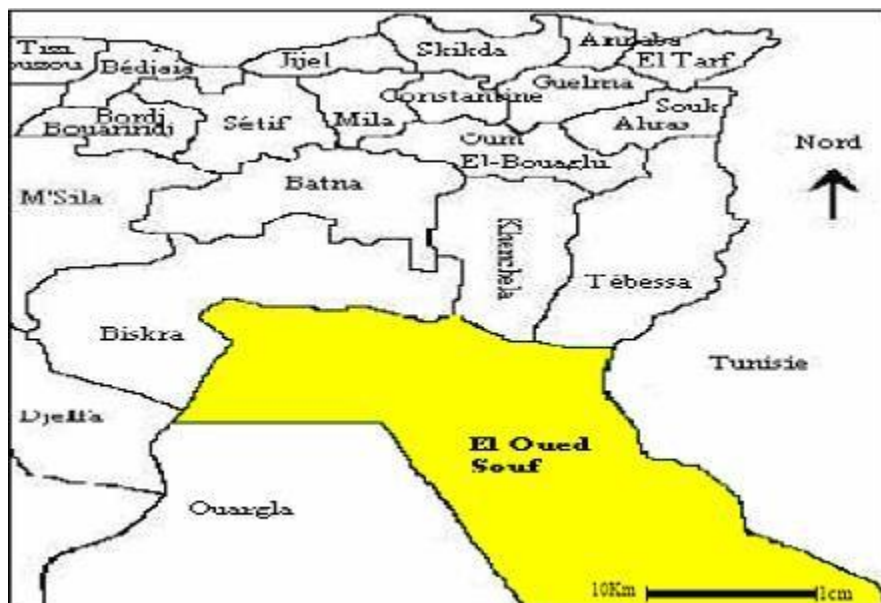


Figure 5 : la situation géographique de la région d'El Oued (ANDEL, 2013)

II.3.Présentation de Hassani Abdel Karim

Hassani Abdel Karim est une municipalité du département de Débila, situés dans le centre de la wilaya d'El Oued, elle loin du centre de wilaya de 14 km, contient des villages tel que : Hassani Abdel Karim, Dhokkar, Gherbia, Z'Goum. Elle a une superficie de 58 km², elle contient de 22755 habitants (2008), avec densité de 392 hab/km² (ANDEL, 2013).

II.4. Présentation de la station d'épuration STEP 2

La station d'épuration des eaux usées N°2 (STEP 2) est celle de type lagunage aérée à Hassani Abdel Karim, elle a commencé à travailler en 2011, la station sert à collecter les eaux usées des communes de Débila, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdel Karim.

Hassani Abdel Karim a été choisie pour réaliser cet projet en raison qu'elle appartient au groupe de la vallée et ne nécessite pas d'accès d'énergie pour l'arrivée d'eau.

Cette station occupe une superficie de l'ordre de 18 hectares, permet de répondre aux besoins fonciers. La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle.

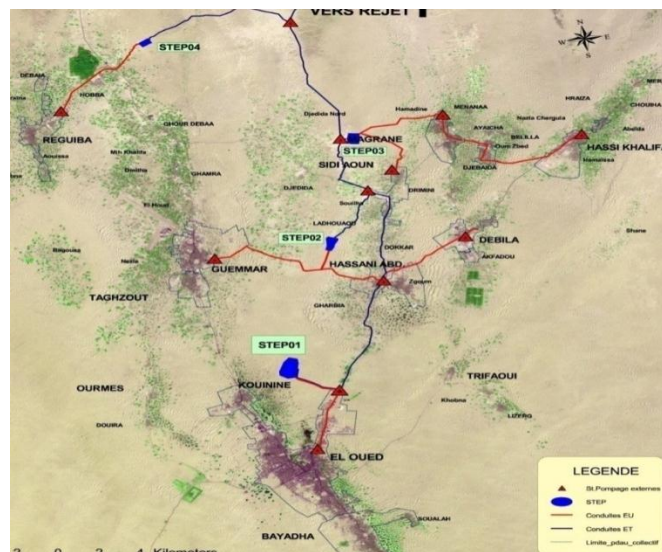


Figure 6 : situation géographique de STEP 2

II.4.1. Données générales de la station

*Communes desservies

GUEMMAR, TAGHZOUT, HASSANI ABDEL KARIM et DEBILA.

*Population deesservie à l'horizon 2030

79620 eh.

*Milieu récepteur

Chott Haloufa

*Année de mise en service / horizon

2007-2030

*Groupement de réalisation (génie civil, équipements)

TEIXEIRA DURATE (Portugale)

EFACEC (Portugale)

*Nature des eaux brutes

Domestique

***Impact de réalisation de la station**

Protection de la nappe

***Arrivée des eaux usées à la step 2**

Par pompage ; stations de pompage de GUEMMAR et HASSANI ABDEL KARIM.

***Débit moyen de dimensionnement à l'horizon 2030**

14332m³/J.

***Surface de la step 2**

18 hectare



Figure 7 station de lagunage aéré de HASSANI ABDEL KARIM.

II.4.2. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station

II.4.2.1. Prétraitement

Dans la station étude, les eaux usées sont acheminées du regard de dégazage vers l'ouvrage de prétraitement. Cet ouvrage est constitué d'une étape de dégrillage et d'une étape de dessablage.

a/ Equipement de dégrillage

Qui comprend un ensemble de 2 dégrilleurs automatique disposés en parallèle (figure). L'ouvrage de prétraitement compte l'aval de la zone de dégazage et conformément aux plans joints, deux canaux d'alimentation en eaux usées, équipés chacun d'une grille inclinée de 90° sur l'horizontale, de 1m de largeur chacune, dont les barreaux d'une épaisseur de 10mm sont écartés de 25mm. le dégrillage permet d'éliminer les déchets et la protection de la station (DEGRMONT, 2005).



Figure 8 : Dégrilleurs

b/Déssablage

Cette opération permet d'éviter le colmatage des canaux, la décantation des résidus les plus denses (sable) et aussi pour protéger l'équipements à piècestournantes de la corrossion (MOUHAMED OULI, 2001).



Figure 9 : Dessablage

c/ Ouvrage de répartition

En aval d'ouvrage de prétraitement, permet de répartir les eaux usées vers les lagunes du premier étage. Ce dernier est assurée par six seuils déversant identiques de 15 m de largeur, munis d'obstacles (ONA, 2009).



Figure 10 : Répartiteur dans bassins d'aération

II.4.2.2. Traitement secondaire ou biologique des eaux usées

Dans les bassins d'aérations, les eaux à traiter subissent à travers de deux étages d'aération et un étage de finition (étape final).

a. Première étape Lagunages d'aération :

L'eau s'écoule par les conduites et répartie de manière homogène. qui comporte 3 bassins d'aération A1, A2, A3 d'un volume de 28574m³, largeur 66m et profondeur 3.6m. Pour assurer une réduction efficace de la pollution biologique DBO et chimique DCO, à l'aide des micro-organismes et l'oxygénation en va attendre entre 70-80 % de dégradation de pollution.



Figure 11 : Lagune aérée step 2.

b. Deuxième étape lagune d'aération :

Identiquement comme la première étape, les trois bassins d'aération B1, B2, B3 à un volume de 19091m³, longueur 115m, largeur 66m et profondeur 2.9m. Le fonctionnement se fait à partir de 6 pièces d'aérateurs qui sont installées dans la lagune (ONA, 2009). C'est effectivement pour la dégradation de la charge restante 20-30 %.



Figure 12 : Aérateur step 2.

c. Lagune de finition :

C'est le traitement final, pour améliorer la qualité d'eau usée traitée biologiquement, cette bassin comporte 3 bassins F1,F2,F3 d'une volume de 14575m³, longueur 154m, largeur 66m et de profondeur 1.5m.le rôle de ce bassin pour assurer la finition del'épuration des eaux ils vont jouer un rôle important comme consommateur de micro-algues qui assurer le traitement des éléments pathogènes.



Figure 13 : lagune de finition

II.4.2.3.Filière boues (déshydrations naturelle)

C'est les lits de séchage des boues, qui contient 10 lits dans une ligne, d'un matériau graviers avec granulométrie diffère et une couche de couverture de sable.

Ce dernier est comme une bâches terrestre avec revêtement en feuille, tuyaux perforé pour la déshydrations pour la décharge de la boue sèche. Apres une pompe à piston relatif assure l'aspiration du mélange boue-eau et le transmet par une conduite flexible, la boue s'écoule vers les lits de séchage qui au même temps stockée dans les lits et déshydratée naturellement, dans les conditions climatiques locales (temps de séjour 15-18 jours, taux de matière sèche 400-450 kg/m³ (ONA, 2009). Finalement l'eau usée épurée se déroule vers le rejet CHOTT HALLOUFA.



Figure 14 : lits de séchage des boues.

II.5.Conclusion

Les stations d'épurations a pour but de traité les eaux usées, pour obtenir une eau de qualité convenable selon leur besoin. Les traitements des eaux se fait avec différents procédure selon le processus approprié, nous constatons que les principaux objectifs de cette station sont de prévenir la pollution de l'eau et de la fournir au cadre de vie pour différents usager et la vie quotidienne.

Chapitre III

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation

III .1.Introduction :

Pour toutes les régions du monde souffrant de stress hydrique, le recours à la réutilisation des eaux usées épurées est devenu une opération incontournable.

Les démographies galopantes des pays en développement, l'effet de la pollution sur les eaux de surface et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et les sécheresses à répétitions, ont forcé les agences de l'eau à rechercher de nouvelles ressources innovatrices d'approvisionnement. Les eaux usées épurées deviennent une autre manière de répondre à la demande en eau, associant l'approvisionnement en eau et en nutriments au développement de systèmes d'égouts et aux questions d'urbanisation.

III .1.Définition de la réutilisation

La réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

III .2.Les types de réutilisation

On distingue deux types de réutilisation :

III.2.1.Réutilisation directe

La réutilisation directe d'eau existe surtout dans le secteur industriel, où d'importants efforts sont faits pour réduire les prélèvements et les rejets d'eau. Dans la mesure où le second usage est identique au premier, on réserve à cette pratique le terme de recyclage plutôt que de réutilisation.(tecsult,2008).

III .2.2.Réutilisation indirecte

La plupart des systèmes d'assainissement rejettent leurs effluents dans les eaux de surface, qui sont elles-mêmes prélevées en aval pour d'autres usages : industrie, irrigation, eau potable. L'on estime ainsi qu'à Paris en période d'étiage la Seine serait constituée pour moitié d'eau issue des dispositifs d'assainissement. Ce type de réutilisation passe par le milieu naturel : l'eau est prélevée au cours de son cycle hydrologique et a en quelque sorte « perdu son identité » : il s'agit donc de réutilisation indirecte.(tecsult,2008).

En fait le débouché potentiel majeur pour la réutilisation directe d'effluents urbains reste l'irrigation.

Trois motifs principaux peuvent conduire à la réutilisation en irrigation :

✓ Ressource naturelle peu disponible

L'eau usée étant d'abord de l'eau, sa réutilisation prend tout son intérêt lorsque la ressource naturelle est rare (climats arides, milieux insulaires)

✓ **Difficulté de rejet direct**

Dans le cas de cours d'eau ayant un débit d'étiage très faible, le rejet d'effluents constitue toujours une source majeure de pollution, même si le traitement est très poussé. D'autres exemples concernent les rejets en milieu karstique (risque de pollution des eaux souterraines) ou en bord de mer (zone touristiques ou conchylicoles). Dans ces cas il est possible d'envisager une réutilisation agricole des eaux usées, le complexe sol-plante servant alors de procédé d'épuration extensif complémentaire. L'un des avantages est que la période sensible (étiage) est aussi celle qui correspond aux besoins en eau maximum des plantes. (tecsult, 2008).

✓ **Valorisation des nutriments**

Les eaux usées domestiques contiennent des éléments fertilisants habituellement utilisés en agriculture : azote, phosphore, potassium, calcium... Il peut être séduisant de considérer que la réutilisation est une manière de valoriser ces éléments. Toutefois cet apport n'est pas un élément décisif dans l'adoption de projets de réutilisation, car, par rapport aux besoins des plantes, les nutriments sont soit surabondants (azote et phosphore), soit pas assez (potassium). Le stockage intermédiaire des eaux usées (en partie assainies) peut s'effectuer dans des nappes phréatiques, des lacs ou des réservoirs artificiels. Le taux de dilution des eaux usées réutilisées avec l'eau des ressources naturelles varie de 16 à 40 %. Aucun impact négatif sur la santé humaine de ce type d'eau réutilisée n'a jamais été détecté. (tecsult, 2008).

III.3. Aspects Environnement Aux Associés À L' utilisation

Des Eaux Usées En Irrigation :

III.3.1. Avantages environnementaux

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que tout autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- ✓ La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation telles que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.
- ✓ La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.
- ✓ La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion. (FAO 2003).

III.3.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- ✓ l'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- ✓ la propagation des microorganismes pathogènes. (FAO 2003).

III.3.2.1. Effets sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- ✓ la salinisation,
- ✓ l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- ✓ l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- ✓ l'accumulation de nutriments.

III.3.2.2. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible.

Pour réduire et/ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés:

- ✓ irrigation (quantité d'eau) basée sur les besoins en eau des cultures avec lessivage minimum si nécessaire,
- ✓ établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée,
- ✓ sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux présents dans l'eau usée,
- ✓ en cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale, de plantes consommant les sels,
- ✓ limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exact en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par NO₃-N. Si N excède les besoins des cultures on doit alors:

- sélectionner des cultures à besoins élevés en N,
- choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible,
- mélanger l'eau usée avec de l'eau claire,
- maintenir la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

III.3.2.3. Effets sur les eaux de surface

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs.

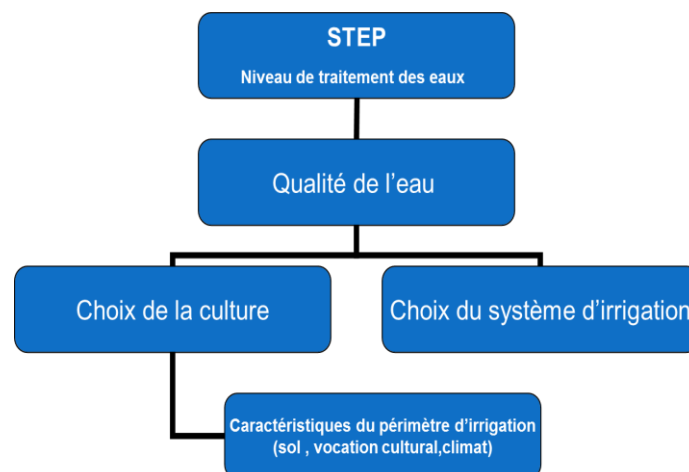
Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitants dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation.

III.3.2.4. Effets sur les cultures : Problème de phytotoxicité et gestion

Au delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds.

Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles de bore.

III.4. Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole



III.4.1. Qualité des eaux usées épurées

III.4.1.1. Principaux critères d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Les nutriments que contiennent ces eaux (azote, potassium, phosphore, zinc, bore et soufre, par exemple) doivent être présents à des concentrations appropriées, faute de quoi ils peuvent être préjudiciables aux cultures et/ou à l'environnement.

Par exemple, les eaux usées renferment souvent de fortes concentrations d'azote. Or, si les végétaux ont besoin d'azote pour se développer, une quantité excessive de cet élément peut stimuler exagérément la croissance, retarder la maturité et donner des produits de piètre qualité

III.4.1.1.1. Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. (M.R.E., 2007)

III.4.1.1.2. Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation ; le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. (M.R.E., 2007).

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'adsorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/l) :

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})}} / 2$$

Pour faciliter l'appréciation de la qualité de l'eau d'irrigation du point de vue de la salinité, on peut se référer au tableau N° 1.

Tableau 6: Guide pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (FAO, 1985)

Paramètre		Unité	Guide pour la qualité d'eau		
			Aucun risque	Risque léger à modéré	Risque élevé
Salinité	CE	dS/cm	<0,7	0,7-3,0	>3,0
	TDS	mg/l	<450	450-2000	>2 000
Sodium (Na)	Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
	Irrigation par aspersion	SAR	<3	>3	
Chlorure (Cl)	Irrigation de surface	még/l	<4	4-10	>10
	Irrigation par aspersion	még/l	<3	>3	

III.4.1.1.3. Alcalinité

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, en d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonates de calcium dissous dans l'eau, généralement exprimée en mg/l de carbonate de calcium (CaCO₃).

Tableau 7: Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium

Dureté (ppm CaCO ₃)	Degré relatif de dureté
0-50	Très douce
50-100	douce
100-200	Modérément douce
200-300	Dure
300 et plus	Très dure

Source: CRAAQ, 2003

III.4.2. Choix du système d'irrigation

Moyennant quelques précautions et adaptations, les différents modes d'irrigation (irrigation de surface, aspersion et goutte à goutte) pourraient être utilisés avec les eaux usées épurées.

Ces adaptations sont nécessaires en raison de la charge et la qualité particulière de l'eau épurée. Tous les systèmes présentent des avantages et des inconvénients mais généralement les contraintes sanitaires imposent le choix d'irrigation (MRE, 2012).

III.4.3. Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement

La santé humaine et l'environnement pourraient être protégés au travers de quatre groupes de mesures (Mara et Cairncross, 1988) :

- ✓ Le niveau de traitement des eaux résiduaires ;
- ✓ La restriction des cultures pratiquées ;
- ✓ La méthode d'irrigation ;
- ✓ Le contrôle de l'exposition humaine aux eaux usées épurées et l'hygiène.

Le traitement complet des eaux usées empêche les microorganismes pathogènes excrétés d'atteindre le champ.

Cependant, les agriculteurs, dans la plupart des cas, doivent faire face à l'eau usée d'une certaine qualité. A cause de cela, la restriction des cultures, le choix du système d'irrigation et le contrôle de l'exposition humaine sont très importants.

Une combinaison de mesures agro-techniques à sélectionner, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire (Metahri, 2012).

III.4.4. Contrôle des EUE destinées à l'irrigation

Dans un système de réutilisation des eaux usées épurées, cinq niveaux de contrôle doivent être instaurés, à savoir : l'eau épurée en sortie de la STEP, l'eau d'irrigation, le sol, la plante et nappe (Figure 1). Par ailleurs, le circuit de commercialisation et de distribution des fruits et légumes devra être restructuré pour un meilleur contrôle des produits (traçabilité, ...). Quel que soit le mode d'irrigation, tous les produits doivent être soumis à un contrôle de qualité microbiologique à la récolte (MRE 2012).

Il convient également de bien laver les produits, notamment maraîchers, avant utilisation ou livraison sur le marché.

Les différents intervenants dans le processus de contrôles :

- ✓ Les services de l'hydraulique de la wilaya sont tenus de mettre en place un dispositif de suivi et de contrôle de :
 - La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
 - L'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine ;
 - L'état des ouvrages de stockage et de distribution
- ✓ Les services de l'agriculture de la wilaya doivent assurer :

- Un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées par les eaux usées épurées ;
- L'évolution des caractéristiques des sols, sous irrigation avec des eaux usées épurées
- ✓ Les services de la santé de la wilaya doivent assurer :
 - Un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les eaux usées épurées.
 - La qualité bactériologique du produit agricole

III.4.5. Exigence au niveau microbiologique pour la REUE en agriculture

III.4.5.1. Normes actuellement en usage

III.4.5.1.1. Normes et critères

Les paramètres minimal de qualité bactériologique des EUE à la sortie de la STEP permettant d'assurer la protection sanitaire des agriculteurs et des consommateurs, sont ceux de l'OMS (1989, 2000 et 2006). Les paramètres de qualité physico-chimique des EUE admissibles pour un usage agricole adéquat sont ceux de la FAO (1985). (M.R.E., 2007).

Tableau 8 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (MRE ,2014)

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO*(1985)	OMS**(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4*		6.5-8,5
CE	ds/m	<0,7* Aucune restriction		3
		0,7– 3,0 * restriction légère à modérée		
		>3,0* Forte restriction		
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mgO ₂ / l	<40 **		90
DBO ₅	mgO ₂ / l	<10**		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **		30
NO ₂ ⁻	mg/l	<1 **		Nondisponible
NH ₄ ⁺	mg/l	<2 **		Nondisponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	<0,94 **		Nondisponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction		Nondisponible
		3-9* restriction légère à modérée		
		>9* Forte restriction		
Coliformes totaux	UFC/100 ml	Nondisponible		Nondisponible
Streptocoques fécaux	UFC/100ml	1000 **		Nondisponible
Salmonelles	UFC/1L	Absence**		Nondisponible

III.4.5.1.2. Normes et réglementation algérienne

III.4.5.1.2.a. Normes

Norme Algérienne N°17683 «Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles - Spécifications physico-chimiques et biologiques » est disponible au niveau de l'Institut Algérien de Normalisation IANOR ; Où également un guide technique pour les bonnes pratiques de la REUE pour différentes fins.(MRE,2007).

III.4.5.1.2.b. Cadre réglementaire de la Réutilisation :

❖ Loi

La loi n°05-12 du 04 Août 2005, relative à l'eau, a institué la concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60-année 2005 art56, 71, 82)

❖ Décret

Le décret n°07-149 du 20 mai 2007, fixant les modalités de concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent. Scindé en cinq principaux chapitres :

- Chapitre I. Dispositions préliminaires
- Chapitre II. Concession d'utilisation des eaux épurées.
- Chapitre III. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées.
- Chapitre IV. Contrôle sanitaire.
- Chapitre IV. Disposition financière.

❖ Arrêtés

Les arrêtés interministériels du 02 janvier 2012 qui prennent en application les dispositions de l'article 2 du décret exécutif n°07-149, publiés par le ministère des ressources en eau. (JO n°41) Ces arrêtés fixent :

- Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation et notamment en ce qui concerne les paramètres microbiologiques et les paramètres physico-chimiques
- La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

III.4.5.1.3. Normes microbiologiques et critères de l'USEPA

Ils sont basées sur un objectif de « zéro pathogène » dans les eaux réutilisées et en conséquence, les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes, les normes de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des EUE (usages urbains, agricoles, recharge de nappe, etc.). (MRE, 2007).

Les principaux paramètres sont le pH, la DBO5, la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux, la turbidité ne doit pas dépasser en général 2 NTU. La DBO5 maximale est fixée entre 10 et 30 mg/L, selon les usages. Les coliformes fécaux doivent être :

- Soit en concentration inférieure à 200 CF/100 ml (pour l'irrigation avec restriction) ;
- Soit à un niveau de non-déteçtabilité (pour l'irrigation sans restriction).(MRE,2007).

III.4.6. Liste des cultures autorisées

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

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

Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée (Tableau n° 4).

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

(Extrait de Journal Officiel n°41 du décret exécutif n°07-149, publiés en Janvier 2012)

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers(*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nèfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Cultures industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterra vesucrière, coton, tabac, lin
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semenc	Pomme de terre, haricot et petit pois
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industrie	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin

Préventions requises :

(*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte.

Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

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

L'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommés crus est interdite.

Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable. Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

III.4.7. Réutilisation dans le monde

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe (surtout les pays méditerranéens), aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41% en Australie. (Lazarova et Brissaud, 2007).

Le volume journalier actuel des eaux réutilisées dépasse le chiffre impressionnant de 1 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple aux États Unis et en Chine. La réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Elle est très développée aux États-Unis, mais aussi en Asie et dans les pays du Golfe Persique. Le bassin méditerranéen est l'une des régions du Monde où la réutilisation agricole des eaux usées urbaines est la plus pratiquée. La Tunisie et Chypre ont également une politique nationale de réutilisation. L'Espagne et l'Italie sont les deux pays européens dans lesquels la réutilisation se développe le plus rapidement.

En France, la ressource en eau est bien supérieure à la demande ce qui justifie le faible développement de la réutilisation des eaux épurées. (Lazarova et Brissaud, 2007).

En France, dans le Midi méditerranéen, les zones les moins bien pourvues sont adossées à des reliefs beaucoup plus arrosés. Par ailleurs, ces régions sont desservies par de grands équipements hydrauliques, Canal de Provence, Canal du Bas Rhône Languedoc, capables de satisfaire leurs besoins en eau. En revanche, on voit apparaître, des installations qui répondent à des nécessités locales. (Faby et Brissaud, 1997).

L'irrigation des cultures agricoles ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines au niveau mondial.

III.4.8. Situation de la réutilisation des EUE en Algérie :

✓ Situation des stations d'épurations

Pour sécuriser de façon définitive l'alimentation des populations en eau potable, tout en protégeant les ressources en eau et les milieux naturels contre les effets de la pollution, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, constituées par les eaux de dessalement (ou de déminéralisation) et par les eaux usées épurées. (MREE, 2016).

La réalisation de stations d'épuration est d'intérêt multiples, non seulement la protection des ressources en eau (oueds, barrages, nappes...) contre la pollution mais aussi la possibilité de réutiliser les eaux usées épurées pour satisfaire divers usages tels que l'irrigation ou l'industrie.

Actuellement, on dispose de :

177 systèmes épuratoires (classiques, lagunes et expérimentales) avec :

- Capacité totale installée : 805 hm³/an (13 millions Equivalant Habitant)
- Volume annuel épuré : 377 Hm³ (soit 46% de la capacité installée).

La répartition des rejets d'eaux usées épurées par Impact se présente comme suit :

- Protection du littoral : 34 STEP (120 millions de m³/an).
- Protection des lacs et Sebkhass : 07 STEP (34 millions de m³/an).
- Protection des Barrages : 26 STEP (79 millions de m³/an).
- Protection des nappes : 32 STEP (53 millions de m³/an).
- Protection des oueds : 78 STEP (91 millions de m³/an). (M.R.E., 2016)

✓ Situation actuelle de La réutilisation

- Le volume réutilisé actuellement à partir de 17 STEP est de 50 millions de m³/an couvrant une superficie de 11.437 ha.
 - Les périmètres en cours de réalisation à l'aval de 04 STEP portent sur une superficie totale de 7.900 ha pour un volume de 35 millions de m³/an.
 - Soit une superficie globale de 19.337 ha à partir de 21 STEP et un volume de 85 millions de m³/an.

III.5. Conclusion

L'intérêt de la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation est évident. Les eaux usées épurées procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libère un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires telle que l'eau potable.

Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments fertilisants permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. Néanmoins, cette eau pourrait constituer une source de pollution. Son contenu en microorganismes pathogènes et métaux peuvent présenter un risque pour la santé

La création de périmètres irrigués par les EUT et la recharge des nappes surexploitées sont les principales options à adopter.

Il importera également que les techniques de la réutilisation des eaux usées soient bien maîtrisées et qu'elles soient soumises à des contrôles réguliers.

Chapitre IV
Objectifs et méthodologie

IV.1.Introduction

Dans ce chapitre nous allons donner le protocole expérimental d'implantation, ainsi que les différentes méthodes de caractérisation des eaux épurée utilisées à l'irrigation des périmètres préparés.

IV.2.La plante étudiée:

PoivronCapsicum annuum



Figure 15 : du poivron

Classification de Cronquist (1981)

RègnePlantae

DivisionMagnoliophyta

ClasseMagnoliopsida

OrdreSolanales

FamilleSolanaceae

GenreCapsicum

Le poivron est un terme souvent utilisé pour caractériser des variétés de piments doux de l'espèce *Capsicum annuum* à très gros fruits (parfois appelé piment au Québec).

C'est une plante annuelle de la famille des Solanacées originaire du Mexique, d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. La plante est cultivée comme plante potagère pour ses fruits consommés, crus ou cuits, comme légumes. Le terme désigne à la fois le fruit et la plante.

Le poivron est l'ingrédient indispensable d'un certain nombre de plats, comme la piperade ou la ratatouille, mais il peut aussi bien servir d'accompagnement.(Michel Pitrat et Claude Foury, Histoires de légumes).

Les graines de poivrons ont été importées en Espagne pour la première fois en 1493, et se sont propagées vers l'Europe et l'Asie². L'appellation poivron est dérivée du mot poivre, et fait son apparition à l'écrit en 1785(Sasvari, Joanne., Paprika).

IV.2.1.Description



figure 16 : du poivron



figure 17: Poivrons en formation

C'est une plante annuelle, en climat tempéré car elle ne résiste pas au gel, mais pouvant vivre plusieurs années en climat tropical. Port dressé, presque arbustif, très ramifié. Les tiges de la base ont tendance à se lignifier. La plante atteint 40 à 50 cm de haut en général à la suite d'une germination ayant duré de 7 à 15 jours.

Les feuilles, alternes, lancéolées, se terminant en pointe, sont d'un vert brillant. Les fleurs, nombreuses et petites, sont blanches, à pétales soudés et pointus, au nombre de 6 à 8. Le fruit est une baie d'un type particulier, la pulpe, relativement mince et formant une espèce de capsule entourant un placenta plus ou moins volumineux portant de nombreuses graines. Extérieurement, la peau est lisse et brillante, de couleur vert brillant avant maturité, elle prend à maturité une couleur vive, en général rouge, mais aussi jaune, orangé, violet, marron, noir...

Les graines sont petites, plates, réniformes, de couleur crème.

Les poivrons se distinguent des piments par des fruits plus gros et plus charnus, et surtout dépourvus de substance piquante (Éric Birlouez.).

IV.2.2. Distribution

Cette plante n'est connue qu'à l'état cultivé, son ancêtre sauvage étant *Capsicum annum*⁴. Elle est originaire d'Amérique du Sud et a été probablement domestiquée au Mexique. On a retrouvé des graines vieilles de 5000 ans lors de fouilles archéologiques au Mexique.

Elle est cultivée dans le monde entier, depuis qu'elle a été introduite dans l'ancien monde à la fin du XVe siècle. Elle s'est répandue très facilement surtout sous la forme piquante, le piment. Le poivron semble s'être répandu plus tard, à la fin du XVIIIe siècle en France et en Europe et au Canada.

IV.2.3. Utilisation

Le poivron (c'est-à-dire le fruit de cette plante) se récolte soit vert, soit mûr. Il se consomme comme légume soit cru, soit cuit.

Cru le poivron, à texture cassante, entre, découpé en rondelles ou en morceaux, dans la composition de salades avec tomates et oignons. Lorsqu'il est consommé cru, le poivron est peu digeste : sa peau et ses fibres épaisses sont mal supportées par les intestins fragiles. Avant de le consommer, il faut donc retirer ses fibres blanches coriaces à l'intérieur, toutes ses graines et, idéalement, sa peau (en la pelant ou en la faisant cuire).

Cuit, le poivron s'accommode de diverses manières : au gril, au four, à l'étouffée, etc. Par sa forme creuse, il se prête bien à la préparation des poivrons farcis. Il entre également dans la composition de la salade cuite chakchouka.

C'est un légume très peu calorique, avec 22 kilocalories aux 100 g. Il est riche en vitamines C et A.

Certaines variétés de poivron riches en terpénoïdes sont utilisées pour fabriquer des colorants.

IV.2.4. Propriétés médicinales

Il contient une substance, la lutéoline, une flavone qui agit en activant des circuits neuronaux impliqués dans l'apprentissage⁶. Le poivron est aussi une source d'anticancer : les capsates sont des substances chimiques dans le poivron qui peuvent provoquer la mort des cellules tumorales et ainsi permettre d'éviter le développement des tumeurs cancéreuses⁷. Les capsates sont très proches des capsinoïdes contenues dans le piment et elles ont le même effet. Il est aussi riche en vitamine C, laquelle a été extraite pour la première fois en 1933 à partir du poivron et du paprika par Albert Szent-Györgyi (Éric Birlouez.).

IV.2.5.Variétés de poivrons

Le poivron est une espèce très polymorphe. Les variétés cultivées sont innombrables.

- ✓ Doux de Valence
- ✓ Petit vert marseillais
- ✓ Doux long des Landes
- ✓ Piquant - doux d'Algérie
- ✓ Doux California Wonder
- ✓ Petit carré de Nice
- ✓ Le Pepper Mont Jolien

IV.2.6.Quelques secrets pour des rendements élevés

Pour que le poivron donne une récolte de bonne qualité et de haute qualité, il est nécessaire d'approcher correctement le choix de la variété, en tenant compte non seulement de caractéristiques telles que la saison de croissance, la masse et la taille du fruit. Il est très important de prendre en compte la zone climatique dans laquelle la plante pousse et porte bien, qu'elle soit adaptée à la culture en plein champ ou en serre, ainsi que le degré d'exigence de la variété de poivron pour un arrosage régulier et des engrais. Un autre critère pour la sélection de la litière de culture - la date et l'heure exactes de la semence du matériel de plantation et son transfert sur un terrain dégagé.

Même si vous avez choisi la variété de poivron la plus productive, parfaitement adaptée aux conditions de croissance de votre région, il n'est pas établi qu'après la saison de croissance, vous pourrez retirer un grand nombre de fruits mûrs et de gros fruits de l'arbuste. Les jardiniers expérimentés connaissent les secrets de l'obtention de rendements élevés et atteignent leur objectif en appliquant au total 8 règles de base pour la culture du poivron.

- ✓ Semis de semences
- ✓ La germination
- ✓ Semer sur des plants
- ✓ Choix
- ✓ Arrosage
- ✓ Place pour la culture des poivrons
- ✓ Arrosage, engrais, paillage
- ✓ Formant un buisson

IV.3.Protocolexpérimentale

IV.3.1.Matérielexpérimentalutilisé

Cette étude a été menée en 10/04/2021 dans la zone agricole hassani abdelkerim à Eloued , 2 pots ont été préparés :

Le premier est le témoin : eau de la nappe + matière organique naturelle.

Le deuxième: eau épurée+matière organique naturelle.

Le 10/04/2021 c'était une greffe de plantules (poivre), La sol a été retourné avec la main et appliquer matière organique en quantités égales ensuite nous mélangeons la matière organique avec de la terre, , En suite les plantules ont été déposés et couverts puis le processus d'arrosage trois fois par semaine.



figure 18: les pots



figure 19 : l'engrais

IV.3.2.Processus de préparation de la terre

La terre a été retournée avec une vadrouille nivelée avec une peigne et préparée pour le semis. après nous avons creusé la terre et déposés les pots des plantules (pour protéger les racines des plantules de la lumière et économiser l'utilisation de l'eau).



figure 20 : la terre prêt pour la fertilisation

IV.3.3.Le processus de fertilisation organique des soles

Le compost a été ajouté uniformément sur les pots, puis le compost a été mélangé dans le sol avec une vadrouille et le sol a été nivelé avec le peigne, puis arrosez le directement pendant plusieurs jours.

Après la germination et le développement du processus de croissance de la plante poivre , des mesures morphologiques ont été prises pendant la phase de croissance végétale de la plante la phase de croissance végétale de la plante étudiée.



figure 21: la terre prêt pour le semis

IV.3.4.Mesures morphologiques

Hauteur de la plante (HP)(cm) :

La longueur de la plante a été prise du début de la tige (surface du sol) à l'extrémité des feuilles.

L'imprtance de l'utilisation des pots :

- ✓ Economiser l'utilisation de l'eau.
- ✓ les expériences en laboratoire.
- ✓ L'agriculture à domicile.

IV.4.Caractéristiques des eaux usées :

Les caractéristiques ou les propriétés des eaux usées peuvent être classée comme suivant :« 2»

IV.4.1.Caractéristiques physiques :

a-Couleur :

Les eaux d'égout domestiques fraîches sont grises, ressemblant en quelque sorte à une solution faible de savon au fil du temps, pendant que la dégradation commence, elles commencent à devenir noires.

La couleur des eaux d'égout septiques est plus ou moins noire ou foncée.

La couleur des eaux usées industrielles dépend du procédé chimique utilisé dans les industries. Les eaux résiduaires industrielles, une fois mélangées aux eaux d'égout domestiques, peuvent également altérer la couleur.

b-Odeur :

Les eaux d'égout fraîches normales ont une odeur de moisi qui n'est normalement pas gênante mais, après un délai de 3 ou 4 heures, tout l'oxygène dissous présent dans les eaux d'égout est épuisé et il commence à se dégager une mauvaise odeur due au sulfate d'hydrogène et à d'autre composés de soufre produits par les micro-organismes anaérobies.

c-Température :

Généralement, la température des eaux usées est plus élevée que celles des eaux potables, en raison de l'ajout d'eaux chaudes des ménages et des industries. Le changement de température affecte l'eau usée des manières suivantes :

- ✓ Quand la température augmente, la viscosité diminue ce qui a pour conséquence de précipiter les matières en suspension. Les températures extrêmement basses affectent défavorablement l'efficacité de la sédimentation.
- ✓ L'activité bactérienne augmente avec l'augmentation de la température, jusqu'à environ 60°C, après cette température, elle retombe. Cette caractéristique a pour effet d'affecter la conception des stations de traitement et leur efficacité.
- ✓ La solubilité des gaz dans les eaux usées diminue avec l'augmentation de la température. Ceci conduit au dégagement de l'oxygène dissous et d'autre gaz de ces derniers, et la réduction, de ce fait, du pouvoir d'autoépuration des rejets et l'augmentation de la croissance bactérienne. « 1 »

d-Turbidité :

La turbidité des eaux usées dépend de la quantité des matières en suspensions. L'essai de turbidité est employé pour indiquer la qualité de matière colloïdale. La turbidité dépend de la concentration des eaux d'égout ou des eaux résiduaires.

Plus forte est sa concentration, plus grande est sa turbidité.

e-Matière en suspension :

Elles représentent la partie solide de la pollution, les MES est la pollution non dissoute, la plus facile à éliminer.

f-Les matières volatiles sèches :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles constituent environ 70 à 80% de MES.

IV.4.2. Caractéristiques chimiques :

a. Le potentiel hydrique :

Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux. Ce paramètre joue un rôle primordial :

- ✓ Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- ✓ Dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situent entre 6.5 et 8.5. « 1 »
- ✓ La détermination de la valeur du pH des eaux d'égout est importante puisque certains modes de traitement sont sensibles à la valeur du pH pour leur fonctionnement.
- ✓ Le PH est déterminé à l'aide d'un pH mètre. La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil.



figure 22: pH -mètre

b. Détermination de la conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de l'unité de la conductivité est le siemens par mètre (s/m).

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivant :

$$\text{Résistivité } (\Omega\text{cm}) = 1000000 \text{ Conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

- ✓ Matériel : Conductivimètre
- ✓ Mode opératoire : d'une façon général, préparé de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner, faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées. Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes.
- ✓ Expression des résultats : le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

c. Teneur en O₂

- Appareil : Oxymètre
- Mode opératoire : on prend une quantité de l'eau usée dans un bécher après on descend l'électrode d'oxymètre dans bécher



figure 23: Oxymètre

d. Teneur en chlorure :

Les chlorures sont des sels minéraux et en conséquence, ne sont pas affectés par les interactions biologiques des eaux d'égout.

Les eaux usées reçoivent environ 6g de chlorure par personne par jour. Les adoucissants ajoutent également de grande quantités de chlorures.

De grandes quantités de chlorures peuvent également provenir des industries.

e. Teneur en azote et en phosphore :

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants. Les rejets excessifs de phosphore et d'azote contribuent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau.

Ce phénomène se caractérise par la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui appauvrit la faune et la flore des eaux superficielles (cours d'eau, lacs, etc....)

Appareillage : spectrophotomètre.

Expression des résultats : le résultat est donné directement en mg/l .

f. Teneur en graisse et en huile:

Les graisses et les huiles proviennent essentiellement des cuisines, elles peuvent avoir aussi pour origine certaines industries, garages, ateliers...etc. Les graisses et les huiles flottent au dessus de l'eau et ne se sédimentent pas, obstruent souvent les conduites en hiver et les filtres. Ils gênent ainsi le fonctionnement des installations de traitement et posent des problèmes d'entretien. Les graisses sont parmi les molécules organiques les plus stables et ne sont pas facilement décomposées par les bactéries.

C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de détecter et retirer ces derniers de l'affluent à l'entrée des stations de traitement.

g. Demande chimique en oxygène:

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par oxydation chimique de la totalité des matières organiques et minérales dissoutes dans l'eau.

Le bichromate de potassium agissant en milieu sulfurique pendant deux heures à ébullition, oxyde presque entièrement les matières réductrices.

Appareillage : thermo réacteur, spectrophotomètre DREL/820 Adaptation de tube DCO sur DREL/820



figure 24 : thermo réacteur **figure 25 : spectrophotomètre**

h- Demande biologique en oxygène :

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation (avec l'intervention des bactéries) les matières organiques contenues dans une eau usée.

Matière organique + bactéries → boues + gaz + eau.

Généralement la pollution est dégradée d'une manière significative pendant une durée de 5 jours, au-delà de 5 jours la consommation en oxygène diminue énormément ainsi on a adapté la notion DBO5 obtenue après 5 jours d'incubation à 20°C et dans l'obscurité. « 3 »



figure 26 : incubateur contient des bouteilles du DBO5

Prélèvement et échantillonnage de l'eau

Le prélèvement d'un échantillon d'eau conditionne les résultats analytiques et les interprétations pour ne pas y modifier les caractéristiques physicochimiques d'eau. (Amouria et Medjouri, 2007). Dans notre cas, nous avons effectué le prélèvement de l'échantillon d'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP 2 d'Eloued. L'opération s'est faite manuellement à l'aide d'un petit récipient qui est ensuite transvasé dans des bouteilles avant de prendre l'échantillon au laboratoire de la station d'épuration pour effectuer les analyses appropriées.



figure 27 : Préleveur échantillon

IV.4.3. Caractéristiques biologiques :

Les eaux d'égout domestiques, par leurs natures, contiennent d'énormes quantités de micro-organismes. Les caractéristiques biologiques des eaux d'égout sont liées à la présence de ces micro-organismes. L'ingénierie sanitaire doit avoir une grande connaissance des :

- ✓ Principaux groupes de micro-organismes présents dans les eaux usées.
- ✓ Organismes pathogènes.
- ✓ Organismes utilisés comme indicateurs de pollution.

Composition des eaux usées :

La composition ou les constituants des eaux d'égout dépendent en grande partie de la source de laquelle proviennent ces eaux. Elle peut être classée comme forte, moyenne et faible, suivant la concentration de ses constituants. [OIE]

IV.4.3.1. Matière en suspension

La tenue en MES ne doit pas trop élevée étant donné que les risques des ajustages est d'obstruer les pores du sol. La décantation et la filtration fournissent normalement une séparation suffisante.

IV.4.3.2. Salinité

Une salinité élevée peut endommager les récoltes, spécialement dans les régions où l'évaporation est plus grande que les précipitations.

Le tableau ci après montre l'utilisation possible de différents types d'eau dans les régions arides et semi arides.

Tableau 10 : Réutilisation des différents types des eaux usées dans les régions arides et semi arides.

Classification	Matière sèche (mg/l)	Conductivité (us/cm)
-Eau n'ayant pas d'effet nocif.	500	750
-Eau pouvant avoir un effet sensible	500- 1000	750-1500
-Eau pouvant avoir un effet beaucoup de plantes.	1000-2000	1500-3000
-Eau pouvant être utilisée sur des plantes tolérantes sur un sol perméable.	2000-5000	3000-7500

IV.4.3.3.Matière organique

Une teneur en matière organique (DBO) peut entraîner la formation d'une couche de la boue biologique dans les canalisations et les ajustages d'arrosage

IV.4.3.4.Substance nutritive

La présence de substance nutritive telles que le phosphore et l'azote sont normalement avantage à condition de ne pas mener à la contamination de la nappe phréatique.

Certains minéraux peuvent agir sur les terres, et les nappes phréatiques.

IV.4.3.4.Bactéries

Les teneurs en bactéries dans les eaux usées qui doivent servir à l'irrigation ne doivent pas être trop élevés, de l'eau d'une teneur de 100 bactéries coliformes par 100 ml peut être utilisée pour toute forme d'irrigation pour l'arrosage de plantes ne devant pas être consommées crus, de l'eau d'une teneur de 1000 bactéries coliformes par 100 ml reste acceptable.

IV.5.Conclusion

L'objectif de traitement des eaux résiduaires est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictés par la législation et pouvant par suite être évacuées sans danger dans le milieu naturel ou bien être réutilisée dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau, plus particulièrement en milieu industriel et agricole.

Avant le choix d'une filière de traitement, il est essentiel de connaître sa composition, qualité et caractéristique des eaux usées.

Chapitre V
Résultatset discussions

V.1.Introduction

Toutes les analyses que nous avons effectuées correspondent à celles réalisées par les Techniciens dans la station d'épuration (le labo du Step2) et aussi par un laboratoire privé " FATILAB " sont portées sur les différents paramètres suivants : **PH, T, DCO, DBO, MES, conductivité, salinité ,potentiel redox ,turbidité ,TDS , le phosphore, l'azote ammonium, les nitrates et le nitrite**

Dans ce chapitre, nous présentons la qualité des eaux usées et leurs impacts sur les Paramètresphysico-chimiques des sols et les paramètres physico-chimiques de plante Capsicum annuumet leurs discussions.

V.2.Résultats physico-chimiques

A travers les analyses physico-chimiques de l'eau utilisée dans l'irrigation du Capsicum annuum (l'eau utilisée pour l'irrigation dans la nappe de culture et l'eau traitée STEP, on les retrouve toutes dans les normes d'eau traitée utilisée en irrigation selon les normes algériennes pour l'eau traitée destinée à l'irrigation (le journal officiel, l'histoire du journal dans le tableau des normes en annexe).

Après avoir effectué les mesures étudiées, les résultats obtenus ont été enregistrés dans la tableau suivant.

Tableau 11 : les différents paramètres de l'eau épurée du STEP2 El-Oued et de l'eau nappe

Type d'eau	Eau épurée					Eau de nappe
jours	16/05/21	17/05/21	18/05/21	19/05/21	20/05/21	
PH	8.04	8.15	8.31	8.19	7.38	6.98
T(°C)	25.7	27.1	25	24	25.4	25.4
Conductivité(µs/cm)	5.11	5.37	5.31	6.09	5.7	37.70
salinité	3	2.8	3	3	3.1	2
Saturation en O2	23.3	50.1	49.1	47.3	57.9	_____
MESmg/l	21.11	_____	_____	_____	18.34	_____
DCOmg/l	254.23	_____	_____	_____	_____	_____
DBO5 mg/l	22	_____	_____	_____	38	_____
N-NO2 mg/l	0.378	_____	_____	_____	_____	_____
NO3 mg/l	1.994	_____	_____	_____	_____	20.604
PO4 mg/l	7.725	_____	_____	_____	_____	_____
potentiel redox	-53.08	-49.1	-68.4	-60.9	-21.8	-24.8

Remarque : les paramètres physico-chimiques de l'eau de nappe sont obtenues d'algérienne des eaux (ADE)

Tableau 12 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (MRE ,2014)

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO*(1985)	OMS**(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4*		6.5-8,5
CE	ds/m	<0,7* Aucune restriction		3
		0,7– 3,0 * restriction légère à modérée		
		>3,0* Forte restriction		
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mgO ₂ / l	<40 **		90
DBO ₅	mgO ₂ / l	<10**		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **		30
NO ₂ ⁻	mg/l	<1 **		Nondisponible
NH ₄ ⁺	mg/l	<2 **		Nondisponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	<0,94 **		Nondisponible
SAR	meq/l	<3* Aucunerestriction		Nondisponible
		3-9*restrictionlégèrea modérée		
		>9*Forterestriction		
Coliformestotaux	UFC/100ml	Nondisponible		Nondisponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **		Nondisponible
Salmonelles	UFC/1L	Absence**		Nondisponible

V.3. Résultats des mesures morphologiques

En suivant les étapes de croissance de la plante *Capsicum annuum* après la plantation et l'arrosage avec différents types d'eau et d'engrais (eau d'irrigation pour la culture, eau de traitement, engrais ordinaire).

Nous avons pris des photos de chaque type d'acres pendant la croissance par mois.



Figure 28 : Une photo des pots prise le premier jour.

- ❖ Au bout de 17 jours nous remarquons que les plantules ont atteint 15cm (eau usée de la Step + matière organique) et 12.5cm (eau de nappe + matière organique).



Figure 29: Une photo des pots prise après 17 jours.

- ❖ Après 30 jours, nous remarquons que la première plantule (eau usée de la Step + matière organique) a atteint 20cm et la deuxième (eau de nappe + matière organique) 17cm de hauteur.



Figure 30: Une photo des pots prise après 30 jours

❖ Après 53 jours ; La plante *Capsicum annum* est entièrement cultivée par le premier pot (matière organique + eau épurée) et croissance +/- intensive par rapport à la deuxième (eau de nappe + matière organique), la hauteur moyenne dans le premier augmente jusqu'à 32cm, Croissance incomplète dans la deuxième dont sa hauteur moyenne atteint 27 cm.



Figure 31 : Une photo des pots prise après 53 jours

En observant sur les photos on constate que le premier pot (matière organique + eau épurée), Il a un bon développement de l'hauteur et de la densité de la plante Par rapport au pot irrigué avec de l'eau de la nappe + matière organique.

Grâce à cette étude, nous avons découvert que la qualité de l'eau est le facteur le plus efficace de croissance dense dans une période rapide de plante (*Capsicum annum*).

V.4.Conclusion

Selon les résultats d'analyses effectuées dans le laboratoire de la station, nous remarquons la grande différence entre les valeurs des eaux épuré et celles des eaux de la nappe. Cela reflète le degré d'efficacité du traitement biologique des eaux résiduaires d'Eloued qui a un effet positif sur le rendement. Malgré les résultats de quelque paramètre qui sont non convenables avec les normes, les eaux usées traitées dans la Step 2 d'Eloued donnent des résultats à l'usage agricole.

D'après les résultats physico-chimiques des eaux usés , on propose la possibilité d'une traitement secondaire afin d'obtenir des eaux convenables avec les normes pour améliorer le rendement.

Conclusion générale

Conclusion générale:

Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire de Master à l'étude de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation. La technique proposée, l'étude a été divisée en Cinq parties.

Dans le premier chapitre nous avons présenté en premier lieu, les origines et les caractéristiques des eaux usées, où il a été montré qu'ils proviennent d'une origine domestique, industrielle et/ou pluviale .

Le deuxième chapitre a pour but de présenter la station étudiée et ses paramètres ont suivis. Après la présentation de la Step 2 d'Eloued (station à boues activées ainsi que la description du procédé de fonctionnement de la STEP). Nous avons exposé ensuite, les différentes méthodes utilisées pour leur épuration, où nous avons valorisé la technique d'épuration.

Le troisième chapitre s'est intéressé à la présentation de la réutilisation des eaux usées, et les possibilités de réutilisation des eaux usées en agriculture.

Le quatrième chapitre, a été consacré à la définition de la plante étudiée leur utilisation et sa morphologie, aux méthodes de préparation de la terre, l'implantation de la Capsicum annum ainsi que les méthodes de fertilisation et d'irrigation.

Le cinquième chapitre a été consacré pour constater les résultats d'irrigation pour l'eau de la nappe et l'eau épurée de la station étudiée ainsi que l'utilisation des engrais. La hauteur de la plante irriguée et les Résultats physico-chimiques des eaux utilisés (eaux usés +eaux de nappe)

Nous espérons que cette étude aura un impact sur les perspectives de la valorisation de la possibilité de la réutilisation des ressources en eaux non conventionnelles telles que les eaux usées, épurées pour l'irrigation.

L'objectif de notre travail est de valorisé les eaux usées épurées à des fins d'irrigations, et protégé l'environnement en même temps.

***Référence
bibliographique***

Référence bibliographique :

1. adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)
2. Asano T. (1998)., Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475 p.
3. Bureau Régional pour le Proche-orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord Irrigation avec des eaux usées traitées – Manuel d'utilisation - 2003
4. Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret. (1996)., Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118.
5. Chellé F., Dellale M., Dewachter M., Mapakou F., Vermey L. (2005)., L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office international de l'eau, 15 pages.
6. CSHPF. (1995)., Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.
7. DEGREMANT, 2005, Mémento technique de l'eau. Tomel. 9 ème 6p.
8. Desjardins R. (1997)., Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303p
9. Elskens M.,2010 : Analyse des eaux résiduaires, Mesure de la pollution. Techniques de l'ingénieur, P4200v2.
10. Éric Birlouez, Petite et grande histoire des légumes, [Quae](#), coll. « Carnets de sciences », 2020, 175 p
11. Faby, J et Brissaud,F. 1997 : Utilisation des eaux usées en irrigation, office international de l'eau. ANDI.,2013. Wilaya d' El Oued. 18 p
12. FAO. (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.
13. Gaujous D. (1995)., La pollution des milieux aquatiques ; aide mémoire.Ed. Techniques et documentations. Lavoisier.Paris, 220p.
14. Lazarova, B.2007: Intérêt, bénéfice et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France .
15. le territoire national. 051453-3020.Aout 2006. Alger sur tout
16. Mara, D. and S. Cairncross. 1988. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Methods of public health protection. IRCWD News. 24/25: 4-12

17. Martin G. (1979)., Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris, 279p.
18. Metahri, M-S .2012 : Elimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par procédés mixte (thèse de doctorat)
19. MEZIANI H., DRIDI M. et KALLA., 2012. La réutilisation des eaux usées dans la région de Souf-Sahara Algérien, Canadian Journal of Technology and Scientific Management, Vol. 1, Issue 1. Pp.106.
20. Michel Pitrat et Claude Foury, Histoires de légumes : des origines à l'orée du xxi^e siècle, Paris, INRA, 2003, 410 p.
21. MOUHAMMED OUALI S., 2001, Procédés unitaires biologique de traitement des eaux.
22. Moussa. Moumouni. Djermakoye H., 2005 : Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries caractéristiques physico-chimiques et biologiques « impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines». Université de Bamako, Bamako, p 119
23. ONA., Rapport de centre de formation aux métiers de l'Assainissement (ONA), thème: conception et dimensionnement d'un système d'épuration par lagunage naturel, (Février, 2011), 120p
24. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture FAO 2003 :
25. [POIVRON : Définition de POIVRON](#) » [[archive](#)], sur www.cnrtl.fr
26. Salghi R., 2001 : Différentes filières de traitement des eaux, ed univ IZ Rabat, p.22.
27. Sasvari, Joanne., Paprika : a spicy memoir from Hungary, CanWest Books, 2005
28. Tecsalt: Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou aut
29. Vaillant J.R. (1974)., Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.
30. www.hc-sc.gc.ca
31. Xanthoulis D. (1993)., Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp: 27-32.