

République Algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique

Université Abbés laghrour khenchela



Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée

Filière: Ecologie et environnement



*Mémoire de fin d'étude Présenté en vue de l'obtention du  
diplôme de Master Académique*

## Thème

**L'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées sur une  
parcelle de terrain agricole sur la composante du sol**

Présenté par :

- Bouaouni Djalel
- Hamdaoui Aissa
- Bouti Akram

Soutenu le : 27/06/2022

Devant le jury :

Présidente : Mme Lakhdari Soumia

MAA Université de Khenchela

Encadreur : Mr Salhi Zine el Abidine

MAA Université de Khenchela

Examineur: Mr Bouchama Khaled

MAA Université de Khenchela

Année universitaire: 2021/2022

## SOMMAIRE

Remerciements	A
Dédicaces	B
المخلص	C
Résumé	D
Abstract	E
Liste des figures	F
Liste des tableaux	G
Liste des abréviations	H

### Partie I synthèse bibliographique

Chapitre 1 Eaux usées	
Introduction général	1
I. Notion des eaux usées	3
1. Nature et origine des eaux usées	3
1.1. Définition des eaux usées	3
1.2. Les eaux usées domestiques	3
1.2.1. Eaux de cuisine	3
1.2.2. Eaux de buanderie	3
1.2.3. Eaux de salles de bains	3
1.2.4. Eaux de vannes	3
1.3. Les eaux usées industriels	4
1.4. Les eaux usées pluviales	4
1.5. Les eaux de drainage	4
2. Composition des eaux usées	5
2.1. Généralités	5
2-2 Les paramètres indicateurs de la qualité des eaux usées	5
2-2-1- Les propriétés organoleptiques	5
a- la couleur	5
b- Odeur	6
2-2-2- Les propriétés électrochimiques	6
a- Le pH	6
b- La Température	6
c- La Conductivité	6

d- La Salinité -----	7
e- La Turbidité-----	7
f- Le Potentiel d'oxydo-réduction -----	7
2-3- Les paramètres physico-chimiques-----	8
2-3-1- La demande biochimique en oxygène (DBO5)-----	8
2-3-2-La demande chimique en oxygène (DCO)-----	8
2-3-3-L'oxygène dissout-----	8
2. 4.Microorganismes -----	8
2.4.1. Les bactéries -----	8
2.4.2. Les virus -----	9
2.4.3. Les protozoaires -----	10
2.4.4. Les helminthes -----	11
2.5. Eléments traces et métaux lourds -----	12
2.6. Matière en suspension -----	12
2-7 Les matières organiques -----	13
2.8. Eléments toxiques organiques-----	13
2.9. Substances nutritives -----	13
3. Réutilisation des eaux usées traitées -----	15
CHAPITRE 2 Cadre réglementaire et institutionnel -----	16
1. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie -----	17
1.1. Aspect juridique relatifs au secteur d'hydrauliques -----	17
1.1.1 Dispositions préliminaires-----	17
1.1.2. Cadres institutionnels de la gestion intégrée des ressources en eau -----	19
1.1.3. Information sur l'eau -----	19
1.1.4 L'eau agricole-----	20
1.1.4.1 Dispositions générales relatives à l'eau agricole-----	20
1.1.4.2. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées en irrigation -----	20
1.5. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation -----	22
1.5.1. Paramètres microbiologiques -----	22
1.5.2. Paramètres physico – chimiques-----	23
2. Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie -----	24
4. L'Office National de l'Assainissement (ONA) -----	25
5. L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID)-----	26

Chapitre 3 les stations d'épurations des eaux usées	28
1. LES STEPS	29
1.2. Définition d'une station d'épuration (STEP)	29
1.3. Différents traitements d'une STEP	29
1.3.1. Les prétraitements	30
1.3.2. Le déshuilage, dessablage	30
1.3.3. Traitement primaire	31
1.3.4. Le traitement secondaire (biologique)	31
1.3.2. Traitement des boues	31
1.3.2.1. Les boues primaires	31
1.3.2.2 Les boues secondaires	31
1.3.2.3 Les boues mixtes	31
1.3.5. Traitement tertiaire	31
Chapitre 4 Notion de sol	32
1. Définition du sol	33
2. Les types des sols d'Algérie	33
2.1 Sols salins	33
2.2 Sols calcaires	33
2.3 Sols insaturés	33
2.4 Sols calciques	34
2.5 Sols en équilibre	34
2.6 Sols alluviaux	34
3. Caractéristiques physico-chimiques du sol	34
3.1. Caractéristiques physiques	34
3.1.1. Texture	34
3.1.2. Structure du sol	36
3.2. Caractéristiques chimiques	37
3.2.1. PH du sol	37
3.2.2. La salinité du sol	37
4. La biomasse des sols	37
4.1. Définition	37
4.2. Distribution de la biomasse en fonction des groupes d'êtres vivants	38
4.3. Distribution de la biomasse en fonction des biotopes	38
5. Biomasse bactérienne	39

## Partie II Partie Pratique

CHAPITRE 5 Matériels et méthodes	41
1. Description de la zone d'étude	42
1.1. Wilaya de kenchela	42
1.1.1. Relief	42
1.1.2. Climat	42
1.2. La commune kais	43
1.2.2. Situation géographique de la zone d'étude	44
1.2.3. Situation démographique	44
1.2.4. Situation administrative	44
1.2.5. Etude géologique	44
1.2.6. Réseau hydrographique de la région d'étude	45
1.2.7. Agriculture	46
2. Présentation de la zone d'étude (STEP)	47
2.1. Fonctionnement	48
3. Protocole expérimentales	49
3.1. Les matériaux utilisés	49
3.2. Méthodologie du travail	49
4. Détermination du type de sol pour la plantation	51
4.1. Les caractéristiques du sol	51
4.2. Étape 1 : prélèvement de l'échantillon de sol	51
4.3. Étape 2 : Réalisation du test	51
4.4. Étape 3 : Analyses des résultats	52
4.5. Étape 4 : Texture du sol	52
5. les caractéristiques physico-chimiques des eaux utilisées dans l'irrigation	54
Chapitre 6 Résultats et Discussions	55
1. Résultats et discussions	56
2. Etude statistique	59
2.1. Analyse de variance:	59
2.1.1. La variance de la hauteur de la plante	59
2.1.2. La variance de la longueur du système racinaire	60

2.1.3. La variance de la longueur des feuilles -----	60
3. Impacts sur les différentes propriétés du sol -----	61
3.1. Phénomènes observés sur le sol -----	61
3.1.1. Le colmatage -----	61
3.1.2. Lessivage -----	62
3.1.3. Teneur en matière organique -----	62
Conclusion -----	63
Références bibliographiques -----	65

## Remerciements

Au terme de cette étude, nous remercions avant tout « Dieu » le tout puissant, de nous avoir guidés durant nos années d'études , et de nous avoir permis la réalisation de ce présent travail.

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire. Mes remerciements vont tout particulièrement à **Mr Salhi zine elAbidine** qui a bien voulu assurer notre encadrement, c'est un très grand honneur pour nous qu'il ait accepté d'être notre directeur de mémoire. On lui doit une immense reconnaissance et un très grand respect.

On remercie également tous les autres membres du jury qui ont accepté de s'intéresser à mes travaux et m'ont apporté leur jugement d'experts : **Mr Bouchama Khaled** Maitre Assistant A à l'Université Abbes laghrour, d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail

**Mme Lakhdari Soumia** Maitre assistante A à l'Université Abbes laghrour, pour bien vouloir accepter la présidence du jury.

Finalement, nous Remercions toute personne ayant contribué de prêt ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

## Dédicace

Je dédie par le biais de ce travail, toutes mes pensées les plus sincères à la mémoire de ma très chère grand-mère paternelle « رحمها الله ». Je lui offre tous mes sentiments de gratitude et d'amour.

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que j'aime et en particulier :

A ma mère ZEBIDA qui m'a toujours apporté amour et affection

A mon père SAID qui restera à jamais présent dans mon cœur

A mes frères HOUSSEM, Djamel Eddine, AbdElkader

A mes petits enfants des mes frères SOUDJOURD, ALLAE, ISRAE, Dirar

A la mémoire de mes grands parents

A mes tantes et oncles

A tous mes amis et en particulier :

SAMIR, SAMIA.....

A toute la dernière promotion de la post-graduation D'écologie Fondamental et appliquée 2021/2022

A tous mes enseignants

A tous Les étudiants en écologie passé, présent, future

BOUAOUNI DJALEL

## Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'étude :

A mes chers parents, mon chère père Bouzid hamdaoui qui m'a toujours encouragée, Ma très chère mère Akilahamdaoui qui m'a toujours apportée son amour et son affection, conseillée et soutenue dans mon travail que Dieu les gardes pour moi.

A mes chers frères (boumediene et nouh)

A mes chères sœurs (salma et ikram)

A ma chère épouse Lamya Ammari

A tous les membres de ma famille hamdaoui et ammari

A mon cher amie Maklof Mkachfi et mon ami Merouan Gouari

Et Mes collègues d'étude master 2 écologie des Écologie fondamentale et appliquée promo 2021 /2022

A tous mes enseignants, qui m'ont suivie de mes premières années d'école jusqu'ici.

HAMDAOUI AISSA

## Dédicace

Je dédie ce travail à Mes parents,

Merci pour votre amour, votre affection, vos encouragements, vos sacrifices

...que Dieu vous garde.

A mes frères

A ma famille

A mes cousins et cousines

Pour terminer je remercie mes amies **Djalel Bouaouni, Aissa Hamdaoui** pour leurs aides et leurs soutiens durant la réalisation de ce travail.

Bonne chance à vous aussi

À toute personne qui m'aime

À toute personne que j'aime

À tous ceux qui cherchent le savoir

BOUTI AKRAM

## ملخص

إن استعمال مياه الصرف الصحي المصفاة في الزراعة يعد من بين الطرق الايجابية من اجل الحفاظ على المياه الجوفية و السدود واستعمالها كبديل في الري وذلك لندرة المياه بسبب التغيرات المناخية التي أدت إلي نقص في تساقط الأمطار وبالتالي نقص في مياه السدود و الآبار.

تم تنفيذ هذا العمل من اجل معرفة تأثير مياه الصرف الصحي المصفاة على خصائص التربة و خاصة على قوامها و بنيتها.

من اجل معرفة تأثير مياه الصرف الصحي المصفاة قمنا بدراسة أجريت على القمح الصلب من نوع (*Triticum durum Desf*)

و ذلك باستعمال ثلاث عينات من نفس الصنف من القمح الصلب و سقيها بثلاث أنواع من المياه المختلفة المصادر.

المصدر الأول مياه الصرف الصحي الخام و الثاني مياه الحنفية و المصدر الثالث مياه الصرف الصحي المصفاة بمحطة المعالجة بمدينة قايس ولاية خنشلة و ملاحظة مدى تأثر النبات و المكونات الأساسية للتربة .

تظهر النتائج أن نفاذية المياه المعالجة لها تأثيرات ايجابية و أخرى سلبية، تتمثل النتائج الايجابية من خلال إثراء التربة بالعناصر المخصبة من خلال زيادة نسبة المواد العضوية في التربة، أما النتائج السلبية فتتمثل في انسداد مسامات التربة ، كما يعد غسل مكونات التربة من الظواهر التي تؤدي إلى إفقار التربة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي المعالجة، الري، معالجة مياه الصرف الصحي، قايس، نفاذية التربة.

## Résumé

L'utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture fait partie des moyens positifs de préserver les eaux souterraines et les barrages et de les utiliser comme alternative à l'irrigation en raison de la pénurie d'eau due aux changements climatiques qui ont entraîné une diminution des précipitations et par conséquent une pénurie de barrages et eau de puits.

Ce travail a été réalisé afin de connaître l'effet des eaux usées épurées sur les propriétés du sol, notamment sur sa texture et sa structure.

Afin de connaître l'effet des eaux usées épurées, nous avons mené une étude sur un type de blé dur (*Triticum durum Desf*) en utilisant trois échantillons de la même variété de blé dur et en l'irriguant avec trois types d'eau provenant de sources différentes.

La première source est l'eau usée brute, la seconde est l'eau du robinet et la troisième source est l'eau usée épurée dans la station d'épuration de la ville de Kais, Wilaya de Khenchela, et la mesure dans laquelle la plante et les composants de base du sol sont affectés.

Les résultats montrent que l'infiltration de l'eau traitée a des effets positifs et d'autres négatifs. Les résultats positifs sont représentés par l'enrichissement du sol en éléments fertilisés en augmentant la proportion des matières organiques dans le sol. Quant aux résultats négatifs, ils sont représentés dans le blocage des pores du sol et le lessivage des composants du sol est l'un des phénomènes qui conduisent à l'appauvrissement du sol.

Mots clés : eaux usées traitées, Irrigation, STEP, Kais, infiltration dans le sol

## Abstract

The use of treated wastewater in agriculture is among the positive ways to preserve groundwater and dams and use them as an alternative to irrigation due to water scarcity due to climate change that has led to a decrease in rainfall and consequent shortage of dams and well water.

This work was carried out in order to know the effect of treated wastewater on the properties of the soil, in particular on its texture and its structure.

In order to know the effect of purified wastewater, we conducted a study on a type of durum wheat (*Triticum durum* Desf) using three samples of the same variety of durum wheat and irrigating it with three types of water from different sources.

The first source is raw wastewater, the second is tap water, and the third source is wastewater purified in the sewage treatment plant in the city of Kais, Wilaya of Khenchela, and the extent to which the plant and basic soil components are affected.

The results show that the infiltration of treated water has both positive and negative effects. The positive results are represented by the enrichment of the soil in fertilized elements by increasing the proportion of organic matter in the soil. As for the negative results, they are represented in the blockage of soil pores and the leaching of soil components is one of the phenomena that lead to soil depletion.

Keywords: treated wastewater, irrigation, WWTP, Kais, soil, infiltration

## Liste des figures

<b>Figures</b>	<b>Titres des figures</b>	<b>pages</b>
<b>Fig.01</b>	Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration	<b>29</b>
<b>Fig.02</b>	Dégrilleur	<b>30</b>
<b>Fig.03</b>	Déssableur et déshuileur	<b>30</b>
<b>Fig.04</b>	Quelques exemples de structure de sol (GOBAT et al, 2010).	<b>36</b>
<b>Fig.05</b>	Répartition de la biomasse en fonction des groupes d'êtres vivants	<b>38</b>
<b>Fig.06</b>	Distribution des biomasses en fonction des milieux de vie	<b>39</b>
<b>Fig.07</b>	localisation de la wilaya de kenchela	<b>42</b>
<b>Fig.08</b>	Carte pluviométrique de la wilaya de kenchela	<b>43</b>
<b>Fig.09</b>	localisation de la Commune de Kais dans la wilaya de Khenchel	<b>43</b>
<b>Fig.10</b>	Réseau hydrographique de Kais	<b>46</b>
<b>Fig.11</b>	vue satellitaire de la STEP de Kais	<b>48</b>
<b>Fig.12</b>	La Station d'épuration de la commune de Kais	<b>48</b>
<b>Fig.13</b>	les semis de blé par pot	<b>50</b>
<b>Fig.14</b>	la variété du blé dure <i>Triticum durum</i> Desf	<b>50</b>
<b>Fig.15</b>	détermination de la texture du sol	<b>52</b>
<b>Fig.16</b>	triangle des textures sol	<b>53</b>
<b>Fig.17</b>	variation de la hauteur des plantes en fonction du temps	<b>56</b>
<b>Fig.18</b>	variation de la longueur du système racinaire en fonction du temps	<b>57</b>
<b>Fig.19</b>	variation de la longueur des feuilles en fonction du temps	<b>58</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre des tableaux</b>	<b>Les pages</b>
<b>Tab1</b>	Principales bactéries pathogènes présentes dans les eaux usées	<b>9</b>
<b>Tab2</b>	Principaux virus présents dans les eaux usées	<b>10</b>
<b>Tab3</b>	Principaux protozoaires présents dans les eaux usées	<b>11</b>
<b>Tab4</b>	Principaux helminthes présents dans les eaux usées	<b>12</b>
<b>Tab5</b>	les paramètres microbiologiques	<b>22</b>
<b>Tab6</b>	Les paramètres physico – chimiques	<b>23</b>
<b>Tab7</b>	Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées utilisées	<b>54</b>
<b>Tab 8</b>	La hauteur de la plante (en cm)	<b>56</b>
<b>Tab 9</b>	La longueur du système racinaire (en cm)	<b>57</b>
<b>Tab 10</b>	La longueur des feuilles (en cm)	<b>58</b>
<b>Tab 11</b>	La variance de la hauteur de la plante	<b>59</b>
<b>Tab 12</b>	La variance de la longueur du système racinaire	<b>60</b>
<b>Tab 13</b>	La variance de la longueur des feuilles	<b>61</b>

## Liste d'abréviation

**Al** : aluminium

**Ca**: Calcium

**CE** : Conductivité électrique

**CEC** :Capacité d'échange cationique

**Cm** :centimetre

**DBO5** : Demande Biochimique en Oxygène

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**DA** :dayra

**EUB** : Eaux usées brute

**EUE** : Eaux usées épurées

**EUT** : Eau usée traité

**Eq-hab** : équivalent – habitant

**FAO** : Food and Agriculture Organisation

**Fe**: Fer

**ITGC** : institut technique de grandes cultures

**JORA** : journal officiel de la république Algérien

**Ha** : hectare

**GPI** : grands périmètres d'irrigation

**K** : potassium.

**Kg** : Kilogramme

**Km**: Kilomètre

**MRE** : Ministère des Ressources en Eau

**MES** : Matières en suspension

**MO** : Matière organique

**MS** : Matière séché

**MVS** : Matière volatile en suspension

**Mm**: millimètre

**MADR** : ministère de l'agriculture et du développement durable

**MSPP** : ministère de la santé publique et de la population

**Na**: Sodium

**NO3-N**: Nitrate

**N P K** : Azote phosphore potassium

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ONA** : Office national de l'assainissement

**ONID** : Office National d'Irrigation et de Drainage

**PH**: Potentiel Hydrique

**Qtx**: quintaux

**USAID** United states agency of international development

**USEPA** : United states environmental

**REUE** : Réutilisation des eaux usées épurées

**SAR** : Ratio du Sodium Absorbable

**SAU** : superficie agricole utile

**STEP** : Station d'épuration

**%** : Pourcentage

**g/l** : Gramme sur litre

**Le mot « reg » signifie simplement en arabe : une région plate. La déformation du sens vient de ce qu'au Sahara, ces régions plates sont presque toujours caillouteuses.**

**Partie I :**  
**Synthèse bibliographique**



**Chapitre 1 :**  
**Eaux usées**

### 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 (**Khennoufaetal, 2017**).

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 al, 2015**).

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**).

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**).

L'objectif principal de notre étude est de connaître l'effet de l'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées de la station d'épuration de kais de la wilaya de kenchela sur la composante du sol et sur la structure et la texture.

Cet objectif doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quels est l'état de la qualité chimique des eaux épurées de la STEP de Kais
- Affecte-elle vraiment sur la composante du sol sur les différentes propriétés du sol tel que la structure la texture... ?

A fin de répondre a ces questions on a effectué des essais d'irrigation sur une culture du blé en utilisant trois types d'eau d'irrigation : eaux usées brute de la STEP, eaux usées épurés et l'eau potable.

Ce travail est devisé en deux parties a 6 chapitres, la première partie est consacré à une recherche bibliographique de quatre chapitres dont :

- le premier présente des notions des eaux usées et leur composition moyenne.
- Le second consiste du Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie.
- Le troisième chapitre passe en revue les divers procédés d'épuration (STEP) de ces eaux usées des explications sur la réutilisation des eaux usées épurées pour des fins agricoles en se basant sur les normes de l'organisation mondiale de la santé (**OMS**) et la réglementation Algérienne (**JORA, 2012**) pour l'irrigation sans risque pour le recyclage des eaux usées traités.
- Et le quatrième chapitre englobe les généralités du sol.

Tandis que la deuxième partie est présentée par

- le chapitre 5 qui est un bilan analytique dont l'aperçu et une description de la station d'épuration du kais wilaya de kenchela est effectué il comprend également le matériels et les méthodes utilisées,
- le chapitre 6 traite les résultats obtenus

Enfin la conclusion rassemble les principaux résultats de ce travail et une perspective des travaux futurs.

## I. Notion des eaux usées

### 1. Nature et origine des eaux usées

#### 1.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées contiennent des matières minérales et organiques dans les trois phases : solides, liquides et gazeuses, et dans les trois états de dispersion : débris grossiers, suspension (émulsion), colloïdes et molécules dissoutes dissociées ou non. Les eaux usées véhiculent aussi les microorganismes pathogènes ou saprophytes et virus. **(Ouali, M, 2001).**

#### 1.2. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques peuvent provenir de quatre origines possibles :

##### 1.2.1. Eaux de cuisine

Elles contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base des matières organiques (glucides, lipides, protides ...), et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses. **(Franck, 2002).**

##### 1.2.2. Eaux de buanderie

Ce sont les eaux de lavage des locaux, elles contiennent des détergents et des savons plus ou moins émulsionnés avec des graisses **(Ladjel, F, et al, 2005).**

##### 1.2.3. Eaux de salles de bains

Elles sont chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées **(Franck, 2002).**

##### 1.2.4. Eaux de vannes

Elles proviennent des sanitaires, très riches en matières hydrocarbonées, en azote et en phosphore. Ces eaux représentent un substrat adapté aux procédés de traitements biologiques, mais peuvent contenir des éléments pathogènes (bactéries, virus et parasites divers **(Ladjelet al, 2005).**

### 1.3. Les eaux usées industriels

Tous les rejets résultant 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 : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

Ce dernier cas ne nous intéresse pas dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées. Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables. **(Baumont S, et al. 2005).**

### 1.4. Les eaux usées pluviales

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés sur ces surfaces sont entraînés dans les réseaux d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs des réseaux est lent ce qui favorise le dépôt de matières décantables lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts. **(Regsek F, 2002)**

### 1.5. Les eaux de drainage

C'est l'eau de lessivage récupérée après irrigation grâce à un système de drainage. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Apport aux eaux de surface, de nitrates et de phosphates utilisés comme engrais, par suite de lessivage de terres perméables. Ces composés minéraux favorisent la prolifération des algues ;

- Phénomène d'eutrophisation qui en abaissant la teneur en oxygène des eaux courantes compromet la vie des poissons et des animaux aquatiques ;
- Apports des pesticides chlorés ou phosphorés, des désherbants et des insecticides.
- En région viticole, apports du sulfate de cuivre, de composés arsenicaux destinés à la protection des vignes. **(Richarde C, 1996).**

## 2. Composition des eaux usées

### 2.1. Généralités

Les eaux usées urbaines proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations. Les eaux domestiques proviennent des activités humaines quotidiennes, alors que les eaux usées industrielles sont très variées en termes de quantité et de qualité. Leurs caractéristiques dépendent du type d'industrie et du niveau de traitement que les eaux usées subissent avant leur rejet.

La composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend donc, en d'autres termes:

- Essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux de vannes) ;
- 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 quelques constituants chimiques ;
- De la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées. En effet, la réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés essentiellement par les taux de concentration en microorganismes. Il est donc indispensable de connaître la composition des eaux usées afin de définir les domaines de réutilisation possibles et le niveau de restriction.

### 2-2 Les paramètres indicateurs de la qualité des eaux usées

#### 2-2-1-Les propriétés organoleptiques

##### a- la couleur

La couleur des eaux résiduaires industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. **(Mizi A, 2006).**

**b) Odeur**

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur intense. Toute odeur est liée à une pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition (**Mizia, 2006**).

**2-2-2-Les propriétés électrochimiques****a-Le pH**

Il indique la concentration en ions  $H^+$  présentés dans l'eau. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois :

-Dans les propriétés physico-chimique (acidité, agressivité).

-Dans les processus biologique dont certains exige des limites très étroites de pH. L'épuration biologique, est le résultat d'une activité microbienne aérobie et anaérobie qui demande une ambiance équilibrée chimiquement. Les bactéries tolèrent une gamme de pH allant de 5 à 6 avec un optimum de 6 à 8.

-Dans l'efficacité de certains procédés de traitement (tel que la précipitation et autres). Le pH peut être directement relié à la nature des substrats traversés, inférieur à 7 dans les régions granitiques, il dépasse cette valeur dans les régions calcaires.

Une activité d'une photosynthèse intense peut se traduire passagèrement par une élévation de pH jusqu'à 9 ou 10. C'est fréquemment le cas dans les eaux closes ou très lentes (étangs, canaux), au niveau desquelles se développent un abondant phytoplancton et d'importants herbiers. (**Rodier, 1996**).

**b-La Température**

La température des eaux usées est généralement supérieure à celle des eaux d'alimentation, du fait de l'apport de chaleur par les utilisations domestiques et industrielles. La chaleur spécifique de l'eau étant bien plus élevée que celle de l'air. Les températures des eaux usées sont, la majeure partie de l'année, supérieures à celle de l'air, sauf pendant les moins chauds de l'été. Selon la localisation géographique, les températures moyennes annuelles des eaux usées peuvent varier entre 10 à 20 °C environ. (**Behra, 2013**).

**c-La Conductivité**

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle

s'exprime en siemens par mètre (S/m), ou plus souvent en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). C'est un paramètre global mesuré simplement avec une sonde conductimétrique. Il fournit une indication sur la concentration totale en sels dissous. Par comparaison avec la conductivité de l'eau potable, il est ainsi possible de juger rapidement si des apports importants, en particulier industriels ou de l'eau de pluie, ont lieu dans le réseau d'assainissement. (Behra, 2013).

#### **d-La Salinité**

Le taux de salinité des eaux usées domestiques est lié essentiellement à la minéralisation de l'eau du réseau ; l'activité industrielle provoque au contraire très souvent une forte teneur en sels dissous des eaux du réseau.

La minéralisation de l'eau entraîne selon les cas (variable selon la nature des sels présents) une accélération de la corrosion. Comme elle encourage des espèces et élimine d'autres. (Potelon, 1998).

#### **e-La Turbidité**

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Cependant une turbidité forte peut permettre à des microorganismes de se fixer sur des particules en suspension. Ce paramètre se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. (Bontoux, 1993).

#### **f-Le Potentiel d'oxydo-réduction**

Le potentiel d'oxydoréduction, appelé également potentiel « redox », peut renseigner sur l'état des eaux usées par rapport à la présence d'oxygène (aérobie, anoxie, anaérobie) et leur degré de septicité. Ce potentiel est mesuré par un couple d'électrodes constitué d'une électrode inattaquable (platine, or) et d'une électrode de référence, généralement une électrode au calomel saturé de KCl. Le potentiel mesuré par rapport à l'électrode au calomel doit ensuite être rapporté à celui de l'électrode à hydrogène. Les eaux usées fraîches ont un potentiel d'oxydoréduction de l'ordre de 100 à 150 mV. Un potentiel inférieur ou négatif caractérise un milieu réducteur (eaux septiques, fermentations putrides, présence de réducteurs chimiques). Un potentiel supérieur à 300 mV révèle un milieu oxydant anormal. La septicité de l'effluent conduit à la formation de sulfures ( $\text{S}^{2-}$ ) et provoque le dégagement d'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ). (Behra, 2013).

## 2-3- Les paramètres physico-chimiques

### 2-3-1- La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La DBO5 exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO5 (**Ferreira, 1986**).

### 2-3-2-La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau est la quantité d'oxygène dans des conditions opératoires bien définies (**Rodier, 1996**). Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu.

L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et nonbiodégradables. La DCO est mesuré en mg d'O<sub>2</sub>/l. (**Taradat, 1992**).

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO pour les eaux usées urbaines ;
- DCO = 1 à 10 fois DBO pour l'ensemble des eaux résiduaires ;
- DCO > 2.5 fois DBO pour les eaux usées industrielles, (**Ferreira, 1986**).

### 2-3-3-L'oxygène dissout

L'oxygène dissout est important pour la respiration des micro-organismes aérobies ainsi que pour toute autre espèce vivante aérobie. La quantité capable d'être dissoute est fonction de la solubilité du gaz, de la pression partielle du gaz dans l'atmosphère, de la température et de la pureté de l'eau, c'est-à-dire la concentration des solides suspendus, la salinité, etc. (**Metcalf, et al, 1979**).

## 2.4. Les Microorganismes

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 : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

### 2.4.1. Les bactéries

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10<sup>6</sup> à 10<sup>7</sup> bactéries/100 ml dont la plupart sont

des proteus et entérobactéries, 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup> streptocoques et 10<sup>2</sup> à 10<sup>3</sup> clostridium. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10<sup>4</sup> germes/L. Parmi les plus détectées, les salmonelles, responsables de la typhoïde, paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermo tolérants sont des germes témoins de contamination fécale, communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau. (Toze, S., (1999))

**Tableau 1:** Principales bactéries pathogènes présentes dans les eaux usées

<i>Agent pathogène</i>	<i>Symptômes, maladie</i>	<i>Mode(s) de contamination</i>
<i>Salmonella</i> (différents sérotypes <sup>4</sup> )	Salmonellose	Ingestion
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite	Ingestion
<i>Leptospiraspp.</i>	Leptospirose	Cutanée/Ingestion/Inhalation
<i>Legionella</i>	Légionellose	Ingestion
<i>Campylobacterjejuni</i>	Gastro-entérite	Ingestion
<i>Listeria monocytogènes</i>	Listériose	Ingestion
<i>Escherichia coli</i> (certains sérotypes dont O157:H7)	Syndrome Hémolytique et Urémique (SHU)	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	Ingestion
<i>Salmonella Typhi</i>	Fièvre typhoïde	Ingestion
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	Ingestion
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose	Ingestion

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et www.hc-sc.gc.ca cité dans Baumont (2004)

#### 2.4.2. Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>4</sup> particules par litre. Leur isolement et dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le tractus intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux, il faut citer les entérovirus (exemple: polio), les rotavirus, les retrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries (Aulicino, *et al.* 1996).

Ont constaté que, au cours de processus de traitement des eaux usées, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux. De plus les auteurs ont détecté plusieurs virus dans les milieux récepteurs recevant des effluents traités tels que les rivières et les étangs. D'autre part, (Blanc, *et al.* 1996), ont constaté que les virus sont plus persistants, à température ambiante, dans un sol irrigué par des eaux usées traités (EUT) que certains autres bactériophages. (Aulicino, *et al.* 1996).

**Tableau2** : Principaux virus présents dans les eaux usées.

<i>Agent pathogène</i>	<i>Symptômes, maladie</i>	<i>Mode(s) de contamination</i>
Virus de l'hépatite A	Hépatite A	Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E	Ingestion
Parvovirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Reovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée	Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion/Inhalation
Astrovirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Coxsackie	Méningite, maladie respiratoire,	Ingestion
Echovirus	Méningite, diarrhée, ...	Ingestion
Adenovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, diarrhée, ...	Ingestion

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et [www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca) cité dans Baumont (2004)

### 2.4.3. Les protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants.

Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voir même plusieurs années. Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées. Parmi les plus importants d'un point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoebahistolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardialambliat* et *Cryptosporidiumparvum*. En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires.

**Tableau 3:** Principaux protozoaires présents dans les eaux usées.

<i>Agent pathogène</i>	<i>Symptômes, maladie</i>	<i>Mode(s) de contamination</i>
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Dysenterie balantidienne	Ingestion
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Diarrhée, fièvre	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	Ingestion / Inhalation
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre	Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée	Ingestion
<i>Naegleria</i>	Méningite	Ingestion
<i>Enterocytozoon spp.</i>	Diarrhée chronique, problèmes rénaux, musculaires, pulmonaires et oculaires	Ingestion

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et [www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca) cité dans Baumont (2004)

#### 2.4.4. Les helminthes

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'oeufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 103 germes L-1. 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 oeufs. Les oeufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel. Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont:

*Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*. L'analyse des risques sanitaires liés aux agents pathogènes susceptibles d'être transportés par les eaux usées est le fondement des recommandations proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989 (OMS, 1989)

**Tableau 4** : Principaux helminthes présents dans les eaux usées

<b>Agent pathogène</b>	<b>Symptômes, maladie</b>	<b>Mode(s) de contamination</b>
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariadiase	Ingestion
<i>Ancylostomaduodenale</i>	Ancylostomiase	Ingestion/Cutanée
<i>Ancylostomaspp.</i>	Anémie	Ingestion/Cutanée
<i>Necatoramericanus</i>	Necatoriase	Cutanée
<i>Strongyloidesstercolaris</i>	Strongyloidase	Cutanée
<i>Trichuristrichuria</i>	Trichuriase	Ingestion
<i>Taeniaspp.</i>	Diarrhée, douleurs musculaires	Ingestion
<i>Enterobiusvermicularis</i>	Enterobiase	Ingestion
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs,...	Ingestion
<i>Toxocara</i>	Fièvre, douleur abdominale	Ingestion
<i>Echinococcusgranulosus</i>	Hydatidose	Ingestion

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et [www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca) cité dans Baumont (2004)

## 2.5. Eléments traces et métaux lourds

Les sources de métaux pour les milieux aquatiques sont multiples. On différencie principalement les sources d'origine naturelle et anthropique. En effet, les métaux sont présents naturellement dans les sols. Certains en sont des constituants majeurs (Al) ou importants pour la structure des minéraux (Fe, Mn).

## 2.6. Matière en suspension

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES. Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germe pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. La présence de la matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. De plus, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent en surface. Enfin, une présence

excessive de matières en suspension peut entraîner de difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation. (FAO, 2003).

### 2.7. Les matières organiques :

Elles sont constituées par des molécules dont la structure de base comporte des liaisons covalentes reliant au moins deux atomes de carbone, d'où le nom de pollution carbonée.

Cette pollution organique rejetée dans le milieu récepteur, sans traitement préalable, entraîne, du fait de sa dégradation par les organismes vivants du milieu récepteur (biodégradation), une diminution de la teneur en oxygène dissous de ce milieu et une modification, voire une disparition de la faune existante (Rodier, 2009).

### 2.8. Eléments toxiques organiques

Les eaux usées contiennent des composés chimiques toxiques très persistants lipophiles. Parmi ces composés, on peut citer les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien tel que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkyl phénols (Belgiorno *et al*, 2007). En effet plusieurs environnements aquatiques ont été pollués par ces composés, en plus des autres substances pharmaceutiques, dont la principale source est les eaux usées (Kimura *et al*, 2004).

Il s'est avéré que les stations d'épuration sont des sources potentielles de ces produits toxiques (Belgiorno *et al*, 2007; Andreozzi *et al*, 2003). Cependant, les faibles concentrations en ces composés dans les eaux usées limitent le risque d'exposition lors de leur réutilisation pour l'irrigation (Toze, 2006). De plus, en raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues plutôt que dans les eaux résiduaires (FAO, 2003).

### 2.9. Substances nutritives

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (Hamoda, 2004). Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes. D'après (Faby, *et al*. 1997) une lame d'eau résiduaire traitée de 100 mm peut apporter à l'hectare de terre agricole environ :

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

D'autres macro- et micronutriments peuvent également être présents dans les eaux usées. En outre, la présence de matière organique sous différentes formes dans l'eau usée (solides en suspension, éléments colloïdaux et matières dissoutes) peut, par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol (**FAO, 2003**).

Cette matière organique présente dans l'eau usée influe sur la biodisponibilité des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes (**Toze, 2006**), y-compris sur ceux se trouvant originellement dans le sol. Cependant, la valeur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constituer alors une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes de développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, en usage agricole, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale (**FAO, 2003**). Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments, est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Dans ce cadre, la (**FAO 2003**) a promulgué de nouvelles mesures : Il est recommandé de surveiller NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, P et K, pour trois raisons principales :

- L'estimation des engrais additionnels à fournir pour optimiser le rendement et la qualité des cultures ;
- Le choix du système agricole approprié pour la meilleure efficacité d'utilisation des nutriments et de l'eau ;
- La protection des eaux de surface et souterraine de la pollution par NO<sub>3</sub>-N.

### 3. Réutilisation des eaux usées traitées

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées (**Bixio,et al. 2008**), mais dans la plupart des cas, les eaux usées sont utilisées à l'état brut ou après un traitement minimal, et pratiquement aucune mesure n'est prise pour protéger la santé (**OMS, 1989**). (**Bixio,et al. 2005**) ont classés les différents types de réutilisation selon 4 catégories :

- 1) usage agricole,
- 2) usage urbain, périurbain et recharge des nappes,
- 3) usage industriel,
- 4) usages mixte.

Sur le plan mondial, la réutilisation des EUT pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau (**Ecosse, 2001**).



**CHAPITRE 2 :**  
**Cadre réglementaire et**  
**institutionnel**

**1. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie****1.1. Aspect juridique relatifs au secteur d'hydrauliques**

La loi n° 05-août à l'eau structurée 05 12 du 4 août 2005 relative eau est structure endixitres:

- 1- des dispositions préliminaires (objectifs et principes)
- 2- du régime juridique des ressources en eau et des infrastructures hydrauliques
- 3- de la protection et de la préservation des ressources en eau
- 4- des instruments institutionnels de la gestion intégrée des ressources en eau
- 5- l'du régime juridique de l'utilisation des ressources en eau
- 6- l'eau l'des services publics de l'eau et de l'assainissement
- 7- de l'eau agricole
- 8- de l'de la tarification des services de l'eau
- 9- de la police des eaux
- 10- dispositions transitoires et finale (**JORA.2005**)

**1.1.1 Dispositions préliminaires**

**Art. 2 :** Eau usée épurée destinée à l'irrigation, toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.

**Art. 3 :** L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession. La concession peut être octroyée à toute personne morale ou physique, de droit public ou privé, qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation au sens de l'article 2 ci-dessus.

**Art.4:** L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doit être conforme aux clauses du cahier des charges-type annexé au présent décret auquel doit souscrire tout concessionnaire.

**Art. 5:** Le dossier de demande de concession est adressé par le demandeur, en double exemplaire, au wali territorialement compétent.

La wilaya compétente est celle sur le territoire de laquelle sont situées les parcelles destinées à être irriguées par les eaux usées épurées.

**Art. 6 :** La demande de concession doit comporter les noms, prénoms, et adresses pour les personnes physiques ou la raison sociale et l'adresse du siège social pour les personnes morales. Elle doit être accompagnée d'un mémoire technique, comportant notamment les

documents et informations suivants:

- une description de la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ainsi que le mode de traitement utilisé;
- la description et les plans des ouvrages de stockage, d'amenée et de distribution des eaux usées épurées à réaliser;
- une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme, aux spécifications en vigueur.
- la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées, avec un plan parcellaire à une échelle appropriée où seront indiqués les parcelles destinées à être irriguées et le mode d'irrigation préconisé ;
- un accord écrit de l'organisme gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage par lequel il s'engage à fournir les volumes d'eaux usées épurées, en quantité et qualité requises ;
- un engagement des agriculteurs, utilisateurs des eaux usées épurées ;
- un plan de situation des installations d'amenée, de stockage et de distribution des eaux usées épurées, sur lequel doivent être reportés les ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable situés à proximité ainsi que les installations d'épuration.

**Art. 7 :** Les services de l'hydraulique de la wilaya doivent procéder à une étude technique de la demande de concession, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement. Ils doivent, notamment :

- vérifier la disponibilité, en quantité et en qualité, des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- faire une évaluation technique de la faisabilité du projet ;
- procéder à une visite des lieux ;
- évaluer les risques de contamination des personnes, des cultures et des ressources en eau, ainsi que les conséquences sur l'environnement ;
- recueillir l'avis des assemblées populaires communales concernées.

**Art. 8 :** La concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est permise par arrêté pris par le wali territorialement compétent (**JORA. 2005**).

### **1.1.2. Cadres institutionnels de la gestion intégrée des ressources en eau**

**Art. 62 :** Il est créé un organe national consultatif dénommé "Conseil national consultatif des ressources en eau" chargé d'examiner les options stratégiques et les instruments de mise en

œuvre du plan national de l'eau ainsi que sur toutes questions relatives à l'eau pour lesquelles son avis est demandé.

**Art. 63 :** Le Conseil national consultatif des ressources en eau est composé de représentants des administrations, des assemblées locales, des établissements publics concernés, et d'associations professionnelles et/ou d'usagers. Les missions, la composition et les règles de fonctionnement du Conseil national consultatif des ressources en eau sont fixées par voie réglementaire.

**Art. 64 :** Au niveau de chaque unité hydrographique naturelle, la gestion intégrée des ressources en eau est exercée par une agence de bassin hydrographique, dont les missions, les règles d'organisation et de fonctionnement et le cadre de concertation sont fixés par voie réglementaire (**JORA. 2005**).

### 1.1.3. Information sur l'eau

**Art. 66 :** Il est établi par l'administration chargée des ressources en eau un système de gestion intégrée de l'information sur l'eau, harmonisé avec les systèmes d'information et les bases de données constituées notamment au niveau des organismes publics compétents. Les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau sont fixées par voie réglementaire.

**Art. 67 :** Les personnes physiques ou morales, de droit public ou privé, titulaires d'une autorisation ou d'une concession d'utilisation du domaine public hydraulique naturel, les concessionnaires ou délégataires de services publics de l'eau et de l'assainissement et les concessionnaires d'exploitation des périmètres irrigués sont tenus de fournir périodiquement, à l'autorité chargée du système de gestion intégrée d'information, tous renseignements et données dont ils disposent.

**Art. 68 :** L'administration chargée des ressources en eau fournit, à la demande de quiconque veut entreprendre la réalisation dûment autorisée d'un ouvrage de prélèvement d'eau dans le domaine public hydraulique naturel pour un usage public ou privé, tous renseignements d'ordre hydrologique et hydrogéologique disponibles, ainsi que toutes informations portant sur les prescriptions de protection qualitative et/ou quantitative.

**Art. 69 :** Les ressources en eau souterraine et superficielle sont soumises à des contrôles de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques. Les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons sont fixées par voie réglementaire.

**Art. 70.-** Les inventaires et les bases de données relatifs aux ressources en eau et aux ouvrages et installations hydrauliques de toute nature, sont établis et tenus à jour par l'administration chargée des ressources en eau (**JORA. 2005**).

**1.1.4 L'eau agricole****1.1.4.1 Dispositions générales relatives à l'eau agricole**

**Art. 125.-** En vertu de la présente loi, est qualifiée d'eau agricole toute eau destinée à un usage exclusivement agricole et, accessoirement, aux autres besoins liés aux activités agricoles.

**Art. 126.-** Tout prélèvement d'eau agricole ne peut être opéré que selon les modalités fixées par les articles 71 à 93 de la présente loi.

**Art. 127.-** Les ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel et destinés à l'usage agricole sont classés en infrastructures de grande, moyenne et petite hydraulique agricole et font l'objet de concession selon des conditions et des modalités fixées par voie réglementaire.

**Art. 128 :** L'autorisation ou la concession d'utilisation des ressources en eau à des fins d'irrigation est accordée au profit d'un fonds déterminé. En cas de cession du fonds considéré, le droit d'utilisation est transféré de plein droit au nouveau propriétaire ; celui-ci doit déclarer à l'administration chargée des ressources en eau cette cession, dans un délai de trois mois à dater de la mutation de la propriété. En cas de morcellement du fonds, la répartition des eaux entre les parcelles en découlant doit faire l'objet d'autorisations ou de concessions nouvelles qui se substitueront au droit d'utilisation originaire.

**Art. 129 :** Les propriétaires et exploitants des terres agricoles sont tenus de procéder à une utilisation rationnelle de l'eau agricole, notamment à travers l'utilisation de techniques permettant d'économiser l'eau.

**Art. 130 :** L'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation est interdite (**JORA. 2005**).

**1.1.4.2. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées en irrigation**

**Art. 14 :** L'irrigation avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommables crus est interdite.

**Art. 15 :** La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé.

**Art. 17 :** L'irrigation par les eaux usées épurées des cultures autorisées doit cesser au moins deux semaines avant la récolte. La consommation des fruits tombant au sol est interdite ; ces fruits tombés doivent être détruits ou transportés à la décharge publique.

**Art. 18 :** L'irrigation des arbres fruitiers par aspersion, ou par tout autre système mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits est interdite.

**Art. 19 :** Le pâturage direct sur les parcelles et aires irriguées par les eaux usées épurées est interdit.

**Art. 20 :** 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.

**Art. 21 :** L'irrigation des parcs et des espaces verts, au moyen des eaux usées épurées, doit s'effectuer en dehors des heures d'ouverture au public.

**Art. 22 :** Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

**Art. 23 :** Toutes les bornes et tous les robinets d'irrigation du réseau de distribution des eaux usées épurées doivent comporter obligatoirement une plaque inamovible, signalant que l'eau est non potable et par conséquent impropre à la consommation.

**Art. 24 :** En cas de dégradation de la qualité de l'eau des puits situés à proximité des zones irriguées par les eaux usées épurées, l'utilisation d'eau de ces puits est soumise aux mêmes spécifications et conditions d'usage imposées aux eaux usées épurées.

**Art. 25 :** L'exploitation à des fins d'irrigation des puits situés à l'intérieur des zones irriguées avec les eaux usées épurées n'est permise que pour les cultures autorisées sur ces zones(**JORA. 2007**).

## 1.5. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation

## 1.5.1. Paramètres microbiologiques

Tableau 6 : les paramètres microbiologiques (JORA.2012)

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (oeufs/L) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

**Journal Officiel De La République Algérienne N° 41**

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol.

L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d’irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l’irrigation localisée et respectent les règles d’hygiène exigées. Aucune population alentour.

**1.5.2. Paramètres physico – chimiques**

**Tableau 7 : Les paramètres physico – chimiques(JORA.2012)**

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	–	6.5 ≤ pH ≤ 8.5
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = o - 3 CE	ds/m	0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12		0.5
12 - 20	1.3		
	20 - 40	3	
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO3 - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(\*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

## 2. Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie

L'eau est le fluide vital de la vie sur terre et constitue un aliment fondamental, assez rare dans notre pays, qu'il faut protéger contre toute forme de pollution. La préservation de ce facteur exige un contrôle continu pour le comparer avec les normes nationales.

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date des temps anciens. Selon le MRE, dès les années 1990, des programmes de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mis en œuvre.

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épurations exploitées par l'ONA à travers les 43 wilayas, quelques stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. En 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m<sup>3</sup>/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles. En effet ce potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une évolution significative où environ 17 millions de m<sup>3</sup> ont été enregistrés en 2011, environ 45 millions de m<sup>3</sup> en 2012, 300 millions de m<sup>3</sup> en 2014

Le projet d'élaboration de normes algériennes et d'un guide technique pour les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles est en cours d'approbation par l'Institut Algérien de Normalisation. (**Laid Bouchaalal, 2017**).

Durant le mois de Février 2018, un volume de 1,5 million de m<sup>3</sup> d'eaux épurées par 17 STEP, ont servi à l'irrigation de 11 062 hectares de superficies agricoles, soit un taux de la RE-USE de 40 % du volume épuré par les 17 STEP concernées et à 9% du volume total épuré par l'ensemble des 146 STEP en exploitation par l'ONA. (**ONA, 2018**).

Selon (**ONA, 2019**), Pour le mois de Janvier 2019 ; la gestion et l'exploitation de 153 stations d'épuration, dont :

- 75 stations à boues activées
- 75 stations de lagunage
- 03 filtres plantés.

La capacité globale installée de ces 153 stations est de 10 359 462 Équivalent-habitants, soit un débit nominal de **1 572 167 m<sup>3</sup>/j**.

Le volume des eaux usées traitées dépasse **21 millions de mètres-cubes**, soit un débit moyen journalier de **681 232 m<sup>3</sup> /j**, d'importante quantité d'eau qui peuvent être gérer pour une

éventuelle réutilisation surtout à des fins agricoles, ce secteur qui a les plus importants besoins en eau (ONA, 2019)

#### **4. L'Office National de l'Assainissement (ONA)**

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national, à caractère industriel et commercial. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-102 du 27 Moharem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre des ressources en eau. L'Office National de l'Assainissement est chargé dans le cadre de la politique nationale de l'assainissement : de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations (des infrastructures d'assainissement) et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux.

Il assure aussi :

La protection de l'environnement hydrique et la sauvegarde des ressources en eau.

- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.
- L'élaboration et de la réalisation des projets en relation avec le traitement des eaux usées.

Voici quelques chiffres essentiels en L'ONA au niveau national :

- Nombre de communes administrées par l'ONA : **638**
- Longueur du réseau géré par l'ONA plus de : **30 000 km**
- Nombre de STEP en exploitation par l'ONA : **77**
- Capacités installées des **77 STEP : 861 217 m<sup>3</sup>/j**
- Volume mensuel des eaux épurées (juin 2012) : **10,9 millions de m<sup>3</sup>.**
- Débit moyen journalier des eaux usées épurées : **365 310 m<sup>3</sup>/j**
- Taux d'utilisation des capacités des installations : **42 %**
- Volume des eaux usées collectées durant le mois de juin 2012 : **52,9 millions de m<sup>3</sup>**
- Nombre de branchements réalisés durant le mois de juin 2012 : **55 branchements**
- Nombre de regards réalisés durant le mois de juin 2012 : **72 regards.**

- Volume de déchets solides évacués durant le mois de juin : **6 913 m3**
- Volume d'eau relevé durant le mois de juin 2012 : **14 052 885 m3**
- Nombre de Station de relevages gérés par l'ONA : **316 (www.onid.com, 2012)**.

Par ailleurs, la stratégie de l'ONA s'appuie sur une vision futuriste de l'eau. La considérant comme rare, elle lui donne une seconde vie. Un programme de réutilisation des eaux usées épurées (REUE), notamment à usage agricole est mis en place.

À ce jour, l'ONA est gérées 12 STEP concernées par les projets de la REUE en cours d'étude ou de réalisation, pour l'irrigation de plus de 8000 hectares de terres agricoles, parmi ces projets : Sedrata, Chelghoum Laid, Tipaza, Ouargla, Saida et Chlef.

Un plan d'action ONA/ONID est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des STEP exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale (**www.onid.com, 2012**).

### **5. L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID)**

La nouvelle politique de l'eau mise en place par le ministère des ressources en eau est basée sur des principes nouveaux de gestion intégrée, participative, économique et écologique. Cette politique s'est concrétisée notamment par la création de l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) en tant qu'outil privilégié du secteur pour la relance du programme de développement de l'hydraulique agricole et l'utilisation rationnelle du facteur d'eau comme un élément de base pour l'accroissement de la production agricole.

Pour obtenir une gestion optimale d'irrigation : l'adoption de procédés d'irrigation économiseurs d'eau et l'utilisation des eaux non conventionnelles (eaux usées traitées), contribueront à l'extension notable des superficies irriguées, l'objectif global de l'Algérie est d'atteindre une L'Office National pour l'Irrigation et le Drainage, C'est une structure chargée de l'ensemble de l'activité hydraulique agricole dans les Grands périmètres d'irrigations (GPI), créée en 18 mai 2005. Elle est subdivisée en 5 directions régionales selon le découpage hydrographique adopté par le secteur. Elle est présente dans l'ensemble des grands périmètres d'irrigation, soit plus d'une vingtaine d'unités. Son potentiel humain dépasse les 2.000 personnes.

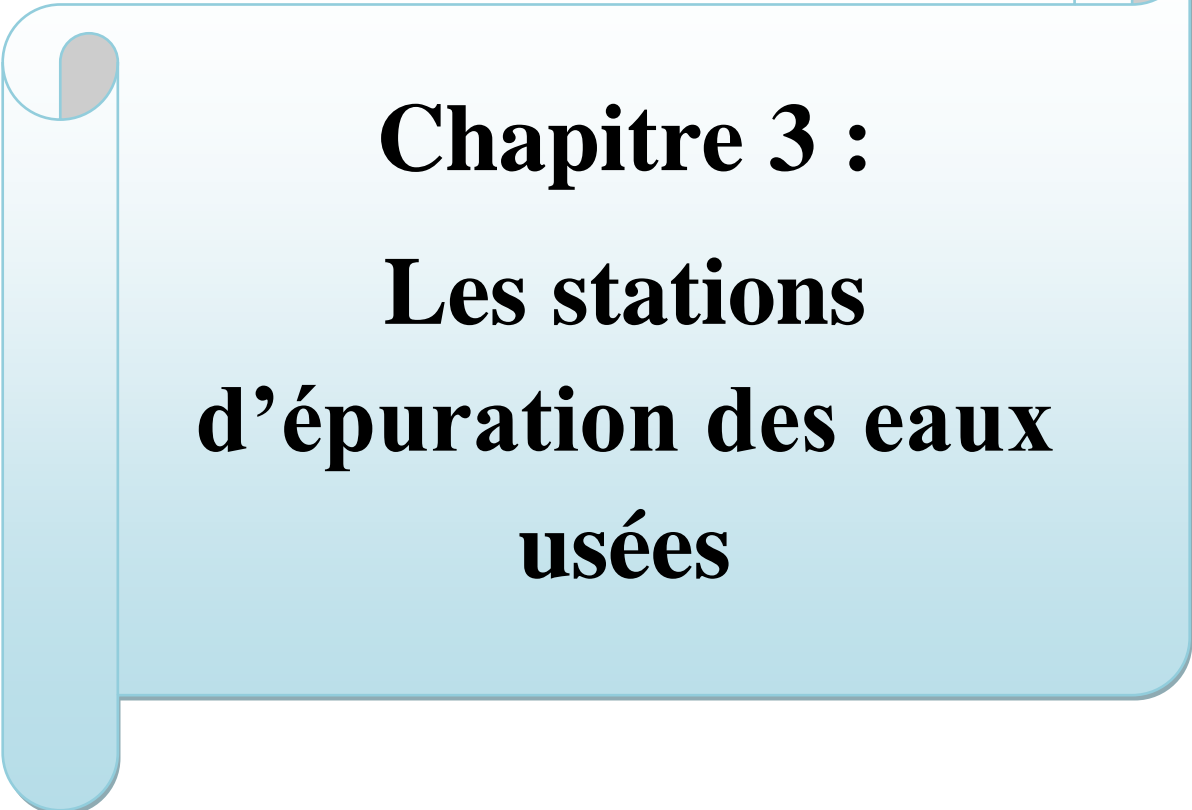
Devant le déficit hydrique accru que connaît le pays, L'ONID a lancé une nouvelle expérience dans un vaste programme qui permet d'augmenter sensiblement les superficies irriguées. Il consiste en la réutilisation des eaux usées épurées, produites par les stations d'épuration de l'ONA pour irriguer des périmètres à l'aval de chaque station d'épuration et lagune.

Particulièrement, dans les périmètres d'irrigation, l'ONID est chargé de :

- gérer, exploiter et entretenir les réseaux d'irrigation.
- diriger les irrigations.
- commercialiser l'eau agricole.

Apporter assistance et conseils aux usagers de l'eau agricole.

Actuellement, l'office exploite et entretient 25 périmètres d'irrigation d'une superficie équipée globale de plus de 200.000 ha, dont plus de 162.000 ha sont irrigables.



**Chapitre 3 :**  
**Les stations**  
**d'épuration des eaux**  
**usées**

### 1. LES STEPS

#### 1.2. 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).

#### 1.3. 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. (ONA, 2022)

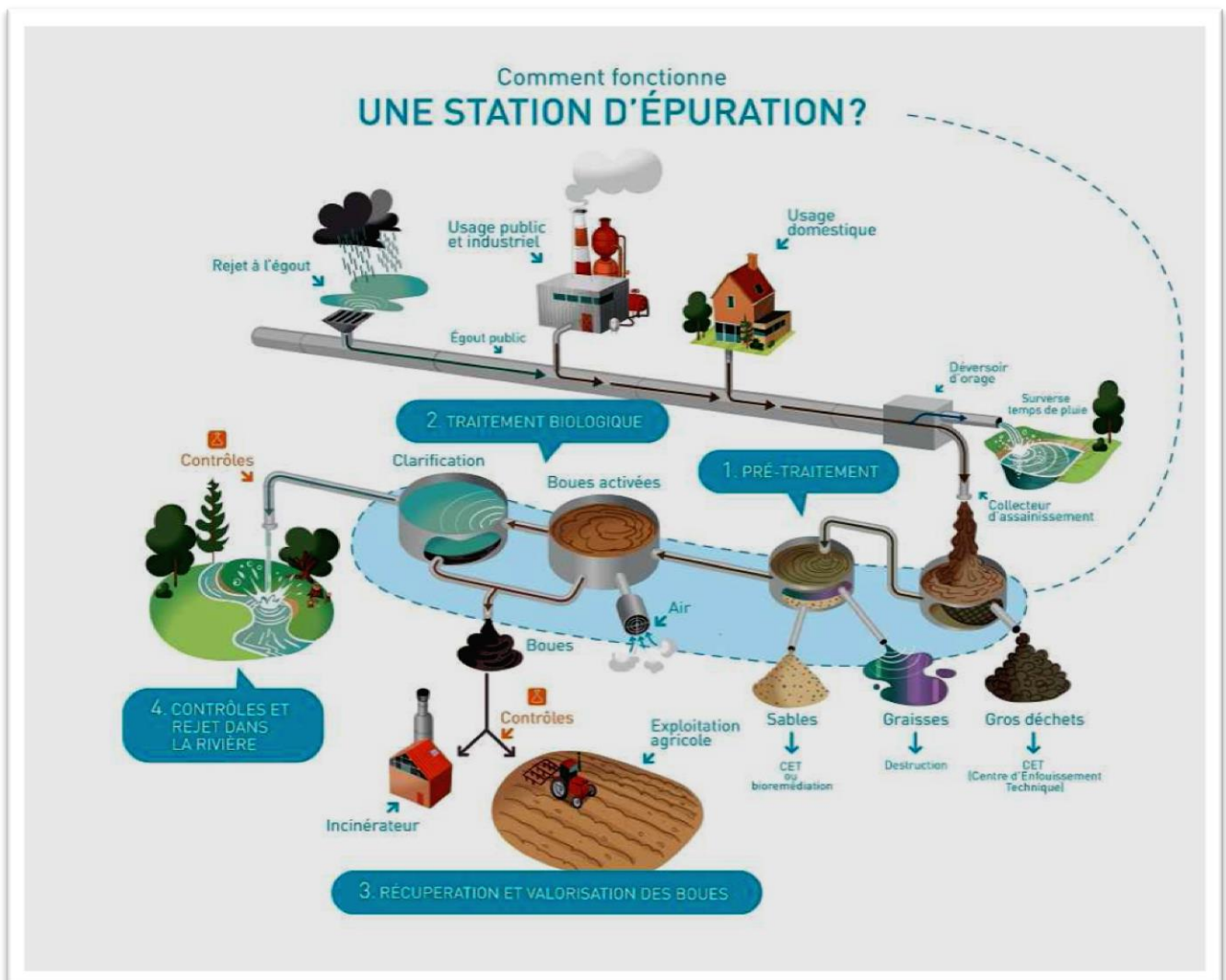


Figure 01: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration

### 1.3.1. Les prétraitements

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 (ONA, 2022).



Figure 2: Dérailleur (STEP Kais, 2022).

### 1.3.2. 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 (ONA, 2022).



Figure 3 : Désableur et déshuileur(STEP Kais, 2022)

### 1.3.3. 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 (ONA, 2022).

### 1.3.4. 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 (ONA, 2022).

### 1.3.2. 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 (ONA, 2022). Elles sont classées en trois catégories :

#### 1.3.2.1. Les boues primaires :

Sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation, de nature fortement organique.

#### 1.3.2.2 Les boues secondaires :

Proviennent des traitements biologiques des eaux usées.

#### 1.3.2.3 Les boues mixtes:

Correspondent au mélange des boues primaires et secondaires.

### 1.3.5. 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 al*, 1983).



# **Chapitre 4 :**

# **Notion du sol**

## 1. Définition du sol

Les géologues appellent « sols » tous les matériaux meubles, poreux, hétérogènes et souvent anisotropes se trouvant à la surface de l'écorce terrestre. Ces matériaux (minéraux ou organiques) sont généralement à l'état de grains dont les formes et les dimensions sont essentiellement variables (**INSA, 2005-2006**). De point de vue pédologique, le sol est un milieu naturel, différencié en horizons à constituants minéraux et organiques, généralement meuble, d'épaisseur variable qui diffère de la roche mère sous-jacente par certains caractères morphologiques et propriétés physiques chimiques et biologiques.

## 2. Les types des sols d'Algérie

### 2.1 Sols salins

En Algérie, les sols salés occupent de grandes étendues (**Halitim, 1985**). Les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale). Près de 10-15 % de terres irriguées, La plupart de ces sols sont situés, en région aride et semi-aride, mais aussi sous bioclimat subhumide (**Halitim, 1973**). Selon (**Djili, 2000**), les sols salés sont localisés au Nord qu'au Sud Algérien

### 2.2 Sols calcaires

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le nord du pays, où ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires. En dehors des conditions particulières de la pédogenèse, si les pluies sont importantes, les sols ne peuvent plus être calcaires même si la roche mère est calcaire (**Djili, 2000**).

### 2.3 Sols insaturés

Les sols insaturés résultent de la décomposition superficielle de roches non calcaires donnant des éléments grossiers riches en bases (les granites de Nedroma par exemple) ou encore des éléments argileux imperméables : sols formés par les schistes, les micaschistes, basaltes, granites basiques, ainsi que sur les alluvions argileuses. Des roches comme les gneiss et leurs arènes, certains schistes (schistes crétacés par exemple), relativement perméables et donnant par altération des produits fins peu perméables" et pauvres en bases, donnent une autre variété de sols insaturés : des sols insaturés acides. Ce sont en général des sols de montagne plus ou moins argileux (**Benchetrit Maurice, 1956**).

## 2.4 Sols calciques

Les sols calciques ne présentent qu'un seul horizon différencié peu épais. Ils sont plus ou moins riches en calcaire, leur complexe absorbant est saturé par l'ion Ca et leur pH est toujours compris entre 7 et 8. Ils contiennent des doses appréciables de matières organiques (entre 0,3 et 1 %), mais pas de sels solubles, l'ensemble donnant à leur horizon meuble une structure motteuse. Dans ces sols, le calcaire est surtout présent dans la fraction sableuse et n'intervient que peu dans leur dynamique. Ce sont donc des sols calciques typiques. **(Benchetrit Maurice, 1956)**

## 2.5 Sols en équilibre

Les sols en équilibre : sols ayant les mêmes caractères que les sols calciques mais formés sur roche mère non calcifère. Leur complexe absorbant est encore saturé en ion Ca, les mouvements de substances y sont inexistantes et ils ne présentent qu'un seul horizon différencié. Ces sols sont rares en Algérie car les roches calcaires ou gypseuses couvrent environ 90 % de la surface des zones semi-arides. Cependant, on peut retrouver de ces sols « en équilibre », non calciques, dans la région d'Aflou et sur les formations d'épanchement de l'Oranie occidentale (basaltes par exemple). **(Benchetrit Maurice, 1956)**

## 2.6 Sols alluviaux

Un sol alluvial est un sol azonal constitué de dépôts alluvionnaires relativement récents. Il s'agit d'un sol du type (A) C ou AC formé sur matériaux marins, fluviaux, ou lacustres ; généralement humide, à horizon (A) faiblement développé ou même absent. Le sol ne présente donc pas de développement de profil. Les matériaux grossiers, s'ils sont présents, sont roulés **(Lozetet Mathieu, 2000)**.

## 3. Caractéristiques physico-chimiques du sol

### 3.1. Caractéristiques physiques

#### 3.1.1. Texture

La texture ou la granulométrie fait référence à la répartition des sédiments en fonction de leur taille. C'est une propriété fixe du sol qui est de loin la propriété la plus importante **(Gobatet al, 2010)**. La texture a une influence dominante sur les propriétés physiques et chimiques des sols. Plus le sol est argileux, plus sa fertilité chimique est élevée. Plus le sol est sableux, il présente une bonne fertilité physique.

Les limites exactes qui distinguent une fraction texturale d'une autre varient en fonction du système de classification. Celles qui sont souvent utilisées sont définies selon l'échelle d'ATHERBERG qui classe la fraction fine du sol (partie dont le diamètre est inférieur à 2 mm) en 5 fractions. Les fractions de sédiments sont les suivantes :

- Argile : diamètre inférieur à 2  $\mu\text{m}$  (0,002 mm)
- Limon fin : diamètre de 0,002 mm à 0,02 mm
- Limon grossier : diamètre de 0,02 mm à 0,05 mm
- Sable fin : diamètre de 0,05 mm à 0,2 mm
- Sable grossier : diamètre de 0,2 mm à 2 mm

Même si la granulométrie repose uniquement sur la taille des sédiments, les différentes fractions sont souvent constituées de différents minéraux :

- Sable : surtout du quartz, aussi des feldspaths et micas. Peu de minéraux secondaires.
- Limon : 50% quartz, autre 50% sont des feldspaths, des micas et des minéraux secondaires - des oxydes de Fe et d'Al.
- Argile : surtout des minéraux secondaires, et à très forte dominance les phyllo silicates ; dans les milieux humides tropicaux il y a beaucoup d'oxydes de Fe et d'Al.

La fraction grossière (partie du sol dont le diamètre est supérieur à 2 mm exemple des graviers et Caillaux) ont un impact très important pour l'aération, la circulation de l'eau et l'érodabilité du sol

. La texture du sol est une propriété stable, elle conditionne directement la structure et donc la porosité et le régime hydrique du sol (**Aragno,et al, 2003**). Les textures fines sont évidemment les plus perméables que les textures grossières.

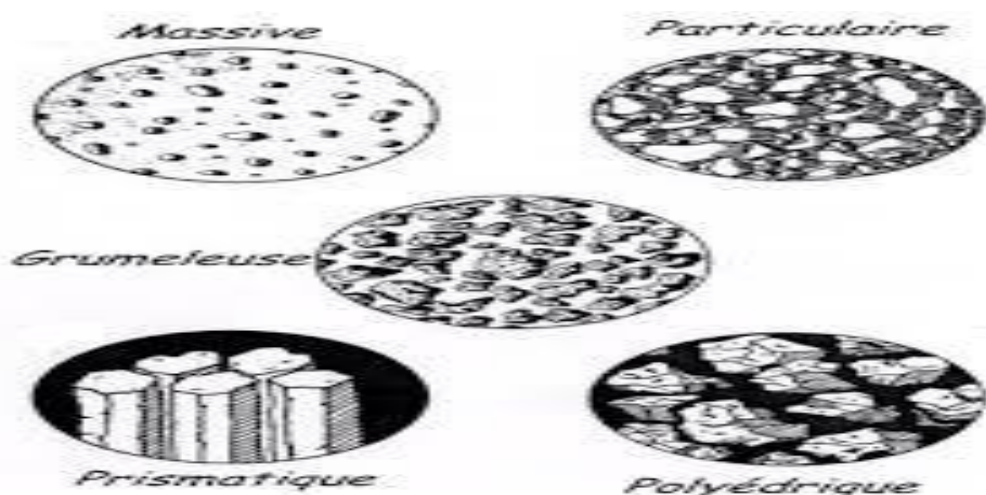
La texture du sol influence l'enracinement des plantes, elle favorise ou limite le développement spatial de l'appareil racinaire (**Callot, et al ,1982 ; Aragnoet al, 2003**), et on admet que la croissance des racines est favorisée par une texture grossière (**Callotet al, 1981**).

### 3.1.2. Structure du sol

La structure est un état du sol vivant à court terme. C'est le mode d'agencement des différents agrégats du sol. C'est derniers résultants de l'assemblage des particules entre-elle. En fonction de la présence ou non présence des agrégats, il y a deux (2) types de structures. Une structure avec agrégats dite fragmentaire et qui peut être arrondie, anguleuse ou feuilletés. Une structure sans agrégats dite continue (**cours pédologie, 2004**).

La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique (**Oades, 1993 ; Eltiti, 2003**). Les pores créés par ces perturbations sont généralement allongés ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation. La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat (**Young et al, 1998**). Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques (**Oorts, 2006**).

D'une manière générale, dans les milieux à structure continue, les racines sont peu nombreuses, droites et présentent un aspect filiforme. Au contraire, dans les sols à structure construite, elles sont sinueuses, ramifiées et garnies de nombreux poils absorbants (**Henin, et al, 1969 ; Callot et al, 1981**).



**Figure 04 : Quelques exemples de structure de sol (Gobat et al, 2010).**

### 3.2. Caractéristiques chimiques

#### 3.2.1. PH du sol

Le pH (potentiel hydrogéné) du sol exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité de ce sol sur une échelle de 01 à 14. C'est un facteur qui joue sur la dynamique des éléments et sur leur absorption d'où l'importance de sa détermination.

Un sol neutre et bien équilibré présente un pH de 07, alors qu'un pH inférieur à 07 caractérise le sol à tendance acide. Au contraire, un pH supérieur à 07 atteste une terre basique et donc contenant du calcaire. Il est à noter que les sols sodiques (caractérisés par une forte présence des ions  $\text{Na}^+$  sur le complexe adsorbant du sol) présentent toujours des valeurs du pH beaucoup plus élevées atteignant facilement les chiffres de 10 (Aubert, 1982).

#### 3.2.2. La salinité du sol :

Lorsque le sol contient une très forte quantité en sels (concentration des cations et des anions dans la solution du sol est élevée), les effets sont généralement défavorables sur les plantes et sur le sol lui-même. Le sel empêche les plantes de s'alimenter normalement en eau même lorsque le sol est bien arrosé. À partir d'une certaine quantité, le sel a, selon la plante, un effet toxique direct sur celle-ci. Le rendement est très vite affecté et peut baisser jusqu'à 80%. Généralement, la salure des sols est sous la dominance de l'ion sodium ( $\text{Na}^+$ ), ce sont les sols sodiques. La mise en valeur des sols salins ne peuvent être envisagées sans une bonne connaissance de la quantité et de la nature des sels contenus dans le sol. Il convient donc, de faire des analyses appropriées pour obtenir le degré de concentration de la solution du sol en sel (Mathieu *et al*, 2003).

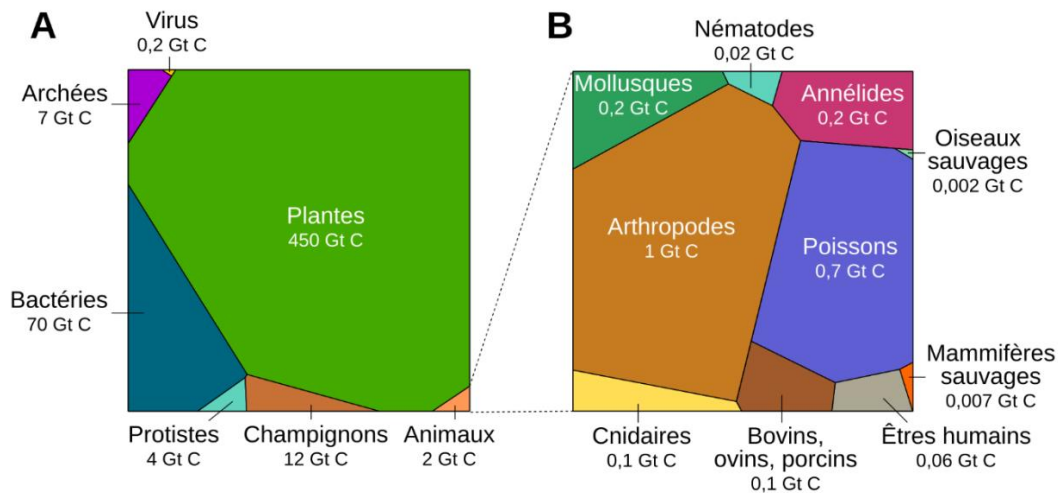
### 4. La biomasse des sols

#### 4.1. Définition

La biomasse est définie par des écologues comme la masse totale des organismes vivants mesurée dans une population, une aire ou une autre unité. (Ravenet *et al*, 1988) Les biologistes définissent parfois, de manière plus restrictive, la biomasse cellulaire ou individuelle qui représente le bilan des synthèses et des dégradations de matière organique dans une cellule ou un individu. (Lucien. L, 1988)

#### 4.2. Distribution de la biomasse en fonction des groupes d'êtres vivants

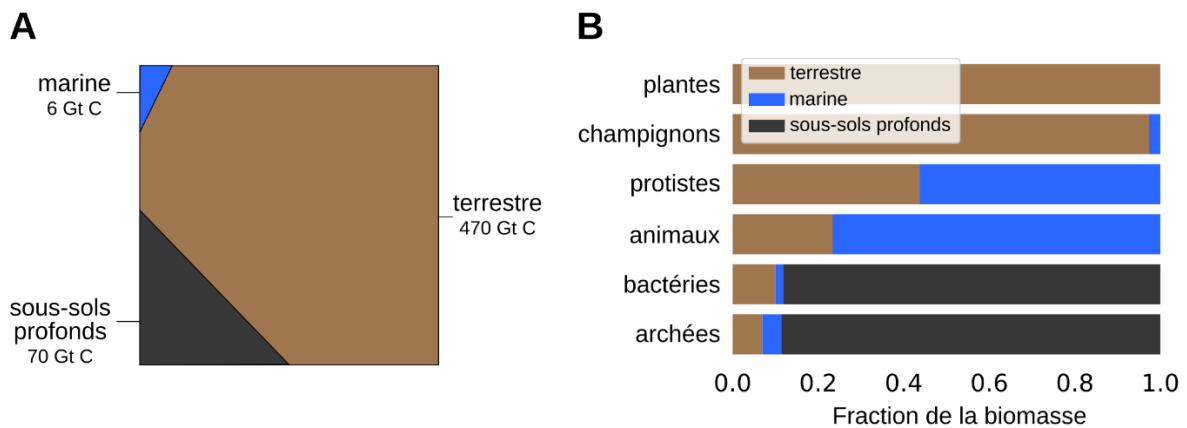
Les auteurs ont choisi de donner les biomasses pour six grands groupes d'êtres vivants : plantes, bactéries, champignons, archées, protistes et animaux. Sous le terme de « plantes », les auteurs désignent les Embryophytes, les algues vertes et les algues brunes. Les protistes désignent les eucaryotes unicellulaires. Ces deux groupes, à la différence des quatre autres, ne sont donc pas monophylétiques. (Bar.Onet *al*, 2018)



**Figure05: Répartition de la biomasse en fonction des groupes d'êtres vivants (Bar.Onet *al*, 2018)**

#### 4.3. Distribution de la biomasse en fonction des biotopes

Bien que les océans et les mers recouvrent 71 % de la planète, la biomasse continentale est largement plus importante que la biomasse marine (470 Gt de carbone contre 6 Gt C). De plus, au sein de ces deux types d'environnement, des différences majeures existent entre groupes d'êtres vivants. Par exemple, si l'essentiel de la biomasse des plantes est terrestre : la fraction marine, représentée par les algues vertes et brunes est négligeable (entre 0,0075 et 2,55 Gt C selon les études). À l'inverse, la biomasse animale est essentiellement marine tandis que celle des bactéries et archées se concentre dans les environnements profonds : sédiments marins et croûte en milieu océanique, roches du sous-sol et notamment aquifères profonds en milieu continental (Bar.Onet *al*, 2018).



**Figure 06 : Distribution des biomasses en fonction des milieux de vie (Bar.Onet al, 2018)**

### 5. Biomasse bactérienne

On trouve typiquement environ 50 millions de cellules bactériennes par gramme de sol et environ un million de cellules bactériennes par millilitre d'eau douce, avec des variations selon le type de milieu et son histoire.

Une étude très citée de 1998, avait à tort évalué la biomasse bactérienne mondiale à une masse comprise entre 350 et 550 milliards de tonnes de carbone (soit l'équivalent de 60 % à 100 % du carbone contenu dans les plantes). (**Whitman W, et al. 1998**)

Des études nouvelles sur la vie microbienne des fonds marins font fortement réévaluer ces chiffres. Un travail de 2012 a rabaisé l'évolution de la biomasse microbienne des fonds marins de 303 milliards de tonnes de C à 4,1 milliards de tonnes. La biomasse mondiale des procaryotes ne serait « que » de 50 à 250 milliards de tonnes de C. (**Jens Kallmeyer et al, 2012**)

En outre le carbone contenu par chaque cellule de procaryote pourrait avoir été surestimé : si la biomasse moyenne par cellule de procaryotes passe de 86 à 14 femto grammes de carbone, la biomasse globale de procaryotes est réduite à 13 à 44,5 milliards de tonnes de C, ce qui correspond à équivalent de 2,4 % à 8,1 % du carbone présent dans les plantes. (**Jens Kallmeyer et al, 2012**)

Ce type d'évaluation est encore controversé. En mai 2018, une nouvelle évaluation (PNAS, mai 2018) a estimé la biomasse bactérienne à environ 70 milliards de tonnes de carbone (15 % de la biomasse totale). Le projet DeepCarbonObservatory en décembre 2018 donnait quant à lui un chiffre bien moins élevé (pas plus de 23 milliards de tonnes de carbone). (**Gabbatiss et al, 2018**)

# **Partie II**

## **PARTIE PRATIQUE**



# **Chapitre : 5**

## **Matériels et méthodes**

## 1. Description de la zone d'étude

### 1.1. Wilaya de khenchela

La wilaya de Khenchela est située à l'Est du pays, au sud-est de Constantine.

Elle est délimitée :

- au nord, par la wilaya d'Oum El Bouaghi;
- au sud, par la wilaya d'El Oued;
- à l'ouest, par les wilayas de Batna et de Biskra;
- à l'est, par la wilaya de Tébessa (Grégory .V, 2022).

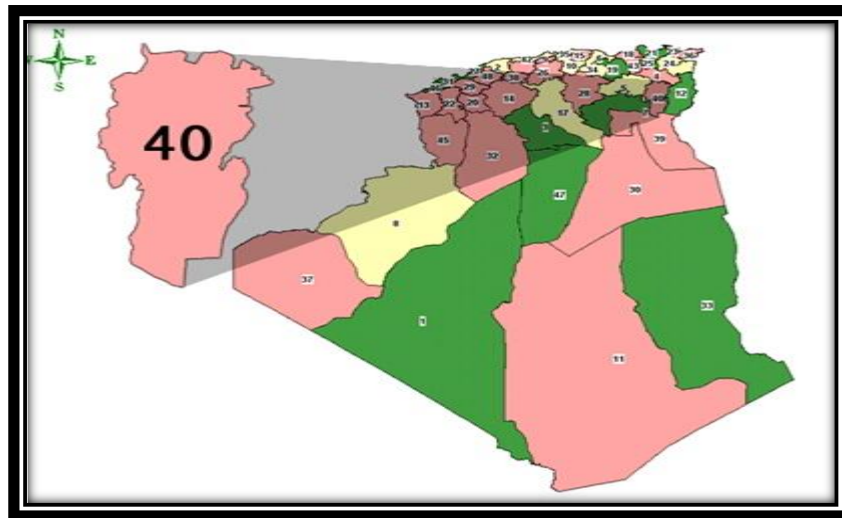


Figure 07 : localisation de la wilaya de khenchela

#### 1.1.1. Relief

Sa structure physique est très hétérogène. Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes:

- Les Hautes plaines au Nord; couvrent 15 % du territoire. C'est une région de plaines à fortes potentialités hydriques qui offrent de grandes possibilités pour le développement agricole.
- La Zone montagneuse, occupe les parties centrale et ouest de la wilaya avec 36 % du territoire (les massifs des Aurès et les monts des Nememchas).

Les parcours steppiques et sahariens : qui couvrent la moitié sud de la wilaya avec 49 % de la superficie totale (région à vocation pastorale) (Grégory .V, 2022).

#### 1.1.2. Climat

La région se caractérise par trois climats :

- climat très rude en hiver, modéré en été dans les régions montagneuses centrales.
  - climat modéré en hiver, chaud et sec en été dans les steppes sahraouies du sud.
- climat très froid en hiver, sec en été dans les hautes steppes au nord (Grégory .V, 2022).

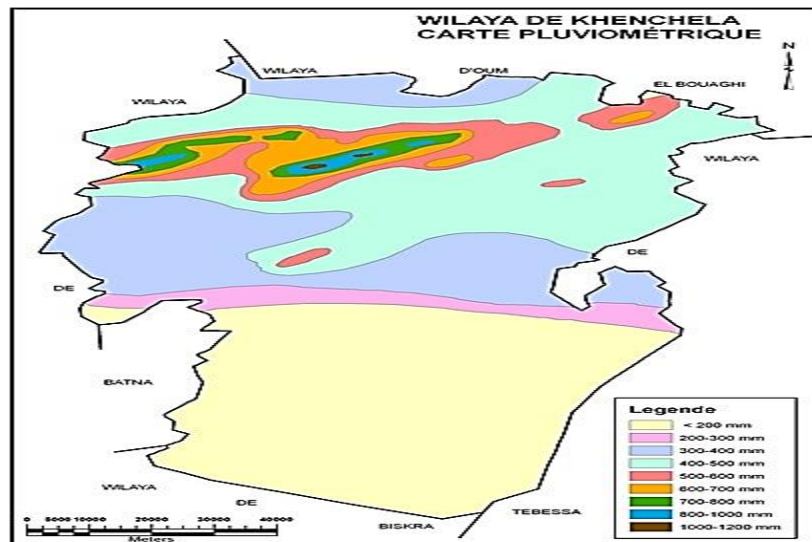


Figure 08 : Carte pluviométrique de la wilaya de khenchela

### 1.2. La commune kais

Elle est Située à une vingtaine de kilomètre au Nord-Ouest du Chef-lieu de la Wilaya de Khenchela, la région de Kais se caractérise par la plaine de Remila qui a connu ces dernières années des projets agricole du fait du programme de soutien à l'agriculture. Elle se constitue d'une plaine agricole caractérisée par de fortes potentialités hydriques et dominée par la céréaliculture, l'arboriculture fruitière ainsi que par l'élevage ovin et bovin malgré ça elle reste largement inexploitée en raison de la rareté des ressources en eau et de l'absence de culture d'investissement chez les habitants de la région (Asal.2016).



Figure 09 : localisation de la Comune de Kais dans la wilaya de Khenchela (Grégory .V, 2022).

### 1.2.2. Situation géographique de la zone d'étude

Sa superficie est estimée à 56 km<sup>2</sup> soit environ 5600 hectares ce qui représente 0.58% de la superficie totale de la wilaya. Elle est limitée par :

- Au Nord : commune de Remila
- A l'Est : commune d'El Hamma
- A l'Ouest : commune de Chelia
- Au Sud : commune de Tamza

Elle se localise entre 7 communes rurales et montagneuses (Tamza, Remila, Chelia, Bouhmama, ElHamma ,Yabous , El Mesara ) .

Cette région est limitée au Nord-est par le a Sebka Guerrah El Tarf – Wilaya d'Oum El Bouaghi, alimentée par un réseau hydrographique dense de type endoréique, constitué de ruisseaux (Chaâbets) et d'oueds, Au Sud, la zone est traversée par la chaîne montagneuse des Aurès, avec son point culminant, le Djebel Chélia, 2328 m. Ces massifs sont recouverts d'espèces végétales forestières telles le Pin d'Alep, le Chêne ainsi que le Cèdre.

### 1.2.3. Situation démographique

#### ➤ La Population

La population totale de la Wilaya est environ 469.510 habitants (31/12/2017) Et celle de la commune de Kais est de 150.000 habitants (Grégory .V, 2022).

### 1.2.4. Situation administrative

La zone d'étude est situé dans la wilaya de kenchela comprend également les communes administrative de kais, Taouziant, Remila (Grégory .V, 2022).

### 1.2.5. Etude géologique

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvent dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltré selon le type du terrain (perméable ou imperméable).

La géomorphologie est dominée par des hautes plaines parsemées des dépressions constituant le chott (Garaet El Tarf), avec une altitude d'environ 830 m ce dernier s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le 1/4 est inondé.

Tout autour, on trouve des petits chotts qui fusionnent avec celui de Garaet el Tarf lors des grandes crues. Les périmètres de ce lac salé sont caractérisés par un niveau plat. Les massifs qui encadrent le bassin dépassent les 2000 m. Les bordures Sud et nord de la zone sont marquées par des inclinaisons relativement importantes ; conséquence d'une activité tectonique ayant affectée ces régions, permettant un écoulement superficiel plus important. La zone d'étude est bordée :

- Au Nord, par des massifs de Sidi Reghis et Aamamet el Kebir.
- A l'Est, des massifs de Fedjidjet, Bou tokhma, Tafrennt et Chettaia.
- Au Sud, des djebels Feraoun, Aurès, el Aoud.

#### **1.2.6. Réseau hydrographique de la région d'étude**

La région étudiée est caractérisée par un réseau hydrographique biendéveloppé où la majorité des Oueds sont caractérisés par un écoulement temporaire :

Oued Boulefrays à l'Ouest, Oued Baghai au centre-est, traversent la plaine et aboutissent dans la dépression salée, et à l'intérieur l'Oued Marouf qui est le prolongement de l'oued Gueis vient se jeter dans les petites garât situées à l'extrême est de la zone d'étude (**D.H.W.K, 1984**).

Les Oueds de la wilaya sont essentiellement de type endoréique et déversent leurs eaux dans les dépressions salées de la région (**D.E.W., 2009**).

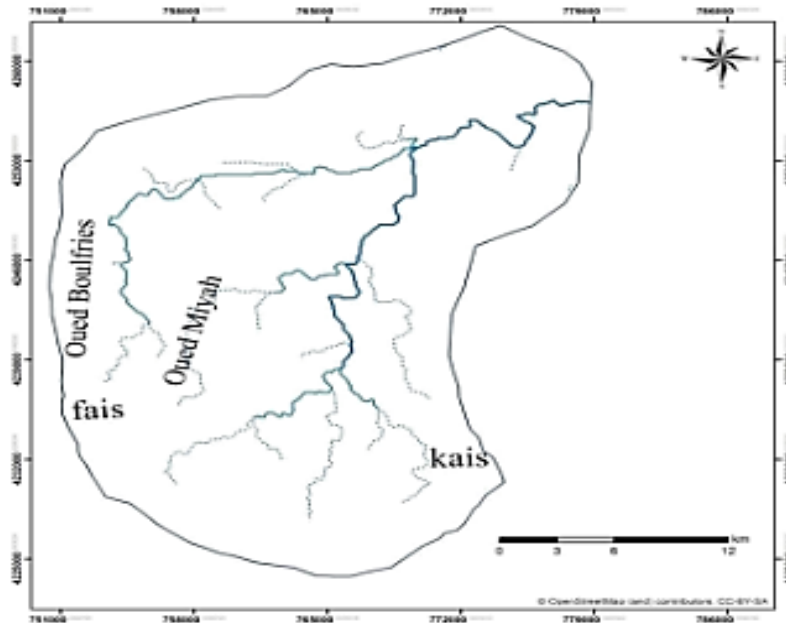


Figure 10 : Réseau hydrographique de Kais

### 1.2.7. Agriculture

L'agriculture et l'élevage ovin et bovin ainsi que l'exploitation forestière sont les activités traditionnelles de la wilaya de kenchela.

Kais est connue par sa grande activité agricole et pastorale. Elle est située sur la route principale qui relie les hauts plateaux aux basses plaines steppiques, passage obligé de l'axe commercial Sahara-Tell. Elle s'étend sur l'essentiel du potentiel en superficie agricole utile.

L'agriculture est essentiellement tournée vers la céréaliculture. On y pratique aussi de l'élevage ovin et bovin compte tenu des potentialités fourragères dont dispose cette région. Les pratiques arboricoles sont éparses et sont pratiquement à caractère familial. C'est le cas aussi des pratiques maraichères qui ont pris toutefois un essor de développement important local et régional passant du stade familial limité vers une production plus large occupant les marchés avoisinants.

L'élevage intensif, avicole, ovin, et bovin, tient une place prépondérante dans le tissu socio-économique de Remila.

Il faut noter toute fois que compte tenu des conditions climatiques aléatoires et contraignantes, car les quantités pluviales sont faibles, les rendements sont conséquemment faibles et ne dépassent pas les 10 qtx/ha (Zouoai, 2008). Parallèlement, la présence de formations triasique, associée aux faibles précipitations, qui augmente la salinité des sols,

notamment à proximité des dépressions. L'insuffisance de drainage, processus de blocage de l'écoulement naturel des eaux de pluie, se traduit ainsi par la formation de dépressions salines hydro-allomorphes aux alentours desquelles se développe une végétation favorable telle Artémésiasp, Attriplexsp, Zizyphus sp. (Bouafia, 2015).

## 2. Présentation de la zone d'étude (STEP)

**Nom de l'établissement:** Station d'épuration des eaux usées de la ville de Kais

- **Commune :** Kais
- **Wilaya :** khenchela
- **Localités concernées par le traitement :** Ville de Kais
- **Statut juridique :** La station d'épuration de la ville de Kais est une unité filiale de l'office national de l'assainissement (ONA).
- **Date de mise en service :** 03/01/2018.
- **Capacité en (Eq/hab) :** 60. 000 Eq/H 7200 m<sup>3</sup>/j.
- **Procédé d'épuration:** boue Activée
- **Débit nominal en (m<sup>3</sup>/j) :** 12 000 m<sup>3</sup> /j
- **Lieu de rejet :** Oued Laadjardiya par une canalisation de rejet.
- **Impact final :** protection de la nappe.
- **Maitre d'ouvrage :** DHW de Khenchela
- **Site de la station :** la station d'épuration occupe une superficie de 7.3 hectares, elle est délimitée au Nord par Remila ; à l'est par route de Remila ; à l'ouest par route d'OueldAid et au Sud par la ville de Kais.



**Figure 11 : vue satellitaire de la STEP de Kais**



**Figure 12 : La Station d'épuration de la commune de Kais**

### **2.1. Fonctionnement**

Le système d'assainissement de la ville de Kais est de type Unitaire .Les eaux usées a traitées de la STEP sont constituées principalement par des effluents d'origine urbaines ; cette station comprend obligatoirement deux filières de traitement : la filière eau et la filière boue activées à faibles charges Les résidus générés de cette dernière, sont traités par épaissement gravitaire + déshydratation mécanique et lits de séchage secours avant leur évacuation (ONAKhenchela ,2022).

Concernant la filière eau, l'eau est débarrassée de différents polluants avant son rejet dans le milieu naturel (Oued L'aadjardiya) Cette filière comprend généralement.

- Un prétraitement (qui permet d'éliminer de l'eau les matières en suspension (déchets grossiers, sables...) et les huiles.
- Un traitement primaire qui permet aux matières en suspension de se déposer par simple gravité sous forme de boues.
- Un traitement secondaire (élimine les matières en solution dans l'eau (matières organiques, substances minérales...) La clarification (décantation secondaire) (ONA Khenchela ,2022).

### 3. Protocole expérimentales

#### 3.1. Le matériels utilisés

- Trois pots d'un diamètre de 16 cm
- bécher 500 ml
- règle
- eau usées brute
- eau usées traitées
- eau du robinet
- sol
- variété du blé dure « *Triticum durum* Desf »
- logiciel pour étude statistique Excel

#### 3.2. Méthodologie du travail

Notre expérimentation s'agit d'une culture de blé dans des pots sur une serre on a utilisé trois lots un lot irrigué par l'eau usée brute, le deuxième lot irrigué par l'eau usée traitées de la station d'épuration de la commune kais wilaya de khenchela tandis que le troisième lot irrigué par l'eau de robinet.

On a rempli les trois pots avec le même type de sol, où les graines ont été réparties sur trois pots, Les semis est 100 grains de blé par pot à une profondeur approximative de 2 cm. L'essai a été installé le 25 -04 - 2022, les trois pots sont irrigués avec la même quantité d'eau 500 ml en même temps (une fois tous les cinq jours). la seule différence entre les trois essais c'est la qualité de l'eau utilisé pour l'irrigation.

- Le 1er lot est irrigué par l'eau de robinet (P1)

- Le 2<sup>ème</sup> lot est irrigué par l'eau usée épurées par voie biologique provenant de la station d'épuration de la commune de kais et la wilaya de Khenchela(P2)
- Le 3<sup>ème</sup> Essai est irrigué par eaux usées brute(P3)



**Figure 13 : les semis de blé par pot**

- L'espèce utilisée dans notre expérimentation s'agit du blé « *Triticum durum* Desf », variété Virton la R1, variété d'origine Espagnole, sélectionnée au niveau de l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures), d'El Kharoub en 1986. C'est une variété caractérisée par une paille haute à moyenne, cycle végétatif demi-précoce, tallage moyen, mieux adaptée aux régions arides et semi-arides et assez sensible à la verse.



**Figure14 : la variété du blé dure *Triticum durum* Desf**

#### 4. Détermination du type de sol pour la plantation

Le sol utilisé dans notre expérimentation est d'origine de la commune de kais wilaya de khenchelail est très riche en matières organiques essentiels pour la croissance de la plante. Il est utilisées par les agriculteurs pour cultivées du blé.

##### 4.1. Les caractéristiques du sol utilisé :

Le sol de la région de kais est un sol très riche en matières organiques (MO) et aussi par des microorganismes qui représente la diversité des organismes existants. Ce sol à une biomasse riche en macrofaunes tels que :

- vers de terre (Annélides)
- carabes et vers blancs, et fourmis (Insectes)
- diplopodes et chilopodes (Myriapodes),
- araignées (arachnides),
- isopodes (Crustacés),
- escargots (Mollusques)

Pour y parvenir, il existe une méthode simple en 4 étapes.

##### 4.2. Étape 1 : prélèvement de l'échantillon de sol

On fait creuser 6 trous d'environ 20 cm de profondeur à différents endroits du champ de plantation et on récupère un peu de terre. Bien mélanger ensuite les échantillons dans un seau.

##### 4.3. Étape 2 : Réalisation du test

- utilisation d'un bocal transparent avec un couvercle.
- remplissage de la moitié du bocal avec notre prélèvement de terre et en complète avec de l'eau en laissant un peu d'air.
- fermeture du bocal et agitons-le fortement pendant 3 minutes.
- on attend 30 minutes et secouons à nouveau énergiquement pendant 3 minutes.
- on laisse reposer 24 h. avec le processus de sédimentation, les éléments vont se superposer en strates : au fond les plus lourds, et au-dessus les plus légers.



**Figure15 : détermination de la texture du sol**

#### 4.4. Étape 3 : Analyses des résultats

- Après repos, on observe des différentes strates superposées dans notre bocal :
- Au fond, se trouvent les sables ; en deuxième position, il y a les limons ; la troisième strate contient de l'argile et, enfin, tout ce qui flotte en surface correspond à la matière organique.
- Une mesure de l'épaisseur de chaque strate. Celle des sables est facile à observer, puisqu'ils sont visibles à l'œil nu. La difficulté principale est de différencier les limons et l'argile qui font presque la même taille. la couche d'argile doit être un peu plus compacte que les limons et elle peut aussi avoir une couleur différente.
- prise des mesures :

#### 4.5. Étape 4 : Texture du sol

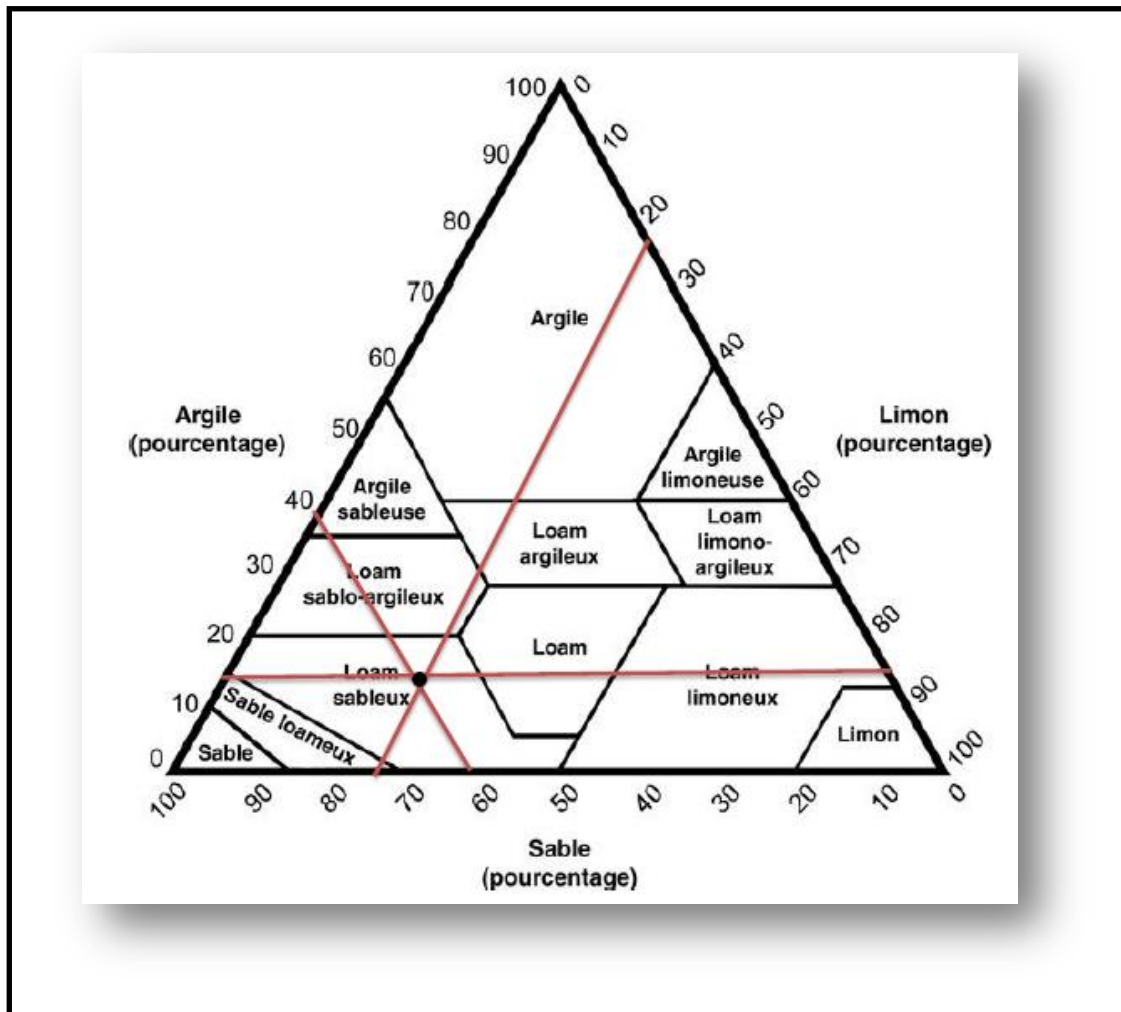
- Interprétations des résultats **triangle des textures**.

Pour l'utiliser, c'est assez simple :

- pourcentage obtenus sur chaque côté du triangle (l'argile à gauche, les limons à droite et les sables en bas).
- Tressage des axes en passant par les mesures obtenues. L'intersection des trois lignes donne la texture de notre sol.
- ✓ Hauteur total= hauteurs sables + limons + argile
- ✓ Pourcentage de sable= (hauteur sable x 100)/hauteur totale
- ✓ Pourcentage de limon = (hauteur limon x 100)/hauteur totale
- ✓ Pourcentage d'argile= (hauteur argile x 100)/hauteur totale

Résultat du test de type de sol

- ✓ Hauteur total=2.5cm+0.9cm+0.6cm=4cm
- ✓ Pourcentage de sable=  $(2.5 \times 100)/4 = 62.5\%$
- ✓ Pourcentage de limon =  $(0.9 \times 100)/4 = 22.5\%$
- ✓ Pourcentage argile=  $(0.6 \times 100)/4 = 15\%$



**Figure16 : triangle des textures sol**

D'après les résultats obtenus et l'interprétation du triangle des textures on remarque que le type de sol utilisé dans la culture du blé est limonsableux

### 5. les caractéristiques physico-chimiques des eaux utilisées dans l'irrigation

**Tableau 7** : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées utilisées (Boutebba Inès damia, 2022)

Paramètres	Eau usée brute	Eau usée traitée
T (°C)	18.01	17
Ph	7.93	7.93
Mes (mg/l)	234	26
CE (µS/cm)	1103.51	1149.94
O <sub>2</sub> (mg/l)	0.38	2.7
Sal (mg/l)	0.69	0.65
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	756	16
DCO (mg/l)	452	56
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	8.95	5.76
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0.23	0.02
NO <sub>3</sub> (mg/l)	1.11	0.45
NH <sub>4</sub> (mg/l)	14.89	7.2
NA (mg/l)	33.33	31.33
K (mg/l)	54	38
CA (mg/l)	102.3	93.67
LI (mg/l)	1.34	0.32

Selon les résultats du tableau nous remarquons que les valeurs des eaux brutes et épurées utilisée pour l'irrigation du blé sont de haute qualité biologique pour être utiliser en agricultures, ils ont un taux de salinité élevée en le comparant avec la norme et les valeurs des orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dépassent également la norme fixée par l'OMS pour la réutilisation en agriculture (0.94 mg/l).



# **Chapitre 6 :** **Résultats et discussions**

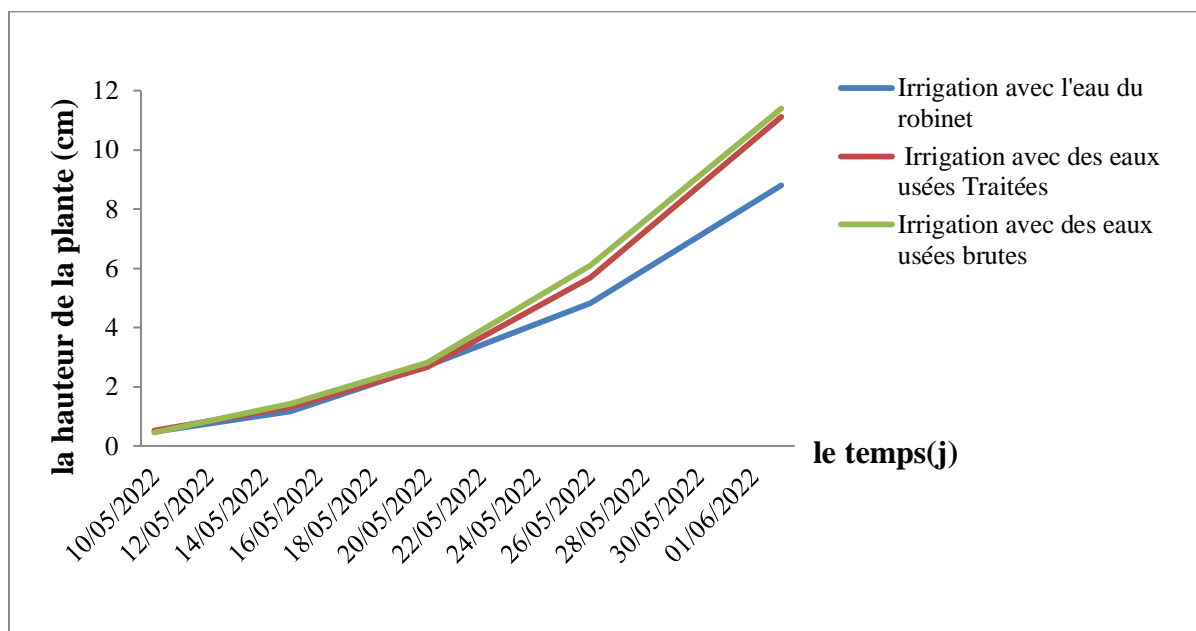
## 1. Résultats et discussions

Les observations et les notations ont été réalisées tout au long du cycle biologique, du semis jusqu'à la récolte et ont porté sur :

- Les stades phénologiques (date de levé notée lorsque 50% des plantes sont sorties au sol.
- Les caractères morphologiques (La hauteur de la plante (en cm) mesurée à la maturité sur un échantillon de 05 plantes par pot, à l'aide d'une planche graduée, La longueur des feuilles mesurées (en cm), et la longueur des systèmes racinaires mesurées (en cm).

**Tableau8** : La hauteur de la plante (en cm)

l'eau d'irrigation temps	Irrigation avec l'eau du robinet	Irrigation avec des eaux usées Traitées	Irrigation avec des eaux usées brutes
2022/05/10	0.48	0.52	0.46
2022/05/15	1.16	1.32	1.42
2022/05/20	2.70	2.66	2.82
2022/05/26	4.82	5.70	6.10
2022/06/02	8.8	11.12	11.40

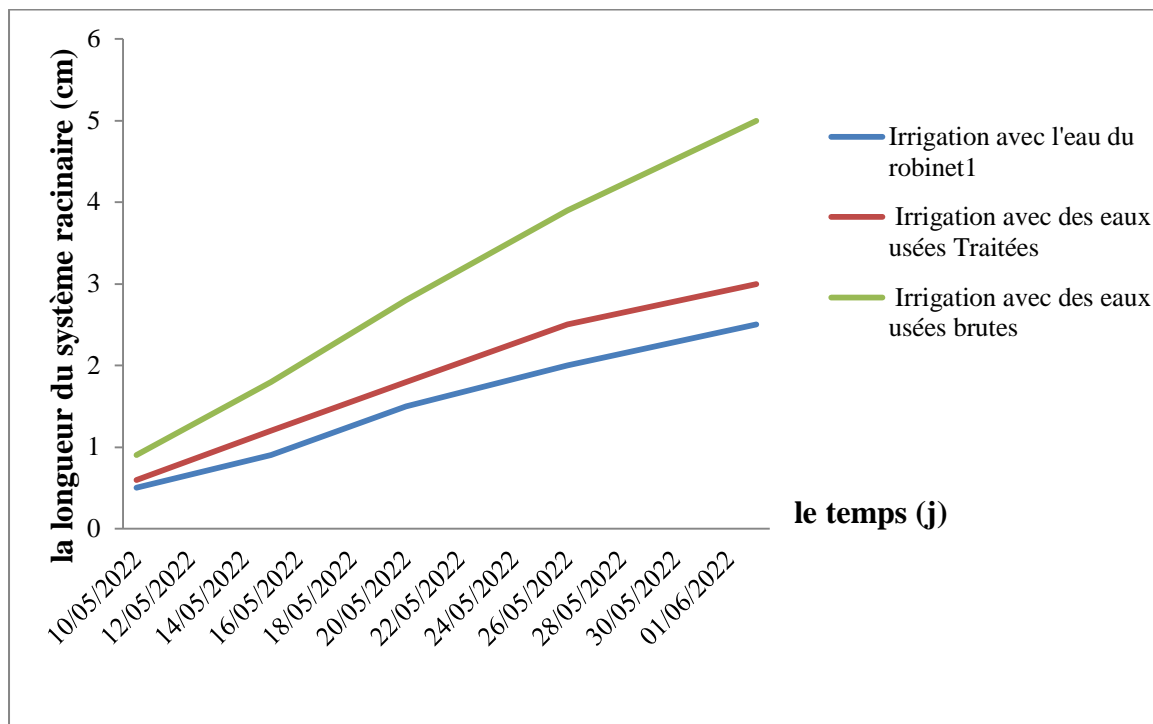


**Figure 17:** variation de la hauteur des plantes en fonction du temps

Nous remarquons que la croissance des semis de blé est bonne dans le sol irrigué par les eaux usées brutes tandis qu'avec les EUT ou note une croissance maximal avec une hauteur de 11.40 cm pendant une période d'un mois par contre au sol irrigué par l'eau de robinet nous remarquons une faible croissance d'une hauteur de 8.8 cm pendant la même période.

**Tableau 9** : La longueur du système racinaire (en cm)

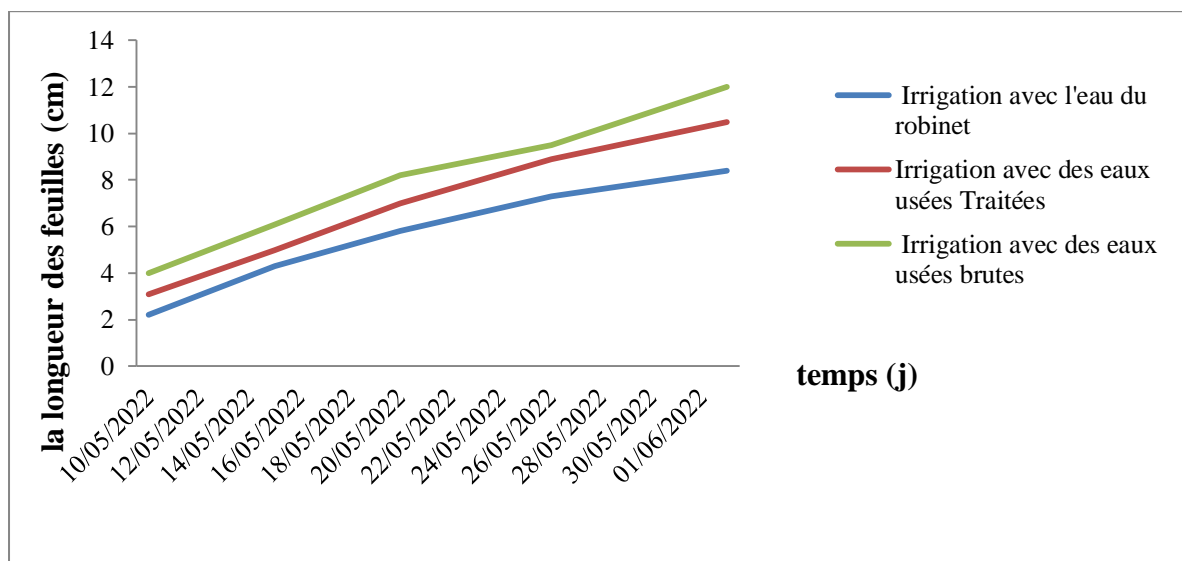
l'eau d'irrigation temps	Irrigation avec l'eau du robinet	Irrigation avec des eaux usées Traitées	Irrigation avec des eaux usées brutes
2022/05/10	0.5	0.6	0.9
2022/05/15	0.9	1.2	1.8
2022/05/20	1.5	1.8	2.8
2022/05/26	2	2.5	3.9
2022/06/02	2.5	3	5

**Figure 18: variation de la longueur du système racinaire en fonction du temps**

Nous remarquons que la croissance des semis de blé est bonne dans le sol irrigué par les eaux usées brute et les EUT ou la croissance maximal du système racinaires des semis jusqu'à 05 cm pendant une période d'un mois par contre au sol irrigué par l'eau de robinet nous remarquons une croissance faible du système racinaires avec une longueur max de 2.5 cm pendant la même période.

**Tableau 10:** La longueur des feuilles (en cm)

l'eau d'irrigation temps	Irrigation avec l'eau du robinet	Irrigation avec des eaux usées Traitées	Irrigation avec des eaux usées brutes
2022/05/10	2.2	3.1	4
2022/05/15	4.3	5	6.1
2022/05/20	5.8	7	8.2
2022/05/26	7.3	8.9	9.5
2022/06/02	8.4	10.5	12

**Figure 19 :** variation de la longueur des feuilles en fonction du temps

Nous remarquons que la croissance des semis de blé est bonne dans le sol irrigué par les eaux usées brute et les EUT ou la longueur des feuilles des semis jusqu'à 12 cm pendant une période d'un mois par contre au sol irrigué par l'eau de robinet nous remarquons une croissance faible de longueur des feuille de 8.4 cm pendant la même période.

Donc la croissance du blé est bonne dans les sols irrigués avec des eaux usées brutes et des eaux usées traitées, où la croissance de la tige, des racines et des feuilles est importante en raison de l'enrichissement du sol en minéraux et matières organiques.

L'irrigation par les eaux usées épurées présente des effets positifs sur la richesse du sol en éléments fertilisants (Zeghdani Z, et al. 2018). L'azote minéral apporté via les eaux usées montre différents comportements selon le type de sol irrigué. Le sol de la serre expérimentale, est composé de plusieurs fractions dominées beaucoup plus par du limon et de sable, c'est donc une texture limono sableux. Dans les sols naturellement pauvres en azote, l'irrigation a entraîné, tout d'abord, l'enrichissement du sol en ammonium et en nitrate. (Hannachi A. et

*al. 2016*). Les EUT présente un effet négatifs à savoir la salinisation des horizons de surface de sol et l'influence sur les propriétés physico-chimiques du sol. (*Zeghdani Z, et al. 2018*)

## 2. Etude statistique

-(P1) lot est irrigué par l'eau de robinet

-(p2) lot est irrigué par l'EUT

-(p3) lot est irrigué par l'EUB

### 2.1. Analyse de variance:

#### 2.1.1. La variance de la hauteur de la plante

**Tableau 11:** La variance de la hauteur de la plante

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
P1	5	18	3,6	7,3
P2	5	22	4,4	15,8
P3	5	24	4,8	19,7

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	3,73333333	2	1,86666667	0,13084112	0,87859177	3,885293835
A l'intérieur des groupes	171,2	12	14,2666667			
Total	174,933333	14				

A travers les résultats du tableau, on constate il existe une différence significative entre les échantillons irrigués avec des eaux usées et des eaux traitées par rapport aux échantillons irrigués avec de l'eau du robinet pour la hauteur des plantes.

### 2.1.2. La variance de la longueur du système racinaire

Tableau 12 :La variance de la longueur du système racinaire

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
P1	5	9	1,8	0,7
P2	5	10	2	1
P3	5	12	2,4	2,8

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,9333333 3	2	0,4666666 7	0,3111111 1	0,7383674 5	3,8852938 35
A l'intérieur des groupes	18	12	1,5			
Total	18,9333333 3	14				

D'après les résultats du tableau, on peut voir qu'il existe une différence significative entre les échantillons irrigués avec des eaux usées et de l'eau traitée par rapport aux échantillons irrigués avec de l'eau du robinet en ce qui concerne la longueur du système racinaire.

### 2.1.3. La variance de la longueur des feuilles

Tableau 13:La variance de la longueur des feuilles

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
P1	5	26	5,2	5,7
P2	5	33	6,6	7,3
P3	5	39	7,8	9,2

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
<b>Entre Groupes</b>	16,9333333 3	2	8,4666666 7	1,1441441 4	0,3509184 9	3,8852938 3
<b>A l'intérieur des groupes</b>	88,8	12	7,4			
<b>Total</b>	105,733333 3	14				

D'après les résultats du tableau, on peut voir qu'il existe une différence significative entre les échantillons irrigués avec des eaux usées et de l'eau traitée par rapport aux échantillons irrigués avec de l'eau du robinet en ce qui concerne la longueur des feuilles.

### 3. Impacts sur les différentes propriétés du sol

Avant d'envisager l'infiltration EUT, il est nécessaire d'évaluer les effets possibles d'une telle infiltration sur les sols. Pour ce faire, nous allons essayer de répondre aux questions suivantes:

- Quels phénomènes de dégradation des sols peuvent être observés ?
- Comment ces phénomènes impactent-ils les propriétés du sol ?
- Quelle est l'importance de la composition des EUT utilisées ?
- Y-a-t-il également d'autres impacts positifs ou négatifs identifiables?

Pour répondre à toutes ces questions, il faut d'abord étudier les différents phénomènes observés et associés à l'irrigation par les EUT.

#### 3.1. Phénomènes observés sur le sol

##### 3.1.1. Le colmatage

Le colmatage est un phénomène qui provoque la formation d'une couche de sédiments superficiels et altère la texture et la structure du sol dans le premier centimètre du sol.

Nos échantillons ont montré que les sols irrigués avec des eaux usées et irrigués avec de l'eau traitée développaient une couche blanche en surface, indiquant des changements dans les propriétés du sol en termes de structure et de texture.

Le biocolmatage se produit lorsque des micro-organismes (cyanobactéries, algues, etc.) contenus dans l'eau se développent dans les pores du sol et forment ce que l'on appelle des "biofilms".

Les blocages physiques sont causés par l'accumulation de matières en suspension MES dans l'eau qui s'infiltrent dans le sol ou par compactage sous l'action d'une charge d'eau appliquée au sol. Les particules fines réduisent la porosité du matériau.

Dans le cas de l'infiltration EUT, ce phénomène se produit parce que ce dernier a des propriétés de colmatage, dues à la présence de la matière organiques MO.

### **3.1.2. Lessivage**

Le lessivage correspond à l'entraînement mécanique des particules fines du sol (argile) et des substances dissoutes (azote, potassium, etc.) par l'eau.

Nous montrons par des échantillons que le pourcentage de limon dans les sols irrigués avec des eaux usées et irrigués avec de l'eau usées traitée augmente en raison de la présence des matières en suspensions MES et des substances accumulées dans l'eau pas de changement significatif par rapport au sol irrigué à l'eau du robinet.

### **3.1.3. Teneur en matière organique**

Cependant, certaines études suggèrent que l'augmentation de la MO est temporaire car elle est rapidement minéralisée par les micro-organismes du sol. Le changement de la teneur en MO est d'une grande importance pour le traitement des polluants pour les eaux usées épurées.

À partir d'une étude d'échantillons irrigués avec des eaux usées et irrigués avec de l'eau épurées, nous avons constaté que le blé y poussait bien par rapport aux échantillons irrigués avec de l'eau du robinet, en raison de l'augmentation de la matière organique.

### Conclusion générale

La région d'étude Kais se situe dans un bassin versant endoréique au nord-est de l'Algérie. Elle est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver frais et humide.

Cette étude montre l'effet de l'irrigation avec des eaux usées traitées biologiquement provenant d'une station d'épuration de la commune Kais de la wilaya de Khenchela sur le comportement du blé dur « *Triticum durum* Desf. ».

Les résultats des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brute et les eaux usées épurées sont très riches en matières en suspension, matière organique et en éléments fertilisants.

Les résultats ont montré :

- ✓ L'effet des eaux usées sur la culture du blé dur est remarquable, donc les eaux usées ont permis une augmentation du rendement et un bon développement végétatif de la plante, et une bonne croissance ont déjà été observés dans tous les paramètres morphologiques cela est dû aux eaux usées contenant un pourcentage élevé de matière organique (MO). Ainsi, les témoins étaient représentés par des parcelles irriguées avec de l'eau du robinet moins développées.
- ✓ Ceci montre que les eaux usées issue du traitement biologique sont riches en éléments minéraux nécessaire à la croissance des plantes.
- ✓ L'utilisation d'eaux usées traitées peut avoir un certain nombre d'effets sur les propriétés du sol, de sorte que le colmatage et le lessivage sont des phénomènes provoqués par l'utilisation des eaux usées épurées qui peuvent conduire à un déséquilibre dans la structure et la texture du sol et donc à l'appauvrissement du sol.
- ✓ Les eaux usées brutes présentent une qualité biologique médiocre pour être utilisées en agriculture.
- ✓ Les eaux usées constituent une ressource importante, mais leur valorisation doit être réalisée en tenant compte des effets sur le sol, et sur la santé humaine.
- ✓ Il semblerait que les EUT aient davantage d'impact sur les propriétés du sol (porosité, pH, CE, teneur en MO) et sur sa macrofaune que sur ses microorganismes. En effet, ceux-ci semblent avoir la capacité à s'adapter, et aucune modification dans leur

## Conclusion et perspectives

nombre et leur diversité n'aurait lieu. On peut donc supposer que leur capacité de traitement des EUT n'est pas significativement modifiée.

L'irrigation par les eaux usées épurées présente des effets positifs sur la richesse du sol en éléments fertilisants.

### **Perspectives :**

Le but serait de proposer des solutions spécifiques aux EUT pour :

- Minimiser la dégradation du sol en place (, colmatage, lessivage ....ect).
- Limiter l'impact potentiel généré sur le sol d'un point de vue de la biodiversité microbienne (diversité des espèces présentes).

A terme, trouver un équilibre entre performances de traitement et maintien des fonctionnalitésdes sols.

## Références bibliographiques

### (A)

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

**Andreozzi R., Raffle M. and Nicklas P. 2003**, Pharmaceuticals in STP effluents and solar photodegradation in aquatic environment, *Chemosphere*, 50, 1319–1330.)

**ARAGNO M, GOBAT. JM.MATTHEY W. 2003**.Le sol vivant, base pédologie /Biologie des sols. 2ed, imprimé en France, 568 p.

**Asano T. (1998)**, Wastewaterreclamation and reuse. Water quality management library, 1475 pages.

**AUBERT G.1950**.les sols des régions semi- arides d'Afrique el leur mise en valeur-in encyclopédie colonial vol.A.O.F.

**Aulicino E A., Mastrantonio A., Orsini E, Bellucci C., MuscilloM.andLarosa G. 1996**, Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. *Water, Air, and Soil Pollution* 91: 327-334.)

### (B)

**Baize, D., Sterckeman, T., 2001**, Of the necessity of knowledge of the natural pedogeochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *The Science of The Total Environment* 264 (1–2), 127– 139.)

**Baize, D. (2004)** Petit lexique de pédologie.

**Bar-On Yinon M. Bar-On, Rob Phillips, and Ron Milo, PNAS**,The biomass distribution on Earth.**2018**.

**Baumont S., Camard J.P., Lefranc. A., 2005**. « Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région-de-France.)

**Baveye, P. et al. (1998)** 'Environmental Impact and Mechanisms of the Biological Clogging of Saturated Soils and Aquifer Materials', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, pp. 123–191.doi: 10.1080/10643389891254197.

**Belgiorno V., Luigi Rizzo, DespoFatta, Claudio Della Rocca, GiusyLofranoa, Anastasia Nikolaou, Vincenzo Naddeo, SureyyaMeriç (2007)**, Review on endocrine disruptingemerging compounds in urban wastewater: occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. *Desalination* 215 166–176

**Benabdeli K, 2005.** 50 Connaissances pour préserver l'environnement. Organisation de recherche sur les Milieux et l'Environnement. 51p. thème master « impact des eaux usées épurées sur la fertilité phospho-azotée des sols à Ouargla ; université kasdimerbah Ouargla P 146.

**Benchetrit Maurice 1956.** Les sols d'Algérie. In : *Revue de géographie alpine*, tome 44, n°4. pp. 749-761.

**Bixio D., De Heyder B., Chikurel H., Muston M., Miska V., Joksimovic D., Schäfer A.I., Ravazzini A., Aharoni A., Savic D. and Thoeye C. (2005),** Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and management practice. *Wat. Sci. Tech.: Wat. Supply*, 5(1) 77–85.

**Bixio D., Thoeye C., Wintgens T., Ravazzini A., Miska V., Muston M., Chikurel H., Aharoni A., Joksimovic D., Melin T. (2008),** Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination* 218, 13–23

**Blanc R. and Nasser A. (1996),** Effect of effluent quality and temperature on the persistence of viruses in soil. *Water Science and Technology*, Volume 33, Issues 10-11, 237-242)

**Bontoux J, 1993.** introduction à l'étude des eaux douces. Eaux naturelle, eaux usées, eaux de boisson : qualité et santé. 2eme Edition : Lavoisier techniques et documentation. Paris. 163p.

**Bontoux L. (1997),** Municipal wastewater, public health and environment. Institute for Prospective Technological Report, octobre, 18, 6 pages

**Boutebba Inès damia, 2022** thème de master 2 Aptitude à l'irrigation des eaux usées traitées par la station d'épuration de la commune de Kaiswialaya de Kenchela.

**Boutin, C. et al. (2019)** Les zones de rejet végétalisées : analyse du fonctionnement et aide à la conception et à l'exploitation.

(C)

**CALLOT G. 1981.** Les interactions sol – racine, incidences sur la nutrition minérale. Ed. INRA, Paris, 305 p.

**Communiqué de presse ESA, 20 février 2017,** ESA affirms open access policy for images, vidéos and data

**Campos C. (2008),** New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. *Desalination* 218, 34–42)

**Conseil de l'Europe (1976)** 'Charte européenne des sols', *Revue Juridique de l'Environnement*, n°34, pp. 421–424.

## (D)

**Dalloni, Géologie appliquée**, op. Cit., p. 730-862, **et J.-H. Durand**, Les sols d'Algérie, op. Cit., p. 137-153.1953

**(D.H.W.K.1984)** Schéma directeur de planification et d'aménagement .direction de l'hydraulique de la wilaya de khenchela

**DISE (2009)** Aires d'infiltration des stations d'épuration : guide de conception et de gestion.

**Djedidi, N. and Hassen, A. (1991)** 'Propriétés physiques des sols et pouvoir colmatant des eaux usées en fonction de leur degré de traitement', Cah. ORSTOM, XXVI(1), pp. 3–10.

**Djeddi H., 2007:** Vilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. MémMagistère.UniversitéMentouri Constantine.144p

**Dockrill, Peter (11 December 2018).** "Scientists Reveal a Massive Biosphere of Life Hidden Under Earth's Surface". Science Alert. Retrieved 11 December 2018

## (E)

**Ecosse D., (2001)**, Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences Amiens, 62 p.

**El Titi A. 2003a.** Soil tillage in agroecosystems.CRC Press, New-York (USA).

**ESA (2010)**, New borealforestbiomassmapsproducedfrom radar satellite data , communiqué du 25 mars 2010.

## (F)

**Faby J.A., Brissaud F. (1997)**, L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.

**FAO (2003)**, L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. pp 73

**Franck R., 2002.** « Analyse de l'eau : « Aspects réglementaires et techniques ». Ed. Collection biologie technique.)

## (G)

**Gabbatiss, Josh (11 December 2018).** "Massive 'deep life' study reveals billions of Tonnes of microbes living far beneath Earth's surface". The Independent. Retrieved 11 December 2018

**Gennaccaro A.L., McLaughlin M.R., Quintero-Betancourt W., Huffman D.E., Rose J.B., (2003),** Infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in final reclaimed effluent. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 4983–4984.)

**G. Gaucher,** La classification des sols..., op. Cit.

**Gobat, J.-M., Aragno, M. and Matthey, W. (2010)** Le sol vivant : bases de pédologie - Biologie des sols.

**Gomella C et Geurree H, (1983).** Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales, Tome 2, Edition : Ayrolles, Paris (France)

**Gonzalez-Merchan, C. (2012)** ‘Amélioration des connaissances sur le colmatage des systèmes d’infiltration d’eaux pluviales’, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Thèse, p. 298.

**Grégory vacher 2022,** <http://fr.db-city.com/>

#### (H)

**Hannachi.A et al. (2016)** : Essai de valorisation des eaux usées traités en culture hydroponique.

**Halliwell D.J., Barlow K.M. et Nash D.M., (2001),** A review of the effects of wastewater sodium on soil properties and their implications for irrigation systems. *Aust. J. Soil Res.* 39,1259–1267.

**Hamoda M.F. (2004),** Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. *Desalination* 165, 31-41

**Hamon, R. E., M. J. McLaughlin, R. J. Gilkes, A. W. Rate, B. Zarcinas, A. Robertson, G. Cozens, N. Radford, and L. Bettenay (2004),** Geochemical indices allow estimation of heavy metal background concentrations in soils, *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB1014.)

**Heidarpour H., Mostafazadeh-Fard B., Abedikoupai J., Malekian R., (2007),** The effect of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management* 90, 87 – 94

**Herpin U., Gloaguen T. V., da Fonseca A. F., Montes C. R., Mendonça F. C., Piveli R. P., Breulmann G., Forti M. C. Et Melfi A. J., (2007),** Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation- A pilot field study in Brazil. *Agricultural Water Management* 89, 105 – 115.

**HENIN S, GRAS R, MONNIER G. 1969.** Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed. Masson et Cie, Paris, 332p.

**Hannachi A. et al(2016).** *Revue Agriculture.* 40 – 46

**Hentati, O. et al. (2014)** ‘Effects of long-term irrigation with treated wastewater on soil quality, soilborne pathogens, and living organisms: Case study of the vicinity of El Hajeb (Tunisia)’, *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), pp. 2671–2683. doi: 10.1007/s10661-013-3570-z.

**Horckmans, L., Swennen, R., Deckers, J., Maquil, R., (2005)**, Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg. *Catena* 59 (3), 279–304.)

(I)

**INSA, (2005-2006)** Institut national des sciences appliquées de Toulouse Département de sciences et technologies pour l'ingénieur.

**IP J.-H. Durant**, Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes eu Algérie (Alger, 1953) ; compte rendu dans la Revue de Géomorphologie dynamique, 1953, n° 5.

(J)

**Jens Kallmeyer, Robert Pockalny, Rishi Ram Adhikari, David C. Smith & Steven D’Hondt, 2012)** « Global distribution of microbial abundance and biomass in sub seafloor sediment »

**Journal Officiel De La République Algérienne N° 41**

**Journal Officiel De La République Algérienne 2005(JORA. 2005)**

**Journal Officiel De La République Algérienne 2007(JORA. 2007)**

**Journal Officiel De La République Algérienne 2012(JORA. 2012)**

(K)

**KhennoufaA ;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 EchahidHamma Lakhdar -El OUED 78p.

**Kimura K., Toshima S., Amy G., Watanabe Y. (2004)**, Rejection of neutral endocrine disrupting compounds (EDCs) and pharmaceutical active compounds (PhACs) by RO membranes. *Journal of Membrane Science* 245, 71–78)

**Klay, S. et al. (2010)** ‘Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia)’, *Desalination. Elsevier B.V.*, 253(1–3), pp. 180–187. doi: 10.1016/j.desal.2009.10.019.

(L)

**LAI D BOUCHAALAL, (2017)** RessourcesHydriques :Traitement Et Reutilisation Des EauxUsees En Algerie Water Resources Treatment And Reuse Of Wastewater In Algeria **Article** · May 2017)

**Leone A.P., Menenti M., Buondonno A., Letizia A., Maffei C., Sorrentino G. (2007),** A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity; *Agricultural Water Management* 89 39 – 48

**Lucien Laubier, *Biologie et écologie des sources hydrothermales*, CNRS, 1988, p. 17**

(M)

**Mantinelli I. (1999),** Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluant associés dans le sol urbain. - vers une approche globale et pluridisciplinaire. Thèse doctorat de l'INSA de Lyon, N° d'ordre : 99 ISAL 116, pp192

**Magesan G.N., Williamson J.C., Yeates G.W. et Lloyd-Jones A.Rh. (2000),** Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery *Bioresource Technology* 71, 21-27

**Mapanda F., Mangwayana E.N., Nyamangara J. et Giller K.E., (2005),** The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107 151–165

**MATHIEU, C. PIELTAIN, F.** Analyse chimique des sols méthodes choisies. Editions Tec et Doc/Lavoisier, Paris, 408 p. 2003.

**Metcalf and Eddy, 1979.** Wastewater Engineering. Treatment/Disposal/Reuse (2nd Ed.). Montréal: McGraw-Hill.

**Miyamoto S. et Chacon A. (2006),** Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water II. Soil factors. *Landscape and Urban Planning* 77, 28–38

**Miyamoto, S. and Chacon, A. (2006)** 'Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water. II. Soil factors', *Landscape and Urban Planning*, 77(1–2), pp. 28–38. doi: 10.1016/j.landurbplan.2004.12.011.

**Mizi A, 2006.** Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.

**Mkhinini, M. et al. (2019)** 'Effect of treated wastewater irrigation in East Central region of Tunisia (Monastir governorate) on the biochemical and transcriptomic response of earthworms *Eisenia andrei*', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 647, pp. 1245–1255. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.449.

**Morvannou, A. and Forquet, N. (2019)** 'Projet ROSEEV : Role du Sol dans les zones de rejets'.  
**Moussaoui. Et Benhabib.A; 2015** : LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITÉES ET L'AGRICULTURE ; Les entreprises familiales comme une alternative de développements en Algérie. Et Végétalisées Devenir du phosphore et colmatage'.

**MRE, 2003.** Le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des Ressources en eaux.

**RE 2012.** Enquête : Actualisation de l'inventaire du réseau national d'assainissement. 2012.

(O)

**OADES J.M. 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56, 377-400.

**OMS (1989),** L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandation visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève

**OMS (2006),** WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, pp 222

**ONA Khenchela 2022**

**OORTS K. 2006.** Effect of tillage system on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France, PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris

**Ouali M S, 2001.** Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Office des publications universitaires 1. Place central de ben- Aknon (Alger) .p.p :12-156.)

(P)

**Peasey A., Blumenthal U., Mara D., Ruiz-Palacios G., (2000),** A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. WELL Study, <http://www.iboro.ac.uk/well/>.

**PhilippeBehra, 2013.** Chimie et environnement Dunod, paris, 2013. 96p-97p.

**Potelon J.L.1998.**le guide des analyses de l'eau potable, univ de l'isère.Ed.la lettre du cadre territorial.81- 85p.

(R)

**Ramirez-Fuentes E., Lucho-Constantino C., E. Escamilla-Silva et L. Dendooven (2002),** Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time; *Bioresource Technology* 85, 179–187

**Ranjard, L. (2017)** 'La qualité microbiologique des sols agricoles'.

**Rattan R.K., Datta S.P., Chhonkar P.K., Suribabu K., Singh A.K. (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* 109, 310–322

**Raven, Jhonson, Losos, Singer, Biologie, Éd.de Boeck, 1250 pages, glossaire 2020**

**Regsek F. 2002.** « Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique » Edition screrén CRDPA quitaine ; Bordeaux. 328p.)

**Richarede C. 1996.** « Les eaux, les bactéries ; les homes et les animaux ». Edition Elsevier ; Paris.138p.)

**Rodier, J. 1996.** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris. 1384 p.

**Rodier, J. (2009).** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, 9ième Edition : Dunod, Paris(France)

(S)

**Sheikh B., Cooper R.C., Israel K.E. (1999),** Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops – a case study. Water Science and Technology, 40 (4-5): 261-267.

**Solis C., 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 B 241, 351–355

**Suschka Ferreira E.1986.** Activated sludge respirometric measurements, Water research, 1986, 137-144p.

**Station d'épuration des eaux usées de la commune Kais wilaya de khenchela(STEP Kais, 2022)**

(T)

**Taradat M H, 1992,** Chimie des eaux. Première, le griffon d'argile Inc., canada 537 p.

**Toze, S., (1999),** PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters. Water Res. 33, 3545–3556. Tunis, Tunisie. Veg (12).p 159-173)

**Toze S. (2006),** Reuse of effluent water—benefits and risks; Agricultural Water Management 80, 147–159)

(V)

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

**Villagra P.E. etCavagnaro J. B. (2005),** Effects of salinity on the establishment and early growth of *Prosopisargentina* and *Prosopisalpataco*seedlings in two contrasting soils: Implications for their ecological success. Austral Ecology 30, 325–335

(W)

**Wang, H. et al. (2015)** ‘A modified BAF system configuring synergistic denitrification and chemical phosphorus precipitation: Examination on pollutants removal and clogging development’, *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 189, pp. 44–52. doi: 10.1016/j.biortech.2015.03.132.

**Whitman WB, Coleman DC, Wiebe WJ**, « Prokaryotes: *the unseen majority* », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 95, n° 12, juin 1998, p. 6578–83

(Y)

**Yadav RK, Goyal B, Sharma RK, Dubey SK et Minhas PS. (2002)**, Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and groundwater—A case study. *Environmental International* 28 : 481–486

**Young I.M., Blanchart E., CHENU C., DANGERFIELD M., FRAGOSO C., GRIMALDI M., INGRAM J. ET MONROZIER L.J. 1998.** The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology*, 4, 703-712.

**Yong, C. F., McCarthy, D. T. and Deletic, A. (2013)** ‘Predicting physical clogging of porous and permeable pavements’, *Journal of Hydrology*, 481, pp. 48–55. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.12. 09.

(Z)

**Zekri S., Ghezal L., Aloui T., Djebbi K. (1997)**, Les externalités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture ; *Options Méditerranéennes, Série A / n °31*

**Zeghdani Z, et al. 2016.** Aptitude des eaux épurées de la STEP de Khenchela à l'irrigation, Université AbbèsLaghrouKhenchela. pp- 42.

**Zouaoui, A. 2008.** Evaluation de l'aptitude culturale pour le blé dur et l'orange des terres des Hautes Plaines Constantinoises (thèse de doctoral). Institut Nationale d'Agronomie, Al Harrach, Algérie.

