

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



**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques**



**Département d'Agronomie**

*Mémoire de fin d'études*

*En vue d'obtention du Diplôme de Master en Agronomie*

*Spécialité : science du sol*

*Thème*

**Valorisation des eaux usées épurées  
en agriculture : Impacts sur le sol et la  
plante**

**Réalisé par :**

Melle Kechit zouina

Melle Nekiche Fatiha

**Devant le jury composé de :**

Président : Mme MOUAS-BOURBIA Sophia

MCA (UMMTO)

Promoteur : Mme OMARI Ouardia

MAA (UMMTO)

Examineur : Mme OMOURI Ourdia

MAA (UMMTO)

Année universitaire  
2019 /2020

# Remerciement

*Nous tenons à remercier Dieu de nous avoir donné la force et la bonne santé, la patience et le courage de mener à bon terme ce modeste travail.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à notre promotrice **M<sup>me</sup> OMARI** pour son encadrement et ses orientations judicieuses et l'ensemble des moyens mis à notre disposition qui nous ont été infiniment utiles.*

*Nous tenons également à exprimer nos profondes gratitudee et nos reconnaissances à l'égard des membres de jury.*

***M<sup>me</sup> BOURBIA** pour avoir accepté la présidence du jury.*

***M<sup>me</sup> OMOURI** qui a accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Nous remercions également tous les enseignants qui nous ont accompagné durant notre cycle universitaire et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce présent travail.*

## Dédicaces

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :*

*A Mon père et à ma mère pour leur exprimer tout le respect que j'ai pour eux et pour leur témoigner ma reconnaissance pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir ainsi de m'avoir légué la plus chère des vertus qui est l'éducation.*

*Que DIEU vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.*

*A Mes deux chère frères, Samir et Mohand et pour vous aussi Nana samira et Nana farida qui m'ont beaucoup soutenu et encouragé par tous les moyens.*

*A toute la famille kechit .*

*A toi Fatiha*

## Dédicaces

*A mes très chers parents,*

*Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer toute ma reconnaissance et tout l'amour que je vous porte. Jamais il n'aurais vu le jour sous les conseils que vous avez consentis pour mon éducation.*

*Que DIEU vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.*

*A mes très chers frères, Dahmen, Walid et Ferhat. et à mes adorables sœurs, qui m'ont beaucoup soutenu t encouragé par tous les moyens.*

*A toi Zouina*

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Generalites sur les eaux usees</b>	
1. Définition des eaux usées.....	3
2. Origine des eaux usées.....	3
3. Paramètres physico-chimique et microbiologiques des eaux usées.....	4
3.1. Paramètres Physiques .....	4
3.1.1. La température.....	4
3.1.2. La Turbidité et l'odeur .....	4
3.1.3. Les matières en suspension (MES) .....	5
3.2. Paramètres chimiques .....	5
3.2.1. Potentiel Hydrogène.....	5
3.2.2. Oxygène dissous .....	5
3.2.3. La conductivité électrique.....	6
3.2.4. Demande biologique en oxygène (La Demande Biochimique en Oxygène (DBO))..	6
3.2.5. Demande chimique en oxygène .....	6
3.2.6. Biodégradabilité.....	6
3.2.7. Nutriments.....	7
3.2.8. Métaux lourds .....	7
3.3. Paramètres biologiques.....	7
3.3.1. Helminthes .....	7
3.3.2. bactéries .....	7
4. Normes de rejets .....	8
<b>Chapitre II : Procédés de traitement et notion de la réutilisation des eaux usées épurées</b>	
1. Définition d'une station d'épuration (STEP).....	10
2. Différents traitements d'une STEP .....	10
2.1. Les prétraitements.....	11

2.2.	Traitement primaire .....	12
2.3.	Le traitement secondaire (biologique).....	13
2.4.	Traitement des boues .....	13
2.5.	Traitement tertiaire .....	14
3.	Notion de la réutilisation des EUE.....	15
3.1.	Définition de la réutilisation .....	15
3.2.	Les types de réutilisation .....	15
3.3.	L'objectif de la réutilisation des eaux usées épurées.....	16
3.4.	Avantages et inconvénients de la réutilisation des EUE.....	17
3.5.	Les différentes réglementations de réutilisation des eaux usées épurées .....	18
3.6.	Domaines de réutilisation des eaux usées épurées .....	20
3.7.	Etat actuelle de la réutilisation des eaux épurées en Algérie.....	21

### **Chapitre III : système d'irrigation par les eaux usées épurées**

1.	Contrôle des EUE destinées à l'irrigation .....	23
2.	Choix des systèmes d'irrigation par les EUE.....	24
3.	Choix des cultures au niveau du périmètre irrigué.....	28

### **Chapitre IV : Impacts de l'irrigation par des eaux usées épurées sur le sol et la plante**

1.	Impacts de l'irrigation par des eaux usées épurées sur le sol .....	30
1.1.	La microflore du sol .....	31
1.2.	Impacts liés à La salinité des EUE destinées à l'irrigation.....	31
1.3.	Accumulation des métaux lourds dans le sol.....	32
1.4.	Risques dus aux fertilisants et gestion des fertilisants.....	34
2.	L'impact de l'irrigation des eaux usées épurées sur la plante.....	35

<b>Conclusion générale</b> .....	37
----------------------------------	----

### **Références bibliographiques**

## Liste des tableaux

Tableau 1: Classes de turbidité usuelles.....	5
Tableau 2: Biodégradabilité .....	6
Tableau 3: Normes de rejets de l’OMS appliqué en Algérie .....	8
Tableau 4 : Types de réutilisation : exigences de mise en œuvre et de gestion (FAO 2003) ..	15
Tableau 5: Comparaison des rendements en t/ha. ....	17
Tableau 6: L'utilisation des eaux usées épurées dans quelques domaines (Strauss (1985) in (Mara et Cairncross, 1989).....	20
Tableau 7: Méthodes d'irrigation.....	25
Tableau 8: Évaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990).....	26
Tableau 9: Acteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée épurée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989).....	27
Tableau 10: 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) .....	28
Tableau 11: Guide pour l’interprétation de la qualité d’une eau d’irrigation .....	31
Tableau 12 : Teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le sol irrigué par EUE comparées à un témoin et aux normes anglaises pour les sols agricoles .....	33
Tableau 13: Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation .....	34
Tableau 14: Guide pour l’interprétation de la qualité d’une eau d’irrigation en azote (FAO, 1985).....	35

## Liste des figures

Figure 1: Nature de la pollution des eaux. (Djeddi, 2007).....	4
Figure 2: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.....	11
Figure 3: Dégrilleur.....	11
Figure 4 : Déssableur et déshuileur.....	12
Figure 5: Schéma de prétraitement.....	12
Figure 6 : principe du décanteur à lamelles.....	13
Figure 7: Les acteurs de la filière de réutilisation des eaux usées en Algérie (Hannachi. A et al, 2013).....	18
Figure 8: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaine.....	21
Figure 9: Système d'irrigation.....	23
Figure 10: Localisation des contrôles et des analyses (JORAD, 2012).....	24

## Liste des abréviations

**EUE** : Eaux Usées Epurées

**EUT** :Eaux Usées Traitées

**REUE** : Réutilisation des Eaux Usées Epurées

**FAO** : Food and Agriculture Organization (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).

**NTU** : nephelometric turbidity unit

**ONA** : Office National d'Assainissement.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**MES** : Matière En Suspension

**STEP** : Station d'Épuration

**REUT** : Réutilisation des eaux usée traitée.

**pH** : Potentiel hydrogène.

**CE** : Conductivité électrique

**CEC** : Capacité d'Echange Cationique

**TDS** : Testeur De Salinité

**ETM** : Eléments traces métalliques

**ENP** : Ecole National Polytechnique

**MRE** : Ministère des Ressources en Eau, Algérie

**J.O** : Journal Officiel

**DBO5** Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

**DCO** Demande chimique en oxygène.

**FMAT** : Flore Mésophile Aérobie Totale

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## Introduction générale

---

En Algérie, l'eau douce est une denrée de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée (Kir et al. 2013 In khennofa et labsi, 2017).

La pollution des eaux de surface et souterraines par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et des pesticides en agriculture, à un risque de pénurie d'eau (Belaid, 2010).

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer. C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux (MRE, 2003).

Selon une étude de Global Water Intelligence en 2005, seulement 5% des eaux usées traitées de la planète sont réutilisées à l'heure actuelle, ce qui représente un volume global d'environ 0,18% de la demande mondiale en eau, mais ce marché enregistre, aux États-Unis comme en Europe, une croissance d'environ 25% par an. La réutilisation des eaux usées est donc une activité en plein développement (Moussaoui et Benhabib, 2015).

L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports pluviométriques constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs s'intéressent à l'utilisation des eaux usées (Hannachi et al , 2014).

Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques (Valiron, 1983). Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture (MRE, 2012).

Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier. La politique de valorisation des eaux usées traitées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation (Djedi, 2007).

## **Introduction générale**

---

L'utilisation de l'eau usée traitée pour la production agricole permet en effet, de valoriser les matières fertilisantes qu'elle contient au lieu de les rejeter (Hannachi et al. 2016).

Ainsi, la réutilisation des eaux usées est justifiée dans beaucoup de cas par le fait qu'elles contiennent divers éléments nutritifs pour les plantes, notamment les composés à base de nitrates, de phosphore et de potassium. D'autre part elle peut avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée et des boues, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation (Okba et al, 2013).

**Chapitre I**  
**GENERALITES SUR**  
**LES EAUX USEES**

## 1. Définition et origine des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elle engendre au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (Metahri, 2012).

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

### ➤ Eaux usées domestiques

Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement par des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains (Rejsek, 2002).

### ➤ Eaux usée industrielles

Tous les rejets résultants d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme (Edline, 1979).

### ➤ Origine agricole

L'agriculture est une source non négligeable de pollution des eaux car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues (Metahri, 2012) .

### ➤ Les eaux pluviales :

Les eaux de pluies ruissellent dans les rues où sont accumulés les polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration,

mais sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (Desjardins, 1997).

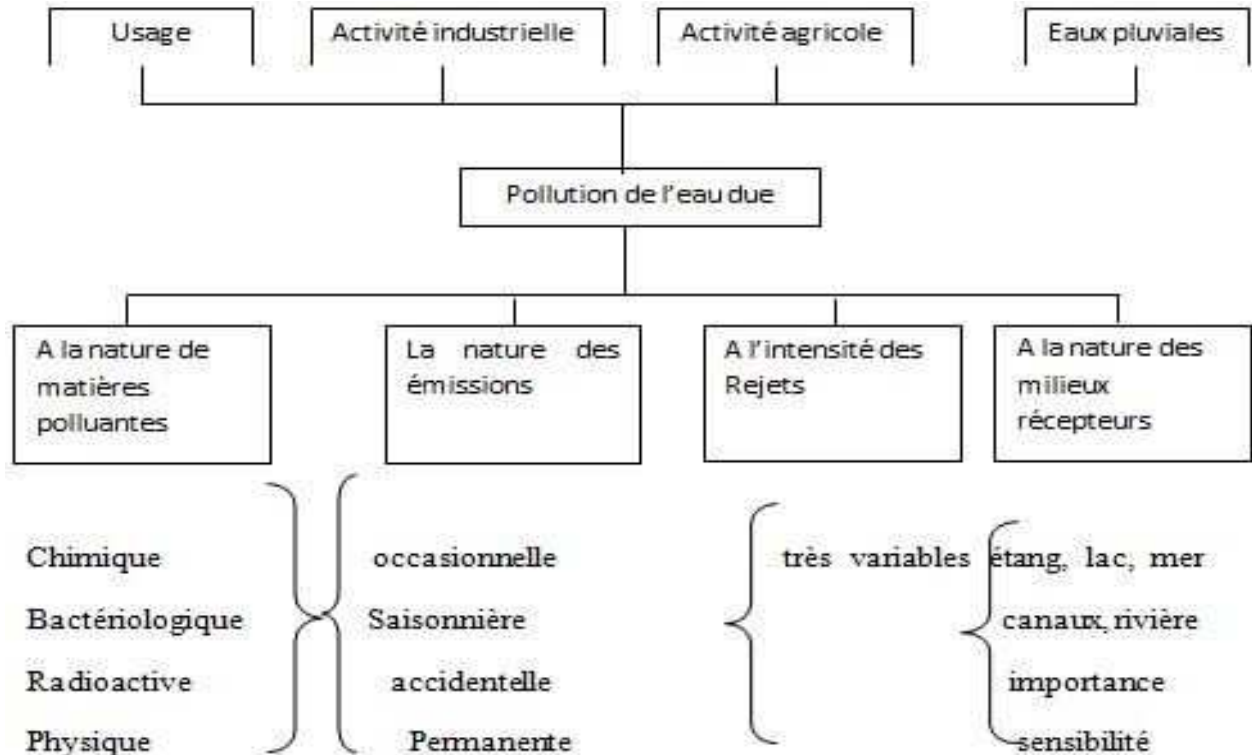


Figure 1: Nature de la pollution des eaux. (Djeddi, 2007)

## 2. Paramètres physico-chimique et microbiologiques des eaux usées

### 2.1. Paramètres Physiques

#### 2.1.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc. (Rodier et al, 2005)

#### 2.1.2. La Turbidité et l'odeur

Elle désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Elle est causée par des particules en suspension qui diffusent ou réfléchissent la lumière. En relation avec la mesure des matières en suspension, elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique. (Voir le tableau n°1).

Tableau 1: Classes de turbidité usuelles

Turbidité (NTU)	classe de l'eau
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Source: ONA

L'odeur de l'eau usée est due à une fermentation des matières organique.

### 2.1.3. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension représentent la fraction non solubilisée ou non colloïdale, donc retenue par un filtre. Les MES sont composées des parties minérales et organiques.

Elles constituent un paramètre important qui indiquent le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Elles permettent ainsi une mesure directe de la turbidité et une bonne corrélation avec les autres paramètres. L'analyse au laboratoire s'effectue selon la méthode par filtration ou par centrifugation.

Les MES s'expriment en milligramme par litre d'effluent (mg/l) ou en gramme par habitant et par jour (g /hab. /j). (Bourrier, 2008)

## 2.2. Paramètres chimiques

### 3.2.1. Potentiel Hydrogène

Le pH joue un rôle capital dans le traitement biologique, il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées. Ce paramètre joue un rôle primordial:

- Dans les propriétés physicochimiques (acidité, agressivité),
- Dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situant entre 6,5 et 8,5.

### 3.2.2. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O<sub>2</sub> /l (Rejsek, 2002).

### 3.2.3. La conductivité électrique

Ce paramètre mesure la capacité d'un liquide à transmettre un courant électrique à une température précise; la mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). (Hamadech, 2006)

### 3.2.4 Demande biologique en oxygène (La Demande Biochimique en Oxygène (DBO))

Selon Rejsek (2002), la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

### 3.2.5 Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origines organique ou minérale.

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation. (Rodier, 2005).

### 3.2.6 Biodégradabilité

C'est un facteur qui traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé sous l'action des microorganismes et qui nous permet de déterminer le choix du traitement à adopter (khacheba , 2004)

Biodégradabilité =  $K = DCO/DBO5$

**Tableau 2 :Biodégradabilité des eaux usées en fonction de K**

Coefficient (K)	Appréciation
$K=1$	$DCO = DBO5$ l'effluent est complètement biodégradable
$1 < K < 1.5$	l'effluent est biodégradable
$1.5 < K < 2.5$	l'effluent est moyennement biodégradable
$K > 2.5$	l'effluent n'est pas biodégradable

(ROUABAH.N, 2008).

### 3.2.7. Nutriments

#### ➤ Azote

Les formes de l'azote dans les eaux usées sont l'azote total, les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), en plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique. L'Azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. (Belokda, 2009).

#### ➤ Phosphore

Dans les eaux urbaines, le phosphore provient environ pour moitié des rejets humains et pour moitié de l'utilisation des détergents (lessives). (Baumont, 2009)

On distingue :

- Phosphore organique : résidu de la matière vivante, organophosphoré (ATP, ADP, AMP, phospholipides);
- Phosphore minéral : essentiellement constitué d'orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) qui représente 50% de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines.

### 3.2.8. Métaux lourds

Les éléments traces sont, en général immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence des risques pour le développement des plantes, la santé de l'homme et des animaux.

Les éléments traces qui présentent les risques les plus notables sont : le cadmium (Cd), cuivre(Cu), le Molybdène (Mo) et le zinc (Zn). Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques.

## 3.3 Paramètres biologiques

Ces Organismes présents en grande quantité dans les eaux usées et qui peuvent provoquer des maladies (virus, bactéries, protozoaires, champignons.) (Khacheba, 2004).

### 3.3.1 Helminthes

Ce sont des vers parasites internes du tube digestif de l'homme; ils sont fréquemment rencontrés dans les eaux usées et le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 à  $10^3$  par litre.

Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires (Edeline, 1980).

### 3.3.2. Bactéries

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale (Baumont, 2009).

L'OMS en 1979 a choisi plusieurs témoins répondant à certaines exigences; il s'agit des coliformes et des streptocoques fécaux.

#### **\*Coliformes totaux et coliformes fécaux**

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux) est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant (Edeline, 1980).

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe des coliformes totaux: Ce sont des bâtonnets Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies (ex. Escherichia coli). (Champiat et Larpent 1988)

#### **\*Les streptocoques fécaux et salmonelles**

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10<sup>6</sup> à 10<sup>7</sup> bactéries /100 ml, dont 10<sup>3</sup> sont pathogènes. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. (Champiat et Larpent, 1988).

### **3. Normes de rejets**

Le niveau d'épuration exigé correspond aux normes de rejets dans le milieu récepteur. Ces normes dépendent de l'usage qu'on veut faire de ce milieu. En Algérie, et quand il s'agit de rejeter les eaux usées dans un cours d'eau en écoulement, on utilise les normes recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS) regroupés dans le tableau suivant.

**Tableau 2: Normes de rejets de l'OMS appliqué en Algérie**

Paramètre	Unités	Normes
T°	C°	30
pH		6.5 à 8.5
O <sub>2</sub>	Mg/l	5
DBO <sub>5</sub>	Mg/l	30
DCO	Mg/l	90
MES	Mg/l	30
Zinc	Mg/l	2
Chrome	Mg/l	0.1

Azote total	Mg/l	50
Phosphate	Mg/l	2
Hydrocarbure	Mg/l	10
Détergents	Mg/l	1
Huiles et grasses	Mg/l	20

Source: ONA, 2016

# **Chapitre II**

## **Procédés de traitement et notion de la réutilisation des eaux usées épurées**

Les eaux usées ne doivent pas être réutilisées brutes. Un traitement est toujours nécessaire, diffère selon le type de culture et le mode d'irrigation choisis. Les objectifs principaux sont :

- Permettre le fonctionnement de l'irrigation, en réduisant les risques de colmatage,
- Eviter les mauvaises odeurs,
- Eliminer les microorganismes pathogènes, chaque fois que la réglementation l'exige,
- Réduire la teneur en azote, quand la protection d'une nappe souterraine l'impose.

D'autre part, les projets de réutilisation concernent souvent les effluents de stations d'épuration existantes. Il est donc nécessaire de rappeler rapidement les performances des principaux procédés d'épuration par rapport aux objectifs précédents

### **1. Définition d'une station d'épuration (STEP)**

Une station d'épuration présente un site de dépollution des eaux usées avant leurs rejets dans le milieu naturel, les cours d'eau et l'environnement en général, elle est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel. (Ademe, 2009).

### **2. Différents traitements d'une STEP**

Les eaux usées contiennent des matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers (végétaux, plastiques,...) L'épuration consiste à éliminer ces différents éléments de l'eau, afin d'obtenir une eau traitée conforme aux normes de rejet, (figure 2)

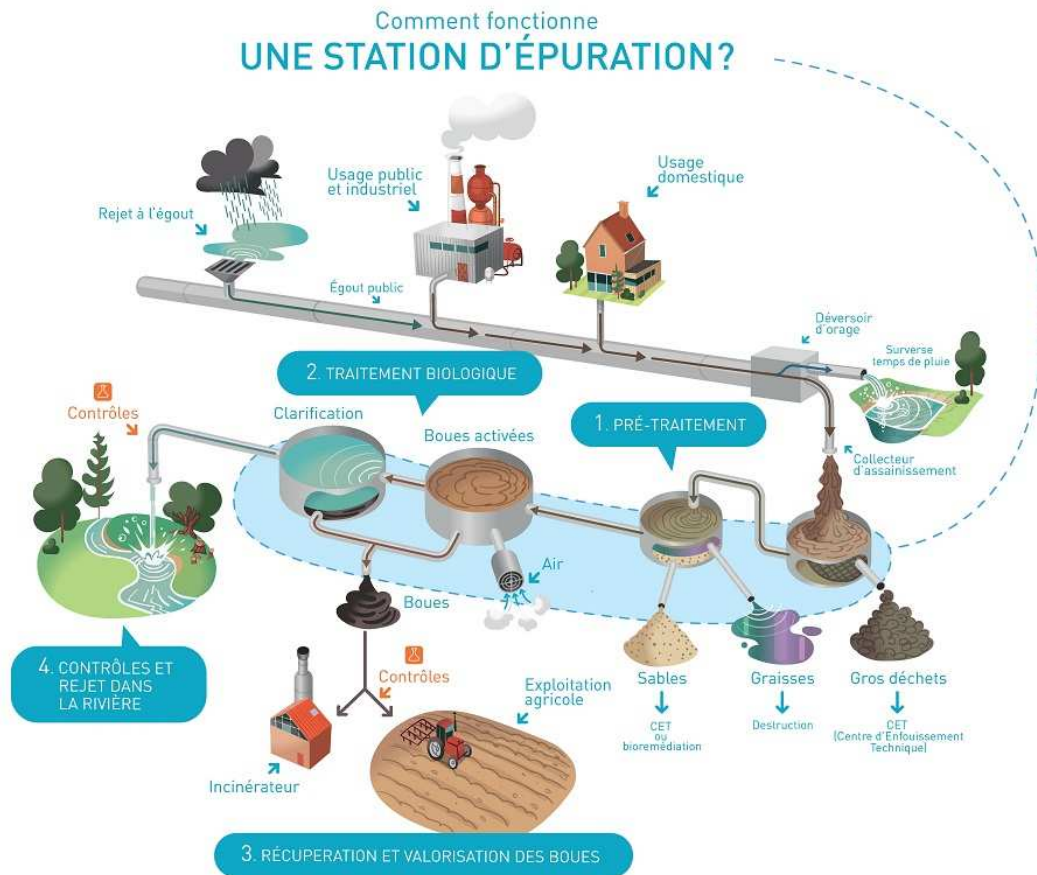


Figure 2: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration

## 2.1. Les prétraitements

### ✓ Le dégrillage

A l'arrivée à la station d'épuration, le dégrillage enlève les grosses matières en suspensions de l'eau. Ce sont deux grilles qui retiennent le papier et autres déchets.



Figure 3: Dégrilleur

### ✓ Le déshuilage, dessablage

L'eau arrive ensuite dans un bassin qui permet d'enlever le sable qui se dépose au fond du bassin et d'évacuer les graisses qui flottent à la surface de l'eau.



Figure 4 : Dessableur et déshuileur

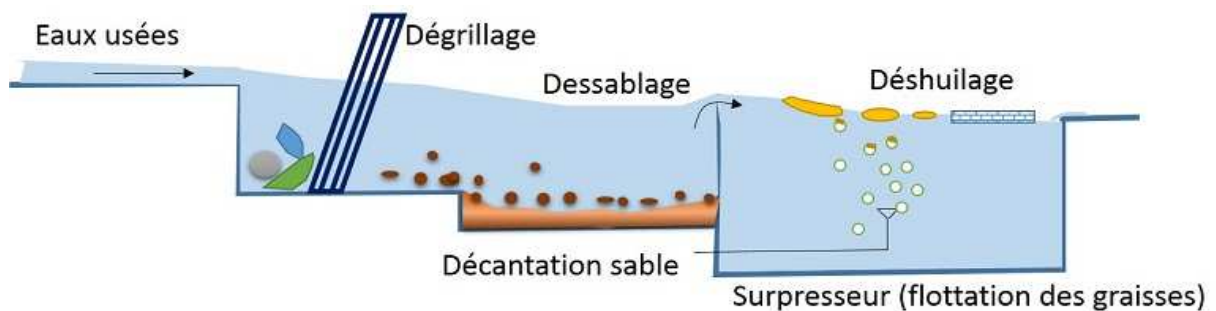


Figure 5: Schéma de prétraitement

### 2.2. Traitement primaire

Le traitement primaire affine encore la séparation des solides en suspension, en ciblant les particules encore plus fines. Il repose sur le principe des décanteurs à lamelles : des plaques disposées parallèlement dans le bassin permettent d'augmenter la surface de décantation. Les lamelles sont disposées en oblique ce qui facilite le glissement des solides sédimentés vers le fond du décanteur.

On récupère des boues (les boues primaires) en sous verse, qui feront l'objet d'un traitement spécifique.

L'eau épurée poursuit son chemin vers le traitement biologique.

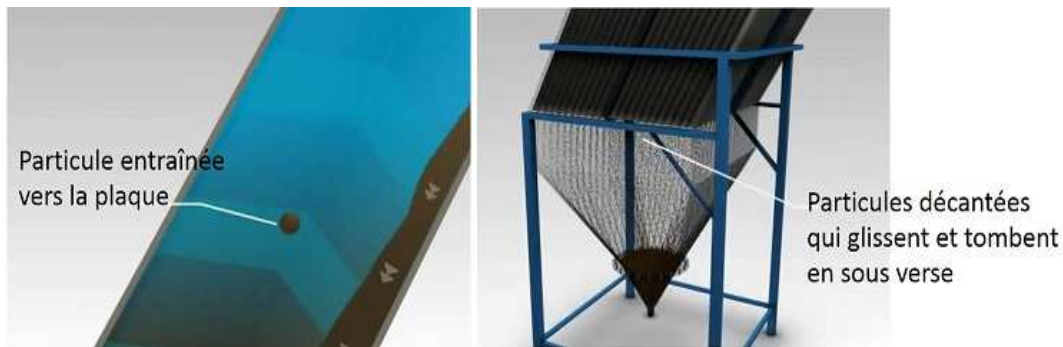


Figure 6: Principe du décanteur à lamelles

### 2.3. Le traitement secondaire (biologique)

Tout traitement biologique dans le cadre du traitement des eaux consiste à utiliser des bactéries ou d'autres micro-organismes pour éliminer un certain type de pollution.

Traitement biologique = bactéries → élimination polluants

### 2.4. Traitement des boues

Les boues de stations d'épuration sont des produits résiduels qui résultent du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration. Au cours des traitements primaires et secondaires, des boues sont produites. Elles sont classées en trois catégories :

- **Les boues primaires** : sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation, de nature fortement organique.
- **Les boues secondaires** : proviennent des traitements biologiques des eaux usées.
- **Les boues mixtes** : correspondent au mélange des boues primaires et secondaires.

\* **Les constituants des boues les plus importants sont :**

- La matière organique
- Les nutriments
- Les pathogènes
- Les métaux
- Les composés organiques.

### **\*Avantage de l'ajout de boues au sol agricole :**

- ✓ Approvisionnement du sol en matière organique.
- ✓ Fournir aux plantes les nutriments essentiels.
- ✓ Amélioration des propriétés du sol.
- ✓ Réduire la traduction des engrais chimiques.
- ✓ Améliorer et augmenter la productivité des cultures agricoles.

### **Les étapes de traitement des boues sont les suivantes :**

#### ➤ **Epaississement**

C'est une étape qui consiste à réduire le volume des boues, elle est réalisée :

- ✓ Soit par décantation : les boues sont introduites dans un épaisseur où le temps de séjour est élevé.
- ✓ Soit par flottation : les microbulles d'air injectées se fixent aux particules de boues et remontent en surface puis elles sont raclées.

#### ➤ **Stabilisation**

A pour objectif de réduire le pouvoir fermentescible des boues et leur nuisance olfactive. Elle est effectuée soit par digestion anaérobie, soit par digestion aérobie thermophile, soit par stabilisation chimique (utilisation de la chaux), soit par compostage.

#### ➤ **Conditionnement**

C'est une étape qui conduit à l'élimination d'environ 40 à 50 % de la phase liquide, elle est réalisée par centrifugation, par filtration ou par séchage.

#### ➤ **Elimination finale**

Les boues issues de traitement des eaux usées posent actuellement de réels problèmes environnementaux et économiques pour les collectivités locales, plusieurs filières d'élimination sont actuellement proposées aux producteurs de boues urbaines.

### **2.5. Traitement tertiaire**

Les eaux épurées sont souvent rejetées dans le milieu naturel à la fin du traitement secondaire. Toutefois, elles peuvent quelque fois faire l'objet d'un traitement complémentaire ou « affinage » dans le but, soit d'une réutilisation à des fins industrielles ou agricoles, soit de la protection du milieu récepteur pour des usages spécifiques.

La désinfection est appliquée dans le cas d'un milieu récepteur sensible (zone de baignade ou de conchyliculture...) car une épuration classique n'élimine pas la pollution bactériologique. On ajoute le plus souvent du chlore en sortie de la station d'épuration dans un bassin de « contact » ou on traite aux ultraviolets.

Les traitements destinés à éliminer l'azote et le phosphore sont des traitements complémentaires (Gomella et Geurree, 1983).

### 3. Notion de la réutilisation des EUE

#### 3.1. 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 les déficits hydriques.

#### 3.2. Les types de réutilisation

**On distingue deux types de réutilisation :**

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans un milieu naturel.
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain (Tableau 4).

**Tableau 3 : Types de réutilisation des EU : exigences de mise en œuvre et de gestion (FAO, 2003)**

	Application	Exigences	Facteurs déterminants
Potable	*Production indirecte d'eau potable  *Production directe d'eau potable	*Etudes des risques sanitaires *qualité de l'eau (pathogène) *traitement avancée *dilution avec de l'eau naturelle	*Manque d'eau et sécheresse *autonomie en eau *réapprovisionnement des nappes *augmentation de la population *contrainte de réglementation *pénurie d'eau *pas d'alternative

Non potable	Irrigation en agriculture -culture maraichères -arbres fruitiers -cultures industrielles -aquaculture Activités récréatives -augmentation des cours d'eau pour la pêche, - natation. Utilisation industrielles -eau de refroidissement -eau de process	*impact sur le sol *qualité de l'eau (pathogènes, salinité) *traitement secondaire et désinfection  Qualité de l'eau(pathogènes)	* manque d'eau et sécheresse *alternative au rejet des effluents *réduction de coût *valeur fertilisante  * manque d'eau et secheresse *amélioration de l'environnement
	Utilisation urbaines -irrigation des parcs ...	*qualité de l'eau (pathogènes ,salinité ) *traitement avancée	*prix de l'eau *autonomie d'eau
	-Golfs, cimetières, résidences -protection incendie -recyclage en immeuble	*qualité de l'eau (pathogène) *système de distribution double *augmentation de la population  *Traitement tertiaire et désinfection	* manque d'eau et sécheresse *politique de réutilisation des pouvoirs publics  *normes de rejet contraignantes *amélioration de l'environnement

### 3.3. L'objectif de la réutilisation des eaux usées épurées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées épurées 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. (Ecosse, 2006).

### 3.4. Avantages et inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées :

#### a) Avantages

La principale motivation qui justifie un projet de réutilisation des EUE est de réaliser des économies d'eau de première main ou d'accroître la disponibilité de la ressource.

L'utilisation agricole des EUE à des fins agricoles peut être avantageuse sur plusieurs plans notamment :

- La suppression de rejets en eaux de surface ;
- La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture ;
- 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).
- une meilleure productivité et des gains économiques en conséquents. Comme en témoigne le tableau5 qui compare les rendements dans différentes situations.

**Tableau 4: Comparaison des rendements en t/ha.**

Eau d'irrigation	Blé	Riz	Pomme de terre
Eaux usées brutes	3.34	2.97	23.11
Eaux traitées par lagunage	3.45	2.98	22.31
Eaux fraiche +NPK	2.70	2.03	17.16

Source : (Mara, 2004)

#### b) Inconvénients :

- ✓ Risque sanitaire lié à la présence des germes dans les eaux usées traités aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur ;
- ✓ En raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui entrainerait une chute de la production et même une dégradation des sols par accumulation de sel.
- ✓ L'apport en quantité importante de l'azote et de phosphore peut nuire la production agricole et contribue à la pollution des nappes.
- ✓ Les sites d'utilisation doivent se trouver à proximité des stations d'épurations, c'est-à-dire dans les zones périurbaines peuplées ;

- ✓ La réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposés sont de faible rentabilités économiques ;
- ✓ Les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions. (Kessi et Ihadadene, 2012).

### 3.5. Les différentes réglementations de réutilisation des eaux usées épurées

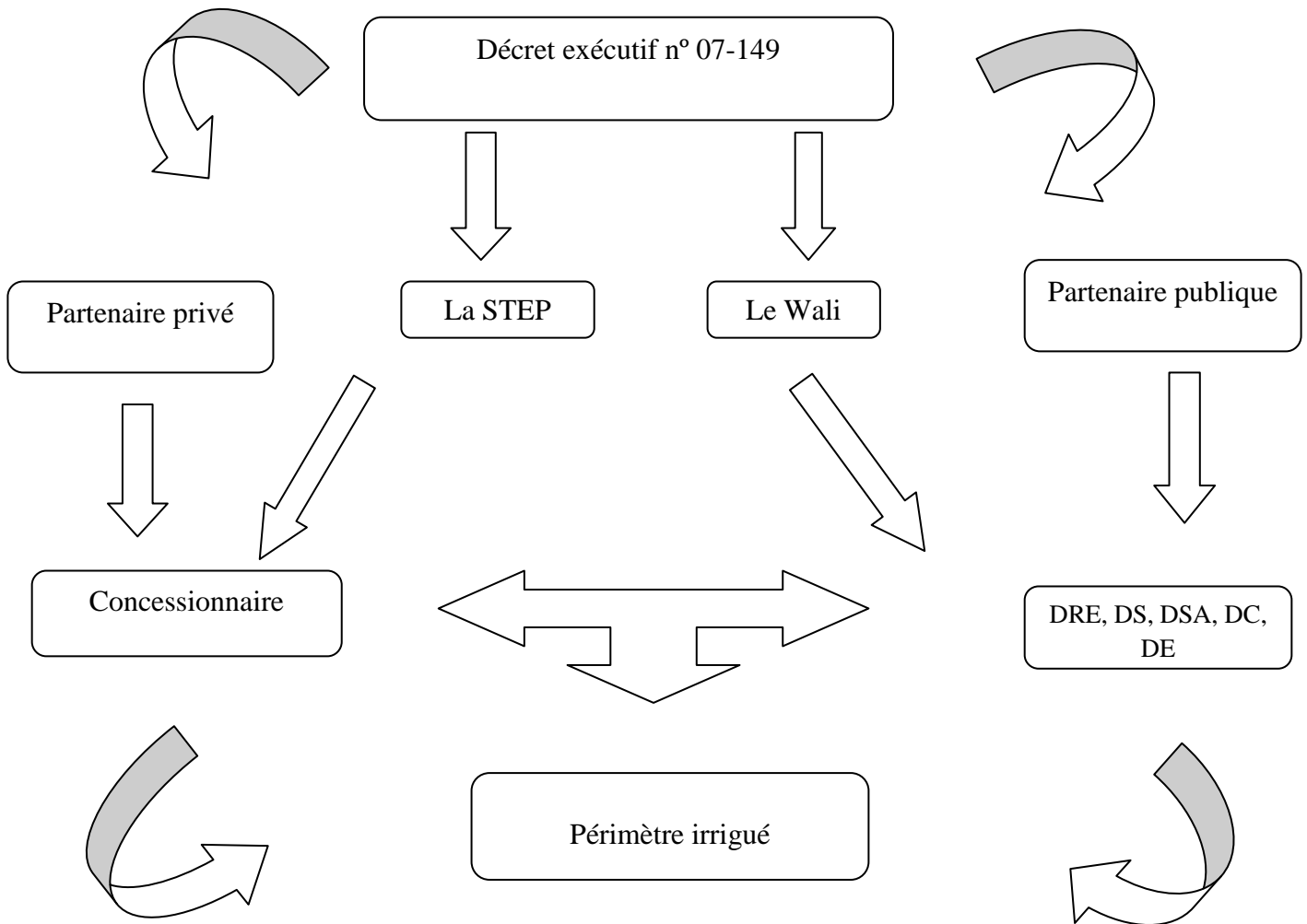
A l'échelle mondiale, il n'existe pas une réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie et de la géographie, du type de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays.

Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel que l'OMS, la FAO, etc...

La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités.

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 35 du 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent (JO, 2007). Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées, par une demande du concessionnaire adressée au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région. Cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées.

Le contrôle technique, la gestion des périmètres irriguées et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce (Figure 7)



**Figure 8: Les acteurs de la filière de réutilisation des eaux usées en Algérie (Hannachi. A et al, 2013).**

DRE : Direction des Ressources en Eau.

DSA : Direction des Services Agricoles.

DS: Direction de santé.

DC: Direction de commerce.

DE : Direction de l'environnement

### 3.6 Domaines de réutilisation des eaux usées épurées

Les différentes possibilités de réutilisation envisageable, en dehors de la recharge de la nappe, sont généralement :

- ✓ La réutilisation industrielle : Eau de refroidissement, eau de process.
- ✓ La réutilisation agricole qui est une pratique très ancienne dans certain pays.
- ✓ La réutilisation urbaine : arrosage d'espaces verts (golfs, parcs, terrains sportifs), protection des incendies, lavage des rues, aménagement paysager (cascades, fontaines...)

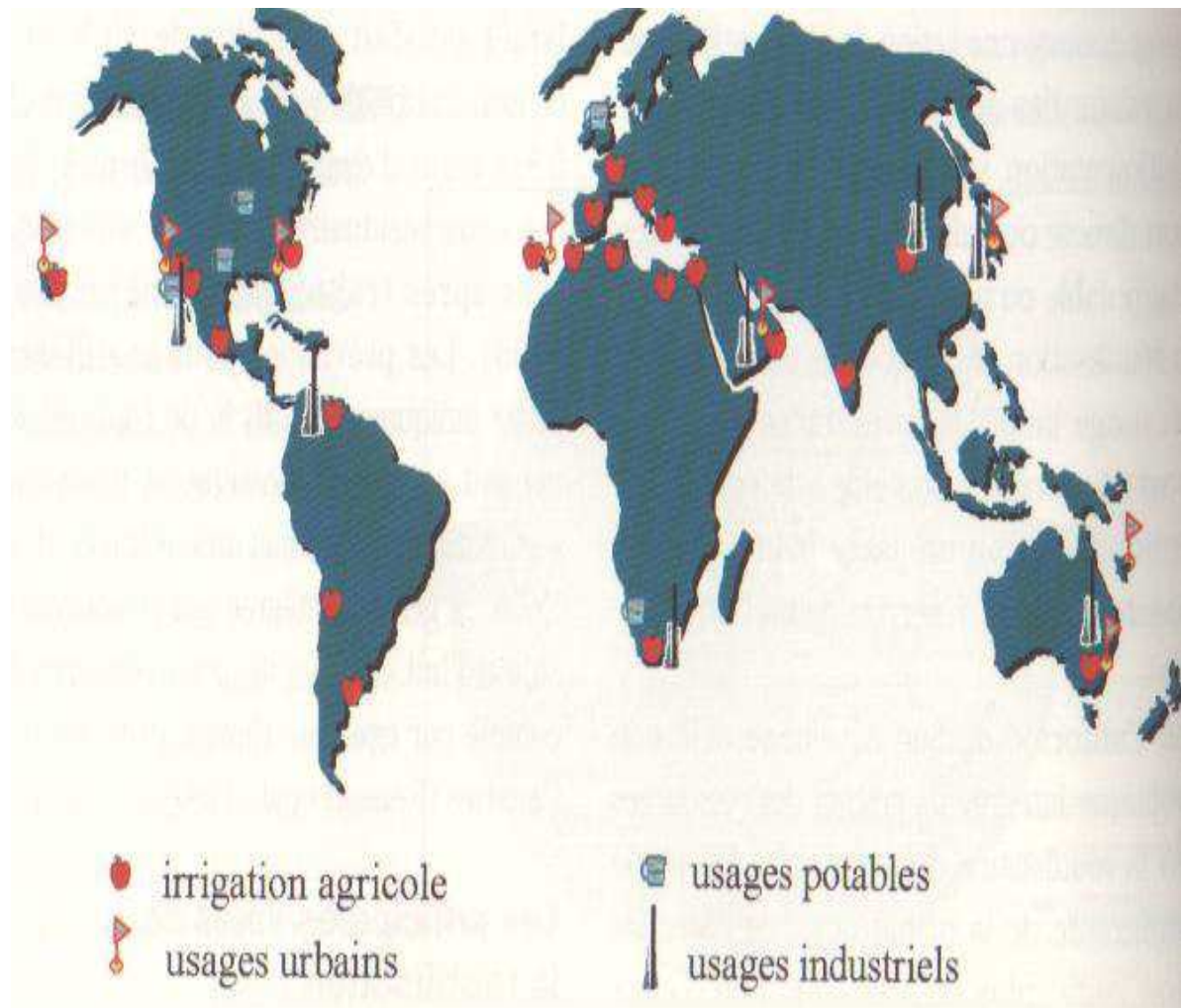
Réutilisation comme source d'eau potable (Safia, 2010).

**Tableau 5: L'utilisati  
on des eaux usées épurées dans quelques domaines (Strauss (1985) in (Mara et Cairncross, 1989)**

Utilisation	Pays
La fertilisation du sol	Chine .Thaïlande .Inde, Japon
La production du biogaz	Chine .Inde
La fertilisation des étangs de poisson (pisciculture)	Chine, Indonésie, Malaisie
La production des plantes aquatiques	Sud Est d'Asie, Vietnam
Utilisation de la boue des eaux usées en Agriculture	Kenya, UK, USA
La production des algues par stabilisation des étangs	Israël, Japon, Mexique

La **Figure 8** 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 agricoles réputés mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis.

Les plus grands projets de réutilisation des EU 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.



**Figure 9: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaine**

### 3.7 Etat actuelle de la réutilisation des eaux épurées en Algérie

Durant l'année 2019 à Alger, un volume de 12.325.269 m<sup>3</sup> d'eaux épurées a servi à l'irrigation de 11.045 hectares de terres agricoles, soit un taux de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (REUE) de 31 % du volume épuré.

Sur les 154 stations d'épuration exploitées par l'ONA à travers les 44 wilayas, 16 stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.

Aussi, le nombre de stations concernées par la réutilisation sera porté à 20 stations, selon la même source.

Selon l'ONA, La réutilisation sollicite une coordination étroite entre les différentes structures impliquées dans les opérations de réutilisation à tous les niveaux.

Pour les régions enclavées, l'Office lance son propre produit, à savoir, le projet de fabrication locale et la commercialisation de stations monoblocs dont les études de faisabilité sont achevées.

Ce projet consiste en la réalisation d'une station d'épuration monobloc et modulaire d'une capacité unitaire de traitement de 150 équivalents habitants destinée au traitement des eaux usées des petites agglomérations, des bases de vie, des casernes militaires, et des complexes touristiques et hôteliers.

La capacité unitaire peut être augmentée à 350 équivalents habitants avec la possibilité d'installation côte à côte de plusieurs modules pour assurer la capacité de traitement demandée. Aussi, l'ONA a mis en place le processus de télégestion d'une station d'épuration avec une solution 100% algérienne.

A travers sa mission principale, soit le traitement des eaux usées, l'ONA a atteint plusieurs objectifs dont principalement la protection de la ressource hydrique (protection de la nappe phréatique, des barrages, des oueds, de la mer,) de l'environnement et de la santé publique en éliminant les maladies à transmission hydrique.

Face aux changements climatiques, l'Office propose une solution alternative qui est la réutilisation des eaux épurées. En effet, l'assainissement des eaux usées est devenu une exigence qui accompagne le développement des activités humaines car elles engendrent automatiquement une production croissante de rejets polluants évacués dans les cours d'eau.

# **Chapitre III**

## **Systemes d'irrigation par les eaux usées épurées**

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

Pour la conception d'un projet d'irrigation, l'agriculteur et le concepteur devront disposer de suffisamment d'informations sur :

- La disponibilité et la nature de la ressource en eau ;
- Le type de sol et les caractéristiques des parcelles à irriguer ;
- Le type de cultures à irriguer et leurs besoins en eau ;
- Choix de la technique et du système d'irrigation.

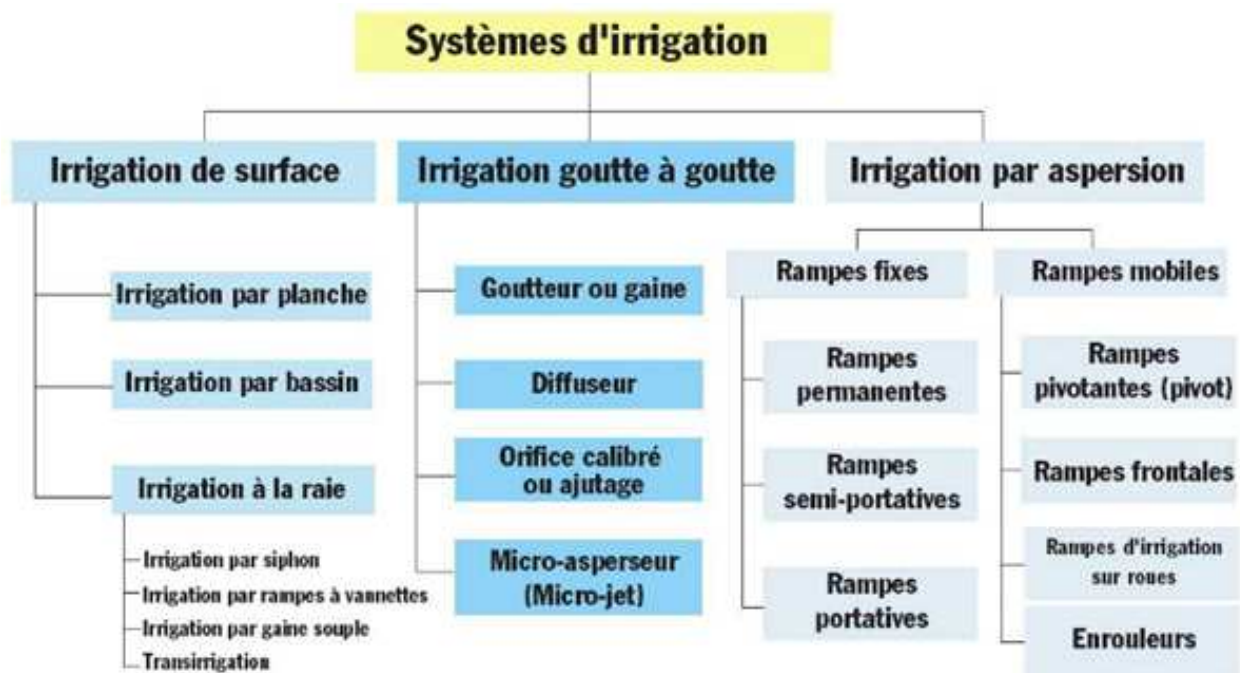


Figure 10: Système d'irrigation

## 1. Contrôle des eaux usées épurées 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 la nappe (Figure10).

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.

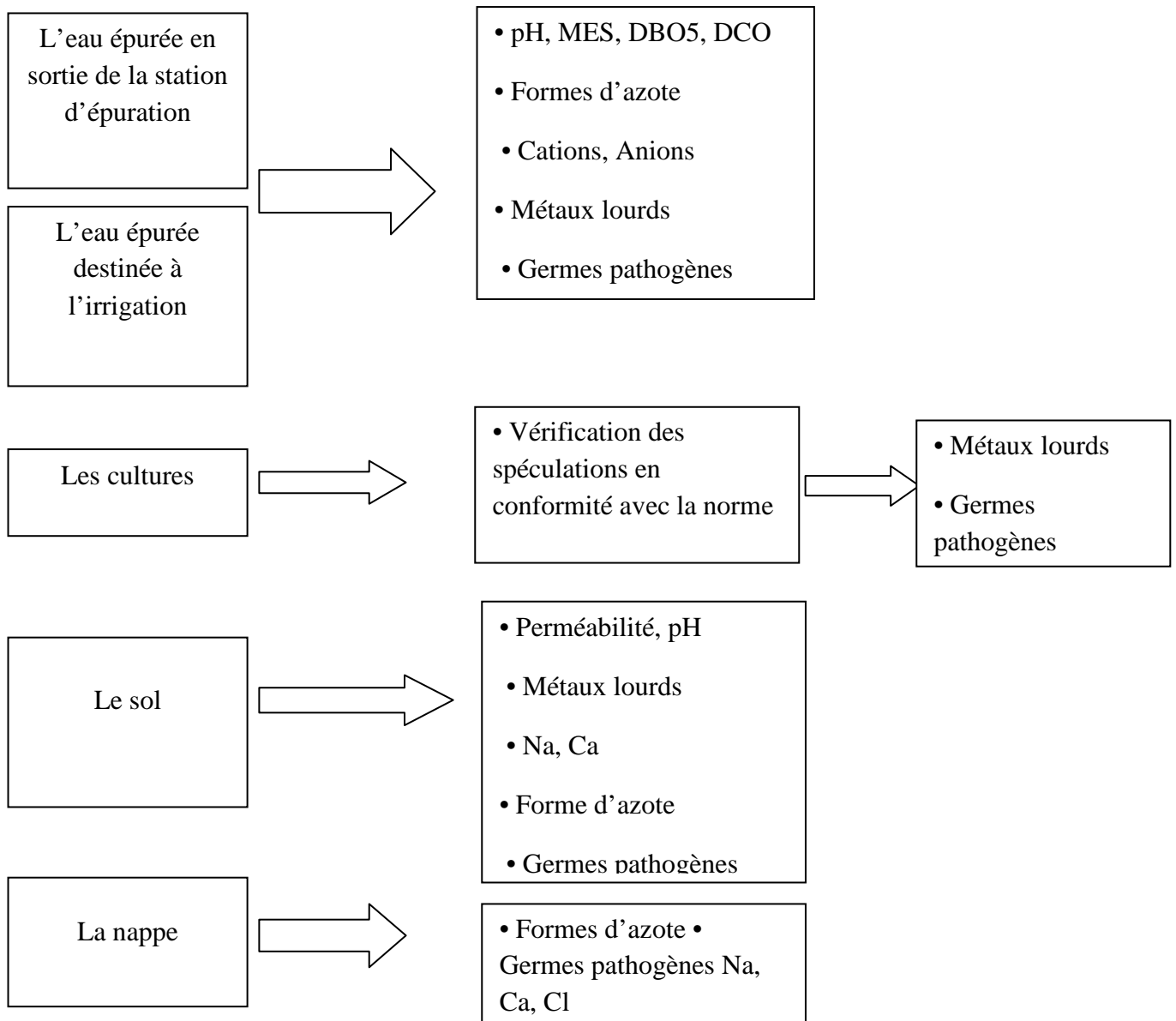


Figure 11: Localisation des contrôles et des analyses (Jorad, 2012)

## 2. Choix des systèmes d'irrigation par les eaux usées épurées :

Moyennant quelques précautions et adaptations, les différents modes d'irrigation (irrigation de surface, aspersion et goutte à goutte) pourraient être utilisés avec les EUE. Ces adaptations sont nécessaires en raison de la charge et la qualité particulière de l'eau épurée.

Tous ces systèmes présentent des avantages et des inconvénients mais généralement ce sont les contraintes sanitaires qui imposent le choix du système d'irrigation.

En irrigation gravitaire, le problème majeur est le risque de contamination des irrigants et des animaux. De même, les cultures poussant près du sol sont sujettes à des risques de contamination importants.

En irrigation par aspersion, les principaux inconvénients sont la propagation d'aérosols riches en éléments polluants et le contact direct de la plante avec l'effluent. Le risque est encore plus grand lorsque les eaux usées sont salées. En plus de l'absorption racinaire, une absorption supplémentaire foliaire d'éléments nocifs tels que le chlore et le sodium est possible.

En micro-irrigation le principal problème sera l'obstruction des goutteurs. Le choix de distributeurs adéquats est important mais la filtration reste déterminante.

Ce dernier système présente le moins de risque sur le plan sanitaire et contamination des cultures car il réduit au maximum le contact entre l'eau d'irrigation et les ouvriers ainsi que les cultures.

Les besoins en eau des cultures dépendent de nombreux facteurs agro-pédo-climatiques et sont les mêmes quelle que soit la technique d'irrigation utilisée. Néanmoins, les quantités d'eau à apporter pour satisfaire ces besoins varient avec le système d'irrigation envisagé. (Rejeb, et al., 2002)

**Tableau 6: Méthodes d'irrigation**

Pour des besoins identiques, des apports différents		
Irrigation traditionnelle	Irrigation sous pression	
Gravitaire	Aspersion	Goutte à goutte
100 Litres	70 Litres	40 Litres

**Le tableau 8** évalue la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, la raie (ou sillon), l'aspersion, le goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est également valable pour l'eau usée traitée, en particulier en ce qui concerne la salinité.

**Tableau 7: Évaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990)**

Paramètres d'évaluation	Irrigation à la raie	Irrigation à la planche	Irrigation par aspersion	Irrigation localisé
Le mouillage foliaire et endommagement des feuilles ayant pour résultat un rendement faible	Aucun dommage foliaire si la culture est plantée sur la crête du billon	Quelques feuilles inférieures peuvent être affectées, mais les dommages ne sont pas suffisamment sérieux pour réduire le rendement	Les feuilles peuvent être sévèrement endommagées ayant pour résultat une perte significative de rendement	Aucun dommage foliaire ne se produit avec cette méthode d'irrigation
Accumulation de sels dans la zone des racines avec les applications répétées	Les sels tendent à s'accumuler sur la crête du sillon, ce qui peut nuire à la culture	Les sels se déplacent vers le bas et ne sont pas susceptibles de s'accumuler dans la zone des racines	Les sels se déplacent verticalement et la zone racinaire n'est pas susceptible d'accumuler des sels	Les mouvements de sel sont radiaux le long de la direction du mouvement de l'eau. Une zone salée est formée entre les points de goutte à goutte
Capacité de maintenir un potentiel élevé de l'eau dans le sol	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Il n'est pas possible de maintenir un potentiel en eau du sol élevé tout au long de la saison de croissance	Possibilité de maintenir un potentiel élevé en eau du sol tout au long de la saison de croissance et de réduire au minimum l'effet

				de la salinité
Convenance pour manipuler l'eau saumâtre sans perte significative de rendement	Faible à moyenne. Avec une bonne gestion et un bon drainage, il est possible d'obtenir des rendements acceptables	Faible à moyenne. Les bonnes pratiques en matière d'irrigation et de drainage peuvent produire un niveau de rendement acceptable	Très faible à faible. La plupart des récoltes souffrent de dommages sur des feuilles et d'un faible rendement	Excellent à bon. Presque toutes les cultures peuvent se développer avec une réduction de rendement faible

**Tableau 8: Acteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée épurée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989)**

Méthode d'irrigation	Facteurs affectant le choix	Mesures spéciales pour les eaux usées
Irrigation à la planche	Plus faible coût, planage précis non nécessaire	Protection complète pour les ouvriers agricoles, les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage précis peut être nécessaire	Protection pour les ouvriers agricoles, éventuellement pour les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs

Irrigation par aspersion	Efficacité moyenne d'utilisation de l'eau, nivellement non requis	Quelques cultures ne devraient pas être irrigués. Distance minimum de 50 – 100 m des maisons et des routes. Des eaux ayant été traitées par voie anaérobie ne devraient pas être employées, en raison des nuisances olfactives.
Irrigation souterraine et localisée	Coût élevé, efficacité d'utilisation de l'eau élevée, rendements plus élevés	Filtration pour prévenir le colmatage des distributeurs

### 3. Choix des cultures au niveau du périmètre irrigué

Le choix des cultures est tributaire en premier lieu du niveau de traitement des eaux usées et de la qualité de l'eau épurée à la sortie de la station d'épuration ou du bassin de stockage, consécutivement à la norme de réutilisation des eaux épurées en vigueur. Par la suite, d'autres facteurs entrent en ligne de compte à savoir : les caractéristiques pédoclimatiques, la vocation culturelle, le système d'irrigation et la gestion de certains risques tels que la salinité, la fertilisation et les éléments toxiques qui vont conditionner le choix.

**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, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne

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

(JORA, N°41, 2012)

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

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

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

Préventions requises :

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.

# **Chapitre IV**

## **Impacts de l'irrigation par des eaux usées épurées sur le sol et la plante**

La qualité de l'eau ou d'aptitude à l'utilisation est jugée sur la gravité potentielle des problèmes qui peuvent être attendus à développer lors d'une utilisation à long terme. Les problèmes qui en résultent varient à la fois en nature et en degré, et sont modifiés par le sol, le climat et la culture, ainsi que par l'habileté et les connaissances de l'utilisateur de l'eau.

Les principaux problèmes de l'agriculture irriguée liés à la qualité de l'eau sont:

- Salinité : Les sels présents dans le sol ou dans l'eau réduisent la disponibilité en eau pour la culture dans une mesure telle que le rendement est affecté.
- Taux d'infiltration de l'eau : Des teneurs relativement élevées de sodium ou faibles en calcium du sol ou de l'eau induisent la réduction de la vitesse à laquelle l'eau d'irrigation pénètre dans le sol.
- Toxicité spécifique de certains ions : Certains ions (sodium, chlorure, ou bore) à partir du sol ou de l'eau s'accumulent dans des cultures sensibles à des concentrations suffisamment élevées pour provoquer des dégâts aux cultures et réduire les rendements. (Ayers, et al., 1985)

### **1. Impacts de l'irrigation par des eaux usées épurées sur le sol**

L'irrigation avec les eaux usées, affecte avec le temps certains paramètres du sol. Ainsi, une légère diminution du pH est observée dans certains sols basiques, (Yadav, et al., 2002, Abbas, et al., 2007, Rattan, et al., 2005, Herpin et al., 2007). Cette diminution est expliquée par un lessivage par les eaux d'irrigation des calcaires actifs qui sont responsables de l'alcalinité du sol (Solis, et al., 2005).

Les eaux usées, à travers leur pouvoir fertilisant, entraînent également une augmentation du taux des matières organiques et des éléments nutritifs du sol (Rattan, et al., 2005, Yadav, et al., 2002). Toutefois, ces éléments nutritifs stimulent l'activité microbologique du sol (Magesana, et al., 2000, Ramirez-Fuentes, 2002), ce qui favorise la minéralisation de la matière organique entraînant du même coup la diminution de la capacité d'échange cationique (CEC) du sol (Solis et al., 2005, Herpin, et al., 2007, Magesana, et al., 2000). Cette intensification de l'activité microbologique du sol diminue sa conductivité hydraulique du fait de la formation de bio films bactériens qui colmatent sa porosité.

### 1.1. La microflore du sol

Les résultats de l'étude de la microflore du sol des parcelles irriguées par les EUE montre que la flore mésophile aérobie totale (FMAT) ne présente pas de variations en fonction de la durée d'irrigation. L'apport de germes provenant des EUE réutilisée peut être diminué par l'amélioration de la qualité des EUE, par l'amélioration des techniques de traitement au niveau de la STEP, ce qui permet de conserver l'équilibre de la microflore du sol (Hasbaia, 2014).

### 1.2. Impacts liés à La salinité des EUE destinées à l'irrigation

La salinisation seule rendrait impropres à la production, 2 à 3 millions d'hectares par an de terres agricoles potentiellement productives (FAO, 2003). En cas de salinité, une bonne gestion de l'eau d'irrigation, un lessivage et un drainage des sels, des techniques culturales adaptées, un choix judicieux d'espèces ou de variétés tolérantes au sel devraient permettre une production satisfaisante pour l'agriculteur. 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 11

**Tableau 10: Guide pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation**

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	450-2 000	> 2 000
Sodium (Na)	Irrigation de surface	SAR	< 3	3-9	> 9
	Irrigation par aspersion	SAR	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)	Irrigation de surface	méq/l	< 4	4-10	> 10
	Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	-

Source : (FAO, 1985)

La classification agronomique internationale, retient, dès les années 1960, une valeur de conductivité électrique de l'extrait de pate saturée de sol supérieure à 4 dS/m, comme le seuil

de salinité au-delà duquel la plupart des plantes cultivées voient leur productivité baisser (Girard, et al., 2011).

La salinité affecte la productivité des sols par quatre mécanismes :

- Elle modifie la pression osmotique dans la zone des racines ;
- Elle provoque la toxicité d'ions spécifiques (sodium, bore ou chlorure) ;
- Elle peut interférer avec l'absorption de nutriments essentiels par les plantes (potassium et nitrates, par exemple) du fait de l'antagonisme avec le sodium, le chlorure et les sulfates ;
- Elle peut détruire la structure du sol en provoquant la dispersion de la terre et en colmatant les espaces poreux.

Les surfaces susceptibles d'être irriguées aux EUE sont en augmentation. Cela suppose que les risques de salinisation sont présents si les conditions adéquates de drainage ne sont pas réunies. (Ghazi, 2003) Le choix du mode d'irrigation doit tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage. L'irrigation à la raie est déconseillée ; au contraire, l'irrigation localisée donne de bons résultats.

### 1.3. Accumulation de métaux lourds dans le sol

Lorsque les eaux usées épurées sont d'origine urbaine à dominance domestique, elles sont généralement faiblement chargées en éléments traces métalliques (ETM). D'autre part, lors du traitement des eaux usées, les éléments traces métalliques se retrouvent retenus au niveau des boues résiduaires, sauf en ce qui concerne le bore, lequel passe avec l'effluent épuré.

L'analyse des ETM dans les EUE doit être réalisée au minimum au début de chaque saison d'irrigation afin de vérifier leur conformité à la norme et aux seuils autorisés. D'une manière générale, les ETM sont retenus au niveau de l'horizon de surface du sol et leur transfert vers la plante ou vers la nappe est faible.

Bien que la concentration en métaux dans les eaux usées surtout traitées soit faible, l'irrigation peut, à terme, entraîner l'accumulation de ces éléments dans le sol (Rattan, et al., 2005). En effet, la rétention, par le sol, des éléments métalliques est gouvernée par divers phénomènes d'ordre mécanique, physicochimique et même biologique. (Mantinelli, 1999).

La capacité des sols à retenir les métaux toxiques est réduite en raison des charges continues des polluants ou des changements de pH, les sols peuvent libérer des métaux lourds dans les eaux souterraines ou les solutions du sol disponibles pour l'absorption de la plante. A l'exception du Molybdène, du sélénium et de l'arsenic, la mobilité des métaux lourds diminue avec l'augmentation du pH du sol en raison de précipitation des hydroxydes, des carbonates ou formation de complexes organiques insolubles.

Les métaux lourds contribuent à la pollution de l'environnement en raison de leurs propriétés uniques, surtout qu'ils ne sont pas biodégradables, non-thermo-dégradable et généralement ne sont pas lessivés à partir de la couche arable. Contrairement aux hydrocarbures pétroliers et les détritiques qui s'accumulent visiblement sur les sols, les métaux lourds peuvent s'accumuler inaperçu à concentrations toxiques qui affectent la vie végétale et animale. La durée de la contamination par les métaux lourds peut être des centaines ou des milliers d'années, même après que leur ajout aux sols ait été arrêté.

L'accumulation d'éléments métalliques (EM) suite à l'irrigation avec des eaux usées brutes est souvent constatée. Ainsi, Mapandaa, et al., (2005) ont constaté une augmentation des teneurs en EM dans les horizons de surface des sols irrigués par des eaux usées brutes durant des périodes de temps plus ou moins importantes. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface sont largement supérieures à celles trouvées dans les horizons de sub-surface et dans le sol témoin (tableau 12). Les auteurs ont signalé qu'au bout de 5 à 60 ans, les teneurs des EM dans les sols irrigués vont dépasser les limites exigées par les normes Anglaises de teneur en métaux lourds dans les sols agricoles.

**Tableau 11 : Teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le sol irrigué par EUE comparées à un témoin et aux normes anglaises pour les sols agricoles**

Eléments	Sol irrigué par EUE (Horizon de surface)	Sol irrigué par EUE (Horizon de sub-surface)	Sol témoin	Normes anglaises (mg/kg)
Cu	7 – 145	3 – 40	10	50 (pH < 5,5); 100 (5,5 < pH < 6,5)
Zn	14 – 228	9 – 72	14	200; pH < 5,5
Cd	0,5 - 3,4	0,5 - 2,9	0,5 - 2	3
Ni	<0,01 – 21	0 – 17	1 - 3,2	50; pH < 5,5

Cr	33- 225	8 – 47	54	400
Pb	4 – 59	3 – 38	1,2 - 18	300

Source :( Hasbaia ,2014)

Les concentrations limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation sont présentées au tableau suivant :

**Tableau 12: Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation<sup>a</sup>**

Constituent	Utilisation à long terme <sup>b</sup> (mg/l)	Court terme <sup>c</sup> (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Béryllium	0.10	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

ENP (2006)

#### 1.4. Risques dus aux fertilisants et la gestion des fertilisants

La fertilisation Raisonner est une nécessité économique et environnementale en présence d'EUE. La fertilisation avec des eaux épurées est différente de celle appliquée avec une eau conventionnelle. L'irrigation avec les eaux usées épurées peut être considérée comme une « Fertirrigation ». Seul un traitement d'élimination de l'azote en station est capable de réduire les teneurs en azote des eaux épurées. En l'absence de ce traitement, un risque consécutif à l'excès d'azote peut exister. Cela a pour effet :

- Une croissance excessive des parties végétatives au dépend de la production de fleurs ou de graines (tournesol, coton...)

- Une sensibilité accrue à la verse (les céréales)
- Un risque de pollution de la nappe et des ressources superficielles

Pour faciliter l'appréciation de la qualité de l'eau d'irrigation en azote, on peut se référer au 14.

14.

**Tableau 13: Guide pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation en azote**

Paramètre	Unité	Guide pour la qualité d'eau		
		Aucun risque	Risque léger à modéré	Risque élevé
Azote (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	méq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5

(FAO, 1985)

## 2. L'impact de l'irrigation des eaux usées épurées sur la plante

Du fait de leur teneur en éléments nutritifs et de leur richesse en oligoéléments, les eaux usées lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Dans ce cadre, Fars et al. (2003) et Mohammad Rusan et al. (2007) ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par une eau usée soit brute soit traitée. De même, l'irrigation par les EUT entraîne un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments (Yadav, 2002 ; Fars, 2003 ; Charfi, 1995). Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent provoqués, à long terme, des risques pour le développement des plantes.

En effet, certains éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène) sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités (Faby et Brissaud, 1997). L'irrigation à partir d'eaux usées va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments non indispensables à la plante, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain.

La biodisponibilité de ces éléments dans le sol peut engendrer leur accumulation dans les tissus des plantes et dans certains cas, les teneurs en ces éléments peuvent atteindre des seuils de phytotoxicité (Faby et Brissaud, 1997).

Cependant, Yadav et al. (2002) qui ont constaté que les teneurs en métaux lourds au niveau des plantes irriguées par des eaux usées depuis 30 ans sont au dessous de seuil de toxicité pour les plantes.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

---

L'assainissement des eaux usées est une étape importante et décisive pour préserver la ressource en eau. Sans elle, les rivières se transformeraient en égout. Par le traitement des eaux usées, deux sous produit essentiel sont générés (l'eau épurée et la boue). Ces deux éléments peuvent constituer des apports dans le domaine de l'agriculture tels que l'apport de nouvelles ressources hydrique et l'amendement en fertilisant et en engrais naturels.

Le traitement des eaux usées permet de maintenir la qualité de notre environnement et d'obtenir toute une gamme d'eaux de qualité différente pour les réutilisations agricoles, industrielles et urbaines. Les filières de traitement utilisées ainsi que les traitements biologiques appropriés constituent les techniques de base pour l'épuration des eaux et par conséquent la protection de l'environnement.

La réutilisation des eaux usées permettra un gain en ressources naturelles, une protection de l'environnement et l'équilibre écologique.

La surveillance générale et le contrôle de la qualité de l'eau usée ne sont pas la responsabilité des agriculteurs mais des autorités. La qualité dépend du niveau de traitement, de la maintenance et de l'entretien du système de traitement et de l'expérience des personnes faisant fonctionner la station d'épuration des eaux résiduaires.

Cependant, la formation des agriculteurs pour suivre, au moins visuellement ou avec des essais simples, la qualité de l'eau usée peut être très utile.

Les fermiers devraient être en mesure de juger si l'eau usée a été convenablement traitée. Les changements de couleur de l'eau usée ou la croissance abondante des algues sont des indicateurs d'un niveau élevé en produits chimiques et en nutriments dans l'eau usée.

L'odeur indique un traitement insuffisant. Les agriculteurs devraient être formés sur ces aspects avant l'attribution de l'eau usée pour l'irrigation. En outre, il est nécessaire d'accorder aux agriculteurs le libre accès à l'information relative à la qualité de l'eau et au type d'eau avec laquelle ils sont approvisionnés.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

---

-**Ayers et Westcott. 1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper. 1985, 29.

-**Abbas, S.T. et Sarfraz M., Mehdi S.M., Hassan G. et Obaid-Ur-Rehman. 2007.** Trace elements accumulation in soil and rice plants irrigated with the contaminated water. Soil & Tillage Research . 2007, 94

-**ADEME,2009** :organisation et fonctionnement d'une station d'épuration .

-**Bourrier.R (2008)** : Les réseaux d'assainissement, 5e édition TEC et DOC, Lavoisier

-**Baumont, S et AL. 2009** : Recyclage des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Île-de-France.

- **Belokda. W., (2009)** : Contribution à la gestion des effluents liquides hospitaliers. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie. UMMTO.

-**Belaid N., 2010.**Évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse de Doctorat en chimie et microbiologie de l'eau. Université de Sfax. Tunisie .

-**Champiat D., Larpent J.P., 1988** - Biologie des eaux. Méthodes et techniques, Masson, paris, pp:186-191

- **Desjardins R. (1997).** Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique.

- **David Ecosse 2006** : la réutilisation des eaux usées.

-**Djeddi H., 2007:** Vilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Mém Magistère. Université Mentouri Constantine.144p

-**Edline F. (1979).** L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p

-**Edeline F. 1980.** L'épuration biologique des eaux résiduaires.

-**FAO ,1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper. 1985, 29

-**Faby J.A. et Brissaud F. (1997).** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Compte rendu d'étude de l'Office International de l'Eau, mai 1997, 82 p.

## Références bibliographiques

---

- FAO, 2003** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Irrigation avec des eaux usées traitées – Manuel d'utilisation. 2003.
- FAO, 2003** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture for agriculture. FAO irrigation and drainage paper.
- Gomella C et Geurree H, (1983)**. Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales, Tome 2, Edition : Ayrolles, Paris (France)
- Ghazi A. 2003** : Problématique de la Desertification en Algerie: Etat et Mesures de lutte pour la Protection des Ressources Naturelles. *NATO Security through Science Series*. 2003, Vol. 3.
- Global Water Intelligence .2005**: Water Reuse Markets 2005-
- Girard, Michel-Claude et Schvarts, Christian. 2011** : *Etude des sols*. Paris : Dunod, 2011. p 80.
- Hamadech M. 2006**. Etude de la valorisation des eaux usées épurées et les possibilités de réutilisation dans l'industrie et l'agriculture. Mémoire ing., U.S.T.H.P., Bab Ezzouar, Alger, 73p.
- Herpin, Uwe et al., 2007**. Chemical effects on the soil–plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation—A pilot field study in brazil. *agri cul t u r a l water management*. 2007, Vol. 89, 105-115.
- Hannachi A et al. 2013**. Gestion et réutilisation des eaux usées en Algérie , un modele de partenariat public –privée .
- Hannachi .A. 1, Gharzouli .R. 2, Djellouli Tabet. Y.2014** : gestion et valorisation des eaux usées en Algérie ; *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, pp. 51-62 .
- Hasbaia Omira .2014** : Contribution à l'étude de l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture , effets sur le sol, sa microflore et les produits agricoles. du diplôme de magister USTHB 88p.

## Références bibliographiques

---

- Hannachi.A et al. 2016** : Essai de valorisation des eaux usées traités en culture hydroponique.
- Journal Officiel de la république algérien n° 35.(2007)**.Décret exécutif n°07-149 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges –typey afférent , Algerie p8-12 .
- Journal Officiel n°41**du décret exécutif n°07-149, publiés en Janvier 2012
- Khacheba R. 2004** – Essai de la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Staoueli en agriculture. Mémoire ing. Agr., I.N.A., El Harrach, Alger, 69p .
- Kessi.K & Ihadadene.S (2012)** : Evaluation des performance d'épuratoires de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou et calcule des taux de participation a la fertilisation des cultures .Mémoire d'ingénieur d'état en science agronomique, UMMTO.
- Kesbi Rafika , 2016** . Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'ouest Algérien Cas de la nouvelle STEP d'Ain Témouchent. Mémoire de fin d'étude université Abou Bekr Belkaid ,137p .
- Khennoufa A ; Labsi L 2017** . Valorisation des eaux usées épurées par lagunage aérée en irrigation- cas de la région d'el-oued. :mémoire de fin d'étude Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED 78p .
- Louaguenouni Kahina, 2017**. Suivi de la qualité des eaux usées traitées de la STEP de BARAKI pour une réutilisation agricole mémoire de fin d'étude , UMMTO 15-16p .
- Mara D.D. et Cairncross S (1989)**: Guideline for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture ; OMS et PNUE, Geneve, 202p.
- Mara, D. and S. Cairncross, 1989**. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection.
- Mantinelli, I. 1999**.Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluant associés dans le sol urbain. - vers une approche globale et pluridisciplinaire. s.l. : Thèse doctorat de l'INSA de Lyon, N° d'ordre : 99 ISAL 116, 1999.

## Références bibliographiques

---

- Magesana, G.N. et Magesana, J.C. Williamsona, G.W. Yeatesb, A.Rh. Lloyd-Jonesa. 2000.** Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. *Bioresource Technology*. 2000, 71.
- MRE, 2003.** Le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des Ressources.
- Mapandaa, F., et al. 2005.** The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2005, 107.
- Mohammad Rusan et al. 2007 :** °Effet à long terme de l'irrigation des eaux usées des cultures fourragères sur les paramètres de qualité du sol et des plan.
- Metahri. M.S, 2012 :** Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. (Thèse de doctorat) U.M.M.T.O.
- MRE 2012.** Enquête : Actualisation de l'inventaire du réseau national d'assainissement. 2012 .
- MRE, 2012:** Ministère des Ressources en Eau, Algérie.
- Moussaoui. et Benhabib.A; 2015:** LA REUTILISATION DES EAUX USEE TRAITEES ET L'AGRICULTURE; Les entreprises familiales comme une alternative de développements en Algérie.
- ONA 2016 :** Office National d'Assainissement.
- Ramirez-Fuentes, et al. 2002.** Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*. 2002, Vol. 85, 2.
- Rejeb, S., et al. 2002.** Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. INRGREF. 2002 .
- Rejesk, F. 2002 :** analyse de l'eau, aspect réglementaire et technique, édition CRDP.Aquitaine,p 358 .

## Références bibliographiques

---

-**Rattan, R.K., et al. 2005.** Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2005, 109.

-**ROUABAH N. (2008)** : Conception de la station de la ville de Khemis Mliana. Thèse d'Ingénieur d'Etat En Hydraulique E.N.S.H.

-**Solis, C. et Andrade E., Mireles A., Reyes-Solis I.E., Garcia-Calderon N., Lagunas-Solar M.C.,Pina C.U.et Flocchini R.G. 2005.** Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* . 2005, B 241, 351–355.

-**Safia, k ;2010.** Station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech projet de valorisation des eaux usées pour l'irrigation de terrains de Golfs.

-**TERCHI S, 2014.** Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire d'ingénieur. école nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui Abdellah 19 /57/58p .

-**Valiron F., 1983.** : La réutilisation des eaux usées. Paris : Edition du BRGM (Lavoisier) .

-**Yadav, R.K. et B. Goyal, R.K. Sharma, S.K. Dubey, P.S. Minhas. 2002.** Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—A case study. *Environment International*. 2002, 28.

### Les sites internet

<http://and.dz/site/wp-content/uploads/Arrete-interministeriel-2-janvier-2012.pdf>.

<http://aquabajeunes.canalblog.com/archives/2008/03/14/8323032.html>

<http://www.aps.dz/economie/102360-agriculture-irrigation-de-plus-de-11-000-hectares-par-les-eaux-epurees-en-2019>

<https://lemondeetnous.cafe-sciences.org/2016/07/epuration-des-eaux-une-station-up-to-date-partie-i/>

<https://lemondeetnous.cafe-sciences.org/2016/07/epuration-des-eaux-une-station-up-to-date-partie-i/>

## Références bibliographiques

---

<https://slideplayer.fr/slide/2880935/>

<https://wikiwater.fr/e56-l-irrigation-par-recyclage-d>