



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DÉPARTEMENT DE SCIENCES AGRONOMIQUES

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

Pour l'obtention du diplôme de master en agronomie

Option: gestion durable de l'environnement.

***Thème***

**Effets de l'irrigation par les eaux usées  
domestiques traitées sur la fertilité des sols**

**Présente par:**

Krouchi chafika

**Jury:**

Benkhelifa Mohammed	Pr	président	Université de Mostaganem
Kradia Laïd	CR	Examineur	INSID – El matmar
Nemmiche Saïd	MCA	Encadreur	Université de Mostaganem

**Année universitaire**

2015 / 2016

# REMERCIEMENT

*Avant tout je remercie **DIEU Allah** qui m'a donné la force et le courage pour réaliser ce modeste travail.*

*Mes vifs remerciements à **Mr Nemmiche S** directeur de mémoire, pour sa gentillesse, sa disponibilité et les judicieux conseils qu'il n'a jamais cessé de me prodiguer tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Je remercie également aux membres de jury **Mr Kradia** et **Mr Benkhalifa M**.  
Pour m'avoir fait l'honneur de bien vouloir d'examiner ce travail.*

*Mes remerciements vont aussi à **Mr Abed Elnabi**. et à mesdemoiselles **Fouzia, Mariam, Karima** techniciennes de laboratoire à l'INSID ainsi qu'au personnel de la station d'épuration des eaux usées d'El bayadh notamment à Messieurs **Boudouaoui Y. Dahmani S. Marouf T**.*

*Ainsi à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation et à tous mes amis.*

*Enfin je remercie vivement toutes personnes qui, de près ou de loin ont aidé de réaliser ce modeste travail.*

**KROUCHI Chafika**

# DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail a :

Mes très chers parents, pour tous les sacrifices et toutes les peines qu'ils ont  
consente pour m'avoir éduqué et instruit que dieu gardes

Merci Papa, merci Maman

Mes très chères sœurs: Wafaa et Fatima Zahra

Toute ma famille krouchi et hasnaoui

Tous mes amis

*KROUCHI Chafika*

## المخلص

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير مياها الصخرية الصخرية على صحة الإنسان.

أجريت هذه الدراسة في محطة تصفية المياه المبتدئة لتوليد مياه شرب في بلدة عمالون من هالاسقي مياها الصخرية الصخرية المثلجة و مياه صلالح الشرب في عينات الهطاطا بعد إجراء لبيسة من الاختبارات على التربة المبتدئة لتبين لهي وجود تباين من طرف مياها السقي في معظم ضاى ص التربة وهي درجة الحموضة، لى القلوية الهربطية والعنصر المغمغ في تفل سفور و الأزوت، والكتيون انتقال لى لى لى بان وفي نهة هذه الديل هى بدو أن مياها الصخرية الصخرية المثلجة و مياه الصلالح الشرب هلتقى في حرسن خواص التربة، من مواد مغمغة.

وفقاً للنتائج المسجلة لاطنا :

- نى انقى معدل الموالى عضوى في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب4411% و مياه الصلالح الشرب ب4411% ؛

- مضموى الأزوت في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب4,1% و مياه الصلالح الشرب ب4,1% ؛

- مستوى انفىوسفور المغمغ في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب304,6% و مياه الصلالح الشرب ب36431% ؛

ببى انقى مغمغ مغمغ قنسة 416 لى مياها المثلجة و 434 لى مياه الصلالح الشرب ؛

ببى انقى لى القلوية الهربطية في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب4,6 دس/سم و مياه الصلالح الشرب ب4,1 دس/سم ؛

- مضموى مغمغة من الكتيون انتقال لى لى لى بان الصوم والكتواسيوم : الصوم وكتنسى في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب400, مغمغ افئ / 4, و مياه الصلالح الشرب ب464, مغمغ افئ / 4, غ أم الكتواسيوم وكتنسى في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب4, مغمغ افئ / 4, غ و مياه الصلالح الشرب ب414, مغمغ افئ / 4, غ.

عد درنات الهطاطا هو 31 دنة معال وزن اللئي 072 غ وتمس ططرها حولي 30.1 س في التربة المروى قبل مياها المثلجة وكتنسى في التربة المروى قبل مياها المثلجة ب37 ال درنات وتمس ططرها 30.1 سم.

لكلمات البحث : مياه مغمغة مثلجة , مياه الصلالح الشرب , خصوبة , خصائص فيزيائية و كيميائية.

## Résumé

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet de l'irrigation par les eaux usées domestiques traitées sur la fertilité du sol.

Nous avons mené cette étude dans la station d'épuration des eaux usées domestiques d'El Bayadh. Au cours de cette étude, nous avons expérimenté deux types d'eau d'irrigation, à savoir l'eau traitée et l'eau potable sur une culture en pots de pomme de terre.

Les résultats montrent un effet par les eaux usées traitées et l'eau potable sur la majorité des propriétés du sol, à savoir le pH, la CE, les cations échangeables (sodium et potassium) et les éléments nutritifs (phosphore et azote). Il semble que les eaux utilisées à l'irrigation (EUT, EP) ont un effet améliorant sur les propriétés du sol, et sur leur richesse en éléments fertilisants.

D'après les résultats enregistrés, nous avons remarqué :

- Une augmentation du taux de matière organique dans les sols irrigués avec EUT de 1.44 % ; EP de 1.47 % ;
- Un taux d'azote total dans les sols irrigués avec EUT de 0.07 et pour EP de 0.07(%)
- Un taux de phosphore assimilable dans les sols irrigués avec EUT de 68.03 mg/kg et EP de 63.97 mg/kg ;
- Une augmentation du pH, dans les sols irrigués avec EUT de 7.73, EP de 7.61 ;
- Une augmentation de la conductivité électrique dans les sols irrigués avec EUT de 0.23 ds/cm; EP de 0.27 ds/cm
- Une augmentation de la teneur des cations échangeables (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) dans les sols irrigués avec EUT de K<sup>+</sup>= 0.20 méq /100g, Na<sup>+</sup>= 0.55 méq /100g ; EP de K<sup>+</sup>= 0.41 méq /100g Na<sup>+</sup>= 0.31 méq /100g

Le nombre de tubercules de pomme de terre récoltés (annexe ) est de 13 tubercules avec un poids total de 270 g et un diamètre moyen de l'ordre de 12.5 cm pour les sols irrigués par EUT par contre pour les sols irrigués par l'eau potable, la quantité récoltée était de 428.50 g pour 17 tubercules et un diamètre moyen de 12.5 cm.

**Mots clés :** Eaux usées traitées, eaux potables, fertilité, paramètres physico-chimiques.

## Summary

This work aims to study the effect of irrigation by the treated domestic wastewater on soil fertility.

We conducted this study in the treatment plant domestic wastewater from El Bayadh. In this study, we have experienced two types of irrigation water, namely water and treated drinking water on a culture potato pots.

The results show an effect by the treated wastewater and drinking water to the majority of soil properties, namely pH, EC, exchangeable cations (sodium and potassium) and nutrients (phosphorus and nitrogen). It seems that the water used for irrigation (EUT, EP) have an enhancing effect on soil properties, and their wealth of nutrients.

According to the recorded results, we noticed:

- An increase in the rate of organic matter in soils irrigated with EUT 1.44%; EP de1.47%;
- A total nitrogen content in soils irrigated with EUT 0.07 and 0.07 EP (%)
- An available phosphorus levels in soils irrigated with EUT of 68.03 mg / kg and EP of 63.97 mg / kg;
- An increase in the pH in soils irrigated with EUT de7.73, EP de7.61;
- An increase in electrical conductivity in soils irrigated with EUT 0.23 ds / cm; EP 0.27 ds /cm
- An Increase in the content of exchangeable cations (Na +, K +) in irrigated soils with EUT K + = 0.20 mEq / 100g, Na + = 0.55 mEq / 100g; EP K + = 0.41 meq / 100g Na + = 0.31 meq / 100g

The number of potato tubers harvested (annex) is 13 tubers with a total weight of 270 g and an average diameter of about 12.5 cm in irrigated soils by EUT with cons for soil irrigated by water drinking, the amount collected was 428.50 g for 17 tubers and an average diameter of 12.5 cm.

Keywords: treated waste water, drinking water, fertility, physical and chemical parameters.

## **Liste des abréviations**

**CE** Conductivité électrique

**CEC** Capacité d'échange cationique

**DBO5** Demande Biochimique en Oxygène

**DCO** Demande chimique en oxygène

**EU** Eaux usées

**EUE** Eaux usées épurées

**EUT** Eau usée traité

**FAO** Food and Agriculture Organisation

**MES** Matières en suspension

**MO** Matière organique

**MS** Matière séché

**MVS** Matière volatile en suspension

**Na** Sodium

**NO3-N** Nitrate

**N P K** Azote phosphore potassium

**OMS** Organisation Mondiale de la Santé

**ONA** Office national de l'assainissement

**PH** Potential Hydrique

**USAID** United states agency of internationl developmment

**USEPA** United states environnemental

**REUE** Réutilisation des eaux usées épurées

**SAR** Ratio du Sodium Absorbable

**Step** Station d'épuration

**%** Pourcentage

**Kg** Kilogramme

**g/l** Gramme sur litre

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : La réglementation algérienne.....	11
<b>Tableau 02</b> : Limites de concentration pour des métaux en eau usée traitée pour l'irrigation continue .....	12
<b>Tableau 03</b> : Prétraitement exigé avant d'appliquer un procédé biologique.....	19
<b>Tableau 04</b> : Dispositif expérimental.....	40
<b>Tableau 05</b> : résultats de texture des sols non irrigue.....	53
<b>Tableau 06</b> : résultats de texture des sols irriguée par l'eau traitée.....	53
<b>Tableau 07</b> : résultats de texture des sols irriguent par l'eau potable.....	53

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : bacs irrigué par l'eau potable.....	30
<b>Figure 02</b> : bacs irrigues par l'eau traité.....	31
<b>Figure 03</b> : spectrophotomètre (DR 3900).....	32
<b>Figure 04</b> : DBO mètre .....	33
<b>Figure 05</b> : filtre sous vide.....	34
<b>Figure 06</b> : PH mètre .....	35
<b>Figure 07</b> : conductimètre.....	35
<b>Figure 08</b> : turbidimètre.....	35
<b>Figure 09</b> : localisation de laboratoire de l'INSID.....	37
<b>Figure 10</b> : l'étape de séchage.....	37
<b>Figure 11</b> : l'étape de broyage.....	37
<b>Figure 12</b> : l'étape de tamisage.....	37
<b>Figure 13</b> : pipette de robinson.....	39
<b>Figure 14</b> : spectrophotomètre UV.....	43
<b>Figure 15</b> : pH mètre.....	44
<b>Figure 16</b> : conductimètre.....	44
<b>Figure 17</b> : spectrophotomètre à flamme.....	46
<b>Figure18</b> : Evolution de pH de l'eau traitée et brute.....	48
<b>Figure 19</b> : Evolution de pH de l'eau potable .....	48
<b>Figure20</b> : Evolution de la conductivité électrique de l'eau traitée et brute.....	48
<b>Figure 21</b> : Evolution de la conductivité électrique de l'eau potable.....	49
<b>Figure 22</b> : Evolution de la MES de l'eau traitée et brute .....	49

<b>Figure23</b> : Evolution de la turbidité de l'eau traitée et brute.....	51
<b>Figure24</b> : Evolution de la turbidité de l'eau potable.....	51
<b>Figure 25</b> : les valeurs de paramètre DBO5 de l'eau traitée et brute .....	52
<b>Figure26</b> : valeurs de paramètre DCO de l'eau traitée et brute.....	52
<b>Figure 27</b> : teneur de carbone organique du sol.....	55
<b>Figure28</b> : Evolution du taux de matière organique du sol.....	55
<b>Figure 29</b> : Evolution du teneur de l'azote total .....	55
<b>Figure 30</b> : Evolution de phosphore assimilable.....	57
<b>Figure 31</b> : Evolution de calcaire totale de sol.....	57
<b>Figure32</b> : Evolution de pH du sol.....	57
<b>Figure 33</b> : Evolution de la CE du sol.....	59
<b>Figure 34</b> : Evolution de potassium du sol .....	59
<b>Figure 35</b> : Evolution de sodium du sol .....	59

# Sommaire

## 1<sup>ère</sup> Partie: partie bibliographique

### Introduction.....01

### Chapitre1 : généralité sur les eaux usées

1. nature et origine.....	02
1.1 Définition des eaux usées.....	02
1.2 Les eaux usées domestiques.....	02
1.2.1 Eaux de cuisine.....	02
1.2.2 Eaux de buanderie.....	02
1.2.3 Eaux de salles de Baines.....	02
1.2.4 Eaux de vannes.....	02
1.3 Les eaux usées industriels.....	02
1.4 Les eaux usées pluviales.....	03
1.5 Les eaux de drainage.....	03
2. compositions des eaux usées.....	03
2.1 Généralité.....	03
2.2 Microorganismes.....	04
2.2.1 Les bactéries.....	04
2.2.2 les virus.....	04
2.2.3 Les protozoaires.....	05
2.2.4 Les helminthes.....	05
2.3 Éléments traces t métaux lourds.....	06
2.4 Matière en suspension et matière organique.....	06
2.5 Éléments toxiques organiques.....	06
2.6 Substances nutritives.....	07
3. réutilisation des eaux usées traitées.....	08

3.1 Généralités.....	08
3.2 Bilan mondial.....	08
3.3 Les différentes réglementations dans le monde.....	09
3.3.1 Les recommandations de l’OMS.....	09
3.3.2 Les recommandations USEPA.....	09
3.3.3 Les recommandations de l’union européenne.....	10
3.3.4 Norme de la qualité de l’eau appliquée à l’Algérie.....	10
3.4 Évolution de la qualité de l’eau usée traitée pour l’irrigation.....	11
3.5 Domaines de réutilisations.....	12
3.5.1 Usages non potables.....	12
3.5.2 Usages potable.....	12
4. Risques associés à la réutilisation des eaux usées.....	13
4.1 Risque sanitaire.....	13
4.2 risques environnementaux.....	13
4.2.1 La salinité du sol.....	13
a- l’eau d’irrigation.....	13
b- les modes d’irrigation.....	14
c- la couverture pédologique.....	15
4.2.2 avantages environnementaux d’utilisation des eaux usées.....	15
4.2.3 Effets négatifs potentiels sur l’environnement.....	16
4.2.3.1 effets sur le sol.....	16
4.2.3.2 présences de l’eau dans les sols.....	16
4.2.3.3 effets sur les eaux soutirons.....	16
4.2.3.4effets sur les eaux superficielles.....	17
4.3 Effets de l’irrigation par les EU sur les propriétés physico-chimiques du sol.....	17
4.4 Effets de l’irrigation par les EU sur les plantes cultivées.....	17
4.5 Impacts de l’irrigation par les EU sur la nappe phréatique.....	18

5. traitement des eaux usées.....	18
5.1 Importances du traitement des eaux.....	18
5.2 procédés de traitement des eaux usées urbaines.....	18
5.2.1 Prétraitement.....	19
5.2.2 Traitement primaire.....	19
5.2.3 Traitements secondaires.....	19
5.2.4 Traitements tertiaires.....	19
5.2.5 Traitements des boues.....	19
5.2.6 Lagunage .....	20

## **Chapitre2 : la fertilité du sol**

1. concept de base.....	21
2. Les éléments les plus souvent recherchés.....	21
3. phosphore.....	21
3.1 Différents formes du phosphore.....	21
3.2 Source de phosphore.....	21
3.2.1 Sources naturelles.....	21
3.2.1.1 roches.....	21
3.2.1.2 eaux de ruissellement.....	21
3.2.1.3 déjections animales ainsi que la décomposition de la matière organique.....	22
3.2.2 Sources anthropiques.....	22
4. azote.....	22
4.1 Différents formes d'azotes.....	22
4.2 Sources de l'azote.....	22
4.2.1 Fixation symbiotique.....	22
4.2.2 Fixation non symbiotique.....	23
4.2.3 Apports par la pluie.....	23

4.2.4	Fixation de l'azote de l'air par la cellulose.....	23
5.	potassium.....	23
5.1	Les comportements du potassium dans le sol.....	23
5.1.1	Le potassium échangeable.....	23
5.1.2	Le potassium des minéraux silicates.....	24
5.1.3	Le potassium rétrogradé.....	24
5.2	Importance du potassium pour les cultures.....	24
6.	l'analyse granulométrique.....	24
7.	le calcaire.....	25
8.	les matières organiques.....	25
9.	le PH.....	25
10.	le soufre.....	25
11.	le calcium.....	26
12.	le magnésium.....	26
13.	quelques éléments dits « mineurs ».....	26
13.1	Le fer.....	26
13.2	Le cuivre.....	26
13.3	Le manganèse.....	26

## **2<sup>ème</sup> Partie: partie expérimentale**

### **Chapitre3 : matériels et méthodes**

1.	l'objectif de travail.....	28
2.	présentation de la step d'E lbayadh.....	28
3	Climat.....	28
4.	matériel végétal.....	28
4.1	Physiologie et cycle de développement de la plante cultivée.....	28
4.1.1	Le repos végétatif.....	29
4.1.2	La germination.....	29

4.1.3 La croissance .....	29
4.1.4 La tubérisation.....	29
5. protocole expérimentale.....	29
5.1 dose de l'arrosage appliquée .....	30
6. filière de traitement.....	31
6.1 Filière d'eau.....	31
6.1.1 Prétraitement.....	31
6.1.2 Bassin biologique.....	31
6.1.3 Clarificateurs.....	31
6.2 Filière de boues.....	31
7. plan d'échantillonnage et analyse.....	32
8. analyses physico-chimiques et biochimiques de l'eau.....	32
8.1 Demande chimique en oxygène DCO.....	32
8.1.1 Principe.....	32
8.1.2 Mode opératoire.....	33
8.2 Demande biochimique en oxygène DBO5.....	33
8.2.1 Principe.....	33
8.2.2 Mode opératoire.....	33
8.3 Matière en suspension MES.....	34
8.3.1 Principe.....	34
8.3.2 Mode opératoire.....	34
8.4 Potentiel hydrogène PH.....	35
8.4.1 Principe.....	35
8.5 Conductivité électrique CE.....	35
8.5.1 Principe.....	35
8.6 Turbidité.....	35
8.6.1 Mode opératoire.....	35
8.7 Analyse bactériologiques.....	36
9. présentation de laboratoire de l'INSID.....	36
10. préparation des échantillons des sols.....	37
11. granulométrie.....	37
11.1 Principe.....	37
11.2 Mode opératoire.....	38
Calcul.....	39

12. dosage de la matière organique par méthode Anne modifié.....	39
12.1 Principe.....	39
12.2 Réactifs.....	39
12.3 Mode opératoire.....	40
Calcul.....	40
13. dosage du calcaire totale.....	40
13.1 Principe.....	40
13.2 Réactifs.....	41
13.3 Mode opératoire.....	41
Calcul.....	41
14. détermination du phosphore assimilable.....	41
14.1 Principe.....	41
14.2 Préparation de solutions utilisées.....	42
14.3 Mode opératoire.....	43
Calcul.....	44
15. mesure de PH.....	44
15.1 Mode opératoire.....	44
16. mesure de la conductivité de l'extrait aqueux 1/5.....	45
16.1 Mode opératoire.....	45
17. détermination de dosage de K <sup>+</sup> et Na <sup>+</sup> par méthode de filtration CEC.....	45
17.1 Principe.....	45
17.2 mode opératoire.....	45

## **Chapitre4 : résultats et discussions**

1. résultats des analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	47
1.1 Potentiel d'hydrique.....	47
1.2 Conductivité électrique.....	47
- résultats de la conductivité électrique de l'eau potable.....	47
1.3 Résultats des analyses de la turbidité et MES.....	47
1.4 Résultats des analyses de DBO5 et DCO.....	50
- conclusion.....	50
2. analyse du sol.....	53
2.1 Résultats physiques des analyses du sol.....	53
2.1.1 La granulométrie.....	53

2.2 Résultats des analyses chimiques du sol .....	54
2.2.1 Carbone organique.....	54
2.2.2 L'azote total.....	54
2.2.3 Phosphore assimilable.....	56
2.2.4 Calcaire totale du sol.....	56
3 résultats des analyses physico-chimiques du sol.....	56
3.1 pH du sol.....	56
3.2 Conductivité électrique du sol.....	58
3.3 Les cations échangeables .....	58
4. Résultats des rendements de pomme de terre.....	58
Conclusion.....	60

## **Références bibliographique**

## **Annexe**

## Introduction

Les eaux usées traitées sont utilisées dans l'irrigation à 10 % des récoltes dans le monde, selon une première étude mondiale sur l'irrigation par les eaux usées (Scott *et al.*, 2004). Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable, et elles libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées (Papaiacovou, 2001). Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments nutritifs, notamment en azote, potassium et phosphore, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. L'utilisation des eaux usées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les zones de rejets, telles les lacs et étangs. Si cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes, elle peut être également une source de pollution. Son contenu en éléments traces organiques et métalliques et en pathogènes ainsi que sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine.

Le présent travail expérimental a pour but d'étudier l'impact de l'effet de l'irrigation par les eaux usées domestiques traitées sur la fertilité des sols. Dans cette étude, nous avons expérimenté deux types d'eau d'irrigation : l'eau usée épurée et l'eau potable.

## **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, 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 et bouchefer, 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) (Ladjel et Bouchefer, 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 (Baumout *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 le réseau 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 (Rejsek, 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 sulfates de cuivre, de composés arsenicaux destinés à la protection des vignes (Richard, 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. 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.

### **2.2.1. Les bactéries**

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées (Toze, 1999). 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> clostridiums. 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.

### **2.2.2. 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 Nasser \(1996\)](#), ont constaté que les virus sont plus persistants, à température ambiante, dans un sol irrigué par des eaux usées traitées (EUT) que certains autres bactériophages.

### **2.2.3. 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 ([Campos, 2008](#)). Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées ([Gennaccaro et al., 2003](#)). Parmi les plus importants d'un point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* ([Toze, 1997 et 2006](#)). En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires ([Campos, 2008](#)).

### **2.2.4. Les helminthes**

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs 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 ([Toze, 2006](#)). Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. 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 ([Campos, 2008](#)). 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).

### **2.3. 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) (Baize and Sterckeman, 2001; Hamon et al., 2004; Horckmans et al., 2005).

### **2.4. Matière en suspension et matière organique**

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 (FAO, 2003). 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 (FAO, 2003). 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.

### **2.5. 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 tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkylphénols (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 source potentielles de ces produits toxiques (Belgioro *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).

## 2.6. 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 Brissaud (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  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 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  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

### 3. Réutilisation des eaux usées traitées

#### 3.1. Généralités

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).

#### 3.2. Bilan mondial

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe, aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre de 1,5-1,7 millions de m<sup>3</sup> par jour dans

plusieurs pays, comme par exemple en USA, Mexique et en Chine (Lazarova et Brissaud, 2007).

### 3.3. Les différentes réglementations dans le monde

A l'échelle mondiale, il n'existe pas une réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie, géographie, du type de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays. Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel l'état de Californie, l'OMS et FAO. La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités.

#### 3.3.1. Les recommandations de l'OMS

L'OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées (WHO guidelines for the safe use of waste water, excreta and greywater), qui tiennent compte des situations locales et privilégient les moyens à prendre pour réduire au minimum les risques sanitaires posés par ces eaux. L'approche innove parce qu'elle encourage l'adoption de mesures relativement simples pour protéger la santé à tous les maillons de la chaîne alimentaire. Il s'agit d'une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs avant que les aliments irrigués au moyen d'eaux usées n'atteignent leur assiette. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants: le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d'irrigation, le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et la cuisson des produits (OMS, 2006).

#### 3.3.2. Les recommandations US EPA

L'US EPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l'US-AID (United States - Agency of International Development), ses propres recommandations sur la réutilisation des EUT, intitulées "*Guidelines for Water Reuse*". Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes. Les recommandations de l'US EPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant. Ainsi, les normes. Dans les recommandations de l'US EPA plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la demande Biologique en oxygène (DBO 5), la turbidité ou les

solides en suspension et les coliformes fécaux. Les deux recommandations (OMS et US EPA) s'opposent à plusieurs points de vue. Une des différences concerne le niveau de traitement recommandé. Il est dit dans le document de l'OMS qu'un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation, alors que l'US EPA n'évoque que des traitements de désinfection tertiaire type chloration, ozonation, etc. Les modes de contrôle varient aussi : alors que l'OMS préconise de contrôler le nombre de nématodes, l'US EPA recommande le comptage des coliformes totaux comme unique contrôle de la qualité microbiologique. En général, l'OMS est taxée d'être trop laxiste, et l'US EPA de préconiser des traitements trop chers et trop technologiques, inaccessibles aux pays en voie de développement.

### **3.3.3. Les recommandations de l'Union Européenne**

L'Union Européenne accuse un retard en termes de législation sur la réutilisation des eaux usées épurées, puisqu'elle se limite à cette phrase de l'article 12 de la directive CEE numéro 91/271 de 1991 sur les eaux usées, qui établit que "des eaux usées traitées devront être réutilisées quand ce sera approprié" (Bontoux, 1997). Cette lacune n'a pas empêché les pays membres d'adopter leur propre réglementation, sans homogénéisation à l'échelle européenne. En effet, aujourd'hui, certains pays comme l'Italie s'inspirent des normes américaines, et d'autres, comme la France, des normes de l'OMS. Les pays d'Europe qui ont une réglementation sont l'Italie, l'Espagne et la France (Junger, 2000). Certains pays tels que l'Espagne, Chypres ou l'Italie (Andreadakis et al., 2003) ont tendance à adopter des normes plus strictes que celle de l'OMS. L'Italie est le premier à avoir adopté une réglementation en 1977 qui suit dans les grandes lignes l'approche californienne. Cependant, en Sicile, une réglementation régionale, plus proche de celle de l'OMS, a été mise en place (Andreadakis et al., 2003).

### **3.3.4 Norme de la qualité de l'eau appliquée à l'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 (tableau 1).

**Tableau 1** : La réglementation algérienne (Benadbeli, 2005).

Paramètre	Normes	Paramètre	Normes	Paramètre	Normes
<b>Physico-chimiques</b>		<b>Substances toxiques</b>		<b>Autres substances</b>	
Température	< 25° C	Arsenic	0,05 mg	Fer	0,2 mg
PH	6,5 à 8,5	Cadmium	0,05 mg	Manganèse	0,05 mg
Chlorures	20 à 200 mg	Cyanure	0,05 mg	Cuivre	1 mg
Sulfates	25 à 200 mg	Chrome	0,05 mg	Zinc	5 mg
Carbonates et Bicarbonates	< 30 mg	Mercure	0,05 mg	Phosphore	5 mg
Calcium	100 à 200 mg	Nickel	0,05 mg	Argent	0,01 mg
Magnésium	30 à 50 mg	Plomb	0,05 mg	<b>Substances indésirables</b>	
Dureté totale	100 à 500 mg	<b>Substances indésirables</b>		Nitrates	25à 50 mg
Sodium	20 à 150 mg	M O	2 à 5 mg	Nitrites	0,1 mg
Potassium	10 à 12 mg			Ammonium	0,5 mg
Aluminium	0,2 mg			Azote	1 mg

### 3.4 Evaluation de la qualité de l'eau usée traitée pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques, tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques (tableau 2). La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux (Faby et Brissaud, 1997).

**Tableau 2 :** Limites de concentration pour des métaux en eau usée traitée pour l'irrigation continue (site : Medawar/publications/Expos)

Métal	Concentration (mg/l)	Méta l	Concentration (mg/l)	Métal	Concentration (mg/l)	Métal	Concentration (mg/l)
Al	5	Pb	5	Br	0,75	Co	0,05
As	0.1	Li	2,5	Cd	0,01	Cu	0,2
Be	0.1	Mg	0.2	Cr	0.1	Fe	5
Mo	0.01	Ni	0.2	Se	0.02	V	0.005
Zn	2.0						

### 3.5. Domaines de réutilisations

#### 3.5.1. Usages non potables

Usages non potables sont principalement :

- **Irrigation agricole :** Cultures céréalières, arbres fruitiers, forêts, protection contre le gel,
- **Utilisations industrielles :** Eaux de refroidissement, eaux de procédés (processus), Générateur de vapeurs, nettoyage des équipements, protection contre les incendies,
- **Utilisations urbaines :** Entretien de voirie, lavage des WC (chasse) et des voitures, nettoyage des édifices publics ornementaux, irrigation des parcs, cimetières, jardins publics.
- **Usages récréatifs :** Lacs et bassins artificiels, entretien des habitats naturels et des zones humides, production de neige, pêcheries,
- **Recharge de nappe :** Lutte contre l'intrusion d'eau de mer ou d'eau saumâtre dans le cas d'une surexploitation de l'aquifère, réapprovisionnement des nappes en situation critique, stockage de l'eau traitée en prévision de futures utilisations (Boutin et al 2009).

#### 3.5.2. Usages potables

Usages potables sont quant à eaux majoritairement :

- **Production indirecte d'eau potable :** Augmentation de la disponibilité en eau. Production souvent lié à la recharge de nappe.
- **Production directe d'eau potable :** L'usine de Windhoek (Namibie) est l'exemple le plus connu de production d'eau potable a partir d'eaux usées traitées mais cette pratique est peu répandue (Boutin et al., 2009).

## 4. Risques associés à la réutilisation des eaux usées

### 4.1. Risques sanitaires

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Sheikh et al., 1999). Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998). Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque. Ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances. Alors que l'irrigation gravitaire à la raie et par inondation exposent les travailleurs à des hauts risques sanitaires, notamment lorsque le travail de la terre se fait sans protection (Peasey et al., 2000). Les nouvelles recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures (OMS, 2006).

### 4.2. Risques environnementaux

#### 4.2.1. La salinisation du sol

La salinisation du sol par une eau d'irrigation résulte des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations...etc.). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol.

#### a. L'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée en irrigation est un facteur de premier ordre dans la salinisation du sol. En effet, le risque de salinisation du sol est exclu si l'eau d'irrigation est de bonne qualité même si les autres facteurs influençant ce processus sont favorables. La qualité d'une eau d'irrigation est estimée en prévoyant son influence sur les propriétés du sol et en considérant la tolérance des cultures pratiquées à la salure. Une eau est dite "de bonne qualité" lorsqu'elle n'entraîne ni la salinisation du sol irrigué ( $CE$  du sol  $> 4$  mS/cm), ni sa désagrégation (taux de sodium échangeable ESP du sol  $> 15$  %) (Brady and Weil, 2002). Les effets d'une eau d'irrigation sur le sol sont jugés à travers la concentration totale de cette eau en sels solubles et par son rapport de sodium absorbable (SAR) (Leone et al., 2007). Une

grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration (Suarez *et al.*, 2006).

Le choix du domaine de la réutilisation des eaux usées dépend essentiellement, de la qualité de l'effluent, des types de cultures, du système d'irrigation et des conditions édaphiques du sol (Pereira *et al.*, 2002). Ainsi, la connaissance de la qualité physico-chimique de ces eaux usées est fondamentale afin de prévoir les éventuels impacts sur le milieu récepteur. En effet, lors de la réutilisation pour l'irrigation agricole, leur qualité est déterminée essentiellement par la salinité et surtout le contenu en ion sodium (Toze, 2006). Herpin *et al.* (2007) ont constaté que l'irrigation avec des EUT chargées en  $\text{Na}^+$ , entraîne une élévation des teneurs en cet élément dans tout le profil d'un sol de type « Typic Haplustox ». De plus, ils ont signalé que le calcium apporté par les EUT, entraîne la libération des ions sodium du complexe absorbant du sol sous forme échangeable, ce qui facilite sa migration en profondeur ainsi que sa biodisponibilité. L'étude d'un autre cas d'irrigation avec des EUT, dont la charge en sel est de 1,8 g/l, a montré, après deux années de suivi, une augmentation de la conductivité électrique du sol de 0,92 dS/m à 1,93 dS/m sur les 40 premiers centimètres du sol, ce qui correspond à un apport en sel de l'ordre de 6,2 T/ha (Zekri *et al.*, 1997) Cette augmentation de la salinité du sol suite à l'irrigation par des eaux usées est également signalée par d'autres auteurs (Yadav *et al.*, 2002; Al-Nakshabandi *et al.*, 1997)

### **b. Le mode d'irrigation**

Lorsque l'eau est de mauvaise qualité, le mode, la dose et la fréquence d'irrigation ont une influence directe sur le processus de salinisation du sol. Dans ces conditions, une dose supérieure aux besoins du sol est favorable à une lixiviation (lessivage) des sels. Ce qui permet de maintenir la salinité du sol à un niveau raisonnable surtout si le drainage interne et externe est convenable. Heidarpour *et al.* (2007) ont étudié l'effet de l'irrigation par les EUT sur les propriétés chimiques du sol en testant deux systèmes d'irrigations différents. Le premier système est de surface, alors que le second est de subsurface. Ils ont constaté que le système d'irrigation en subsurface augmentait la conductivité électrique du sol dans les horizons de surface. Par contre, le résultat inverse est observé avec le système d'irrigation de surface où la conductivité électrique est plus importante dans les niveaux inférieurs. D'après les auteurs, l'augmentation de la CE dans le premier cas est due à une remontée capillaire des sels en surface suite à l'évapotranspiration. Dans le second cas, c'est plutôt le lessivage des sels par les eaux d'irrigation qui est à l'origine de l'augmentation de la CE en profondeur. Il en

résulte donc, que l'irrigation de surface permet mieux le lessivage des sels vers la profondeur. Des périodes d'irrigation rapprochées conduisent au même résultat. Une irrigation fréquente entraîne le lessivage du sodium apporté par les EUT vers la profondeur du sol ce qui se manifeste par une augmentation du taux du sodium échangeable (Herpin *et al.*, 2007).

Le mode classique d'irrigation par submersion convient mieux à la désalinisation du profil de sol à chaque irrigation que tout autre mode d'irrigation localisée.

### **c. La couverture pédologique**

Les caractéristiques du sol qui jouent un rôle primordial dans l'accentuation ou l'atténuation du processus de salinisation sont la texture, la perméabilité et le taux en calcaire. Villagra et Cavanignaro (2005) ont mené une expérience d'irrigation par des eaux salées sur deux sols de texture différentes, un premier sableux et un second plutôt argileux. Ils ont constaté que la salinité a atteint des niveaux élevés dans le sol argileux. A la fin de l'expérience, la salinité est entre 15,8 et 19,1 mS/cm dans le sol à texture argileuse, alors qu'elle est entre 1,2 et 6,6 mS/cm dans le sol sableux. Miyamoto et Chacon (2006) ont mené une étude statistique sur l'influence de certains paramètres pédologiques sur la salinisation de sol lorsqu'il est irrigué par une eau de salinité élevée. Ils ont constaté que les sols à texture argileuse ou ceux qui présentent un niveau calcrèteux, imperméable ou moyennement perméable, sont les plus vulnérables à la salinisation.

#### **4.2.2. Avantages environnementaux d'utilisation des eaux usées**

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

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

### 4.2.3. Effets négatifs potentiels sur l'environnement

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

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

#### 4.2.3.1. Effets sur le sol

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

- La salinisation,
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- L'accumulation de nutriments (FAO, 2003).

#### 4.2.3.2. Présence d'eau dans les sols

L'eau se présente dans les sols sous différents états. On distingue ainsi

- L'eau de constitution entrant dans la composition chimique des graines ;
- L'eau liée (ou adsorbée) présente entre les feuillets argileux ;
- L'eau interstitielle qui se présente sous forme d'eau libre (lorsque le sol est saturé et trouve une nappe phréatique), ou sous forme d'eau capillaire (pour la partie du sol située au-dessus de la nappe (Xavier, 2009).

#### 4.2.3.3. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe. Deux caractéristiques sont essentielles pour les sols : la capacité de rétention et la capacité d'épuration. Les sols qui ont une bonne capacité de rétention sont les sols argilo sableux, ceux ayant une mauvaise qualité sont les roches fissurées (FAO, 2003).

#### 4.2.3.4. Effet sur les eaux superficielles

Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation (FAO, 2003).

#### 4.3. Effet de l'irrigation par les EU sur les propriétés physicochimiques du sol

Bien évidemment, l'irrigation avec les eaux usées, affecte avec le temps certains paramètres du sol. Ainsi, une légère diminution du pH est observée dans certains sols basiques (Yadav *et al.*, 2002; Rattan *et al.*, 2005; Solis *et al.*, 2005; Herpin *et al.*, 2007; Abbass *et al.*, 2007). Cette diminution est expliquée par un lessivage par les eaux d'irrigation des calcaires actifs qui sont responsables de l'alcalinité du sol (Solis *et al.*, 2005). Les eaux usées, à travers leur pouvoir fertilisant, entraînent également une augmentation du taux de la MO et des éléments nutritifs du sol (Yadav *et al.*, 2002 ; Rattan *et al.*, 2005). Toutefois, ces éléments nutritifs stimulent l'activité microbologique du sol (Magesan *et al.*, 2000, Ramirez-Fuentes *et al.*, 2002), ce qui favorise la minéralisation de la MO entraînant du même coup la diminution de la CEC du sol (Solis *et al.*, 2005; Herpin *et al.*, 2007). Magesan *et al.* (2000), signalent également que, suite à l'irrigation par les EU, cette intensification de l'activité microbologique du sol diminue la conductivité hydraulique du sol du fait de la formation de bios films bactériens qui colmatent la porosité du sol.

#### 4.4. Effet de l'irrigation par les EU sur les plantes cultivées

Du fait de leur teneur en éléments nutritifs et de leur richesse en oligoéléments, les eaux usées lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Dans ce cadre, Fars *et al.* (2003), Rusan *et al.* (2007) ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par une eau usée soit brute soit traitée. Ainsi, Fars *et al.* (2003) indiquent que les rendements enregistrés par rapport à un témoin dépassent les 110 %, pour les plantes irriguées par les deux types d'eau. De même, l'irrigation par les EU entraîne un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments (Yadav *et al.*, 2002, Fars *et al.*, 2003). Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent provoqués, à long terme, des risques pour le développement des plantes. En effet,

certaines éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène), peu nombreux, sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités (Faby et Brissaud, 1997). L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. La biodisponibilité de ces éléments dans le sol peut engendrer leur accumulation dans les tissus des plantes et dans certains cas, les teneurs en ces éléments peuvent atteindre des seuils de phytotoxicité (Faby et Brissaud, 1997).

#### **4.5. Impact de l'irrigation par les EU sur la nappe phréatique**

L'irrigation ou l'épandage des eaux usées sur des surfaces agricoles est l'une des techniques de recharge artificielle des nappes phréatiques couramment utilisée en région aride ou semi-aride (Asano et Cotruvo, 2004). Dans ce contexte, Zekri *et al.* (1995) ont constaté trois effets de l'irrigation par les EUT sur la nappe phréatique :

- une augmentation de la salinité qui a passé de 2,3 à 4 mS/cm après 20 ans d'irrigation ;
- une contamination microbiologique liée à la proximité de la nappe de la surface du sol ;
- une pollution par les métaux lourds.

### **5. Traitement des eaux usées**

#### **5.1. Importance du traitement des eaux**

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la Banque mondiale recommande qu'il faudrait investir au départ de 300 à 600 milliards de dollars américains pour atteindre cet objectif. L'ONU espère ainsi améliorer les conditions d'environ 2 milliards de personnes. Dans plusieurs cas, cette amélioration devrait se traduire par une réduction importante du nombre de malades. L'OMS estime en effet que 80 des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau. On retrouve ainsi en permanence 400 millions de personnes atteintes de gastro-entérite, 200 millions de schistosomiase (bilharziose), 160 millions de paludisme et 300 million d'onchocercose.

On estime par ailleurs que les eaux polluées sont responsables de 50 % des cas de mortalité infantile.

#### **5.2. Procédés de traitement des usées urbaines**

La station d'épuration d'une agglomération urbaine importante comporte une chaîne de traitement dont la complexité dépend du degré d'épuration jugé nécessaire (Ouali, 2001). On classe habituellement ces traitements de la façon suivante :

### 5.2.1. Prétraitement

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un prétraitement qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage (Gaïd, 1993)

**Tableau 3:** Prétraitement exigé avant d'appliquer un procédé biologique (Crini et Bado, 2007).

Pollution	Traitement
Matières en suspension	Décantation et flottation
Alcalinité et acidité	Neutralisation
Traces d'hydrocarbures	Séparation/déshuilage
Métaux	Physico-chimique et/ou chimique
Molécules toxiques	Coagulation et floculation
Effluents riches en matières organique	Oxydation
Sulfures	Précipitation

### 5.2.2. Traitement primaire

Il s'agit d'une décantation, habituellement sans coagulation chimique préalable, ayant pour but d'éliminer les matières organiques séparables par sédimentation.

### 5.2.3. Traitements secondaires

Ce sont des traitements biologiques aérobies, analogues à ceux qui ont lieu dans les étangs, mais à rendement élevé.

### 5.2.4. Traitement tertiaire

Ils ont pour but de compléter plus ou moins l'épuration, selon les normes de qualité applicables aux eaux épurées ou selon les utilisations de ces eaux. Il faut par ailleurs éliminer les boues provenant des décanteurs primaires et secondaires; à cette fin, on peut faire appel à divers procédés complémentaires, biologiques ou chimiques dont l'incinération (Ouali, 2001).

### 5.2.5. Traitement des boues

L'épuration biologique des eaux résiduaires par le procédé des boues activées repose sur l'activité d'une culture bactérienne aérobie, maintenue en suspension dans un ouvrage spécifique alimenté par l'effluent à traiter et appelé bassin d'aération. Cette culture bactérienne

se développe à partir des matières organiques biodégradables apportées par les eaux usées qu'elle transforme en corps bactérien. Le rendement de cette opération de transformation de la charge polluante organique est d'environ 50 %, puisque les boues produites ne représentent plus que la moitié de la DBO<sub>5</sub> entrante, le reste ayant été transformé principalement en CO<sub>2</sub> et en H<sub>2</sub>O (Canler *et al*, 1999).

#### **5.2.6. Lagunage**

Le lagunage naturel est une méthode biologique «rustique» de traitement des eaux qui consiste à faire séjourner l'effluent dans plusieurs bassins successifs (en général au nombre trois), bassins de traitement puis d'affinage, de grande taille et peu profond, où celui-ci sera épuré par l'action commune de bactéries et de végétaux. Certaines plantes et légumes sont, en effet, capables de tolérer, stabiliser et/ou accumuler les polluants organiques et métallique dans leur appareil végétatif.

Le lagunage consiste alors à cultiver ces plantes *in situ* sur des effluents contaminés par différents polluants. La culture des plantes aquatiques contribue à diminuer le stock de métaux par bio-extraction (phyto-extraction) ou bio-fixation(phyto- stabilisation), et se fait en coopération avec des bactéries pour une plus grande efficacité (Crini and Bado, 2007).

## 1. Concept de base

Le terme de **fertilité** est souvent utilisé, surtout dans la littérature ancienne, pour décrire la capacité d'un sol à subvenir aux besoins des cultures grâce à ses ressources propre en éléments nutritifs (Bøckman et al, 1990). Les **sols fertiles** sont constitués dans des conditions climatiques favorables à partir d'une roche-mer riche en éléments nutritifs et avec des réserves en azote le plus souvent issues de la fixation biologique (Bøckman et al, 1990).

## 2. Les éléments les plus souvent recherchés

Les analyses chimiques courantes recherchent essentiellement les éléments considérés comme particulièrement influents sur le rendement des cultures : azote, phosphore, potassium, soufre, magnésium. Le pH et la teneur en matière organiques figurent généralement dans les résultats et quelques oligoéléments sont parfois dosés, notamment le fer, le cuivre et le zinc.

## 3. Phosphore

Le phosphore, sous la forme chimique phosphate est un des principaux éléments nutritifs des plantes. Le premier engrais a été le superphosphate.

### 3.1. Différents formes du phosphore

Le phosphore présente dans le sol sous les formes suivantes :

- Phosphate dissout dans l'eau du sol ;
- Phosphate labile absorbé sur les particules du sol principalement sur les argiles ;
- Phosphate non-labile contenu dans les minéraux du sol et les précipités inorganiques ;
- Composés organique phosphaté (Bøckman et al, 1990).

### 3.2. Source de phosphore

#### 3.2.1. Sources naturelles

##### 3.2.1.1. Roche

La grande majorité du phosphore provient de certains types de roche sous l'effet des conditions géologiques et atmosphériques (Hade, 2002).

##### 3.2.1.2. Eaux de ruissellement

Le phosphore et l'azote peuvent entrer dans les lacs par les eaux de ruissellement, car ce sont des éléments qui se retrouvent de façon naturelle dans le sol et la matière organique (Hade, 2002).

### 3.2.1.3. Déjections animales ainsi que la décomposition de la matière organique

Après la mort des organismes est une autre source de phosphore et d'azote. Suite à ce processus, ces éléments peuvent se retrouver soit dans les milieux lacustres, dans l'atmosphère ou dans les sols. La libération du phosphore emmagasiné dans les sédiments ; le phosphore a la propriété de se lier aux sédiments des lacs, mais peut être remis en suspension lors des événements de grands vents dans les lacs peu profonds. De plus, le phosphore peut être libéré lorsqu'il y a un manque d'oxygène dans les lacs (Hade, 2002).

### 3.2.2 Sources anthropiques

La quantité de phosphore et d'azote dans les eaux de plusieurs lacs a augmenté de façon considérable depuis quelques décennies en raison du développement des collectivités humaines à l'intérieur des bassins versants. Parmi les principales sources anthropiques de phosphore et d'azote, mentionnons :

- L'utilisation d'engrais et de fertilisants.
- L'aménagement de grands centres urbains et l'artificialisation des surfaces.
- L'intensification du défrichage et du déboisement.
- Les rejets provenant des stations de traitement des eaux usées ou les rejets industriels.
- Le dysfonctionnement et le mauvais entretien des installations septiques.
- L'utilisation de produits domestiques riches en phosphates (Hade, 2002).

## 4. Azote

### 4.1. Différentes formes d'Azotes

L'Azote est présent sous les différentes formes dans le sol :

- Formes minérales solubles : ammoniac, nitrate, oxyde d'azote ;
- Composés organique solubles : urée, acides aminés ;
- Organisme vivants : racine, micro-organismes, animaux du sol ;
- Formes non solubles : matière organique (Organisme mort en décomposition, débris cellulaire, humus), ammoniac fixé sur les argiles (Bøckman et al, 1990).

### 4.2. Sources de l'azote

#### 4.2.1. Fixation symbiotique

Elle est la plus connue des techniques végétales pour fixer l'azote de l'air. Par exemple des bactéries (les rhizobiums) s'installent dans les racines des plantes de la famille des légumineuses ; par exemple la luzerne ou les trèfles peuvent ainsi fournir deux cent kilos par hectare et par an d'azote au sol (Pousset, 2002).

#### 4.2.2. Fixation non symbiotique

Plus difficile à chiffrer que la fixation symbiotique, elle met en jeu des mécanismes moins bien connus et est le fait de micro-organismes libres vivant généralement à la surface du sol comme les azotobacters (Pousset, 2002).

#### 4.2.3. Apports par la pluie

Les orages provoquent la formation de nitrate d'ammoniaque dans l'atmosphère, nitrate d'ammoniaque entraîne sur le sol par les pluies (Pousset, 2002).

#### 4.2.4 Fixation de l'azote de l'air par la cellulose

La décomposition des végétaux et animaux morts permet un recyclage des éléments nutritifs mais l'équilibre n'est effectif que lorsque la végétation est adulte, ce qui peut prendre plusieurs siècles dans certains cas. Ce point de vue ne représente pas tout à fait la réalité car il est trop schématique, sa pertinence dépend beaucoup des conditions dans lesquelles se trouve chaque sol ; par ailleurs il n'existe pas « un facteur » mais plusieurs (Pousset, 2002).

### 5. Potassium

Le potassium est un élément abondant dans la nature ; la croûte terrestre en contient environ 2,3 % c'est l'un des trois principaux éléments nutritifs des cultures, il joue rôle de premier plan dans de nombreux processus physiologique :

Absorption d'eau, régulation osmotique, photosynthèse et activité enzymatique une bonne nutrition potassique améliore la résistance des cultures à la verse, aux maladies et à la sécheresse (Baeyens, 1967).

#### 5.1. Les compartiments du potassium dans le sol.

Pour un agronome, la différenciation entre les formes de potassium doit se fonder sur leur disponibilité vis-à-vis des plantes. Cependant, des modèles conceptuels de compartiments de potassium ont été mis au point par certains auteurs (Mhiri, 2002).

##### 5.1.1. Le potassium échangeable

Le potassium échangeable représente la forme facilement accessible aux plantes (Boyer, 1973). Il est à la fois le potassium solubilisé et le potassium adsorbé sur les colloïdes argilo-humiques. Les plantes peuvent utiliser aussi bien le potassium libre de la solution du sol que le potassium adsorbé sur le complexe adsorbant. Lorsque le potassium est lié aux matières organiques, il est particulièrement facile à utiliser par les végétaux. En effet, cette liaison du potassium avec les matières organiques existe lorsque le  $K^+$  est adsorbé sur la paroi bactérienne ou encore lorsque les bactéries intègrent cet élément au cours de leur

métabolisme. A leur mort, ces bactéries restituent le potassium sous une forme particulièrement utilisable.

### 5.1.2. Le potassium des minéraux silicatés

Les micas, les feldspaths et certaines argiles comme les illites sont très riches en potassium. Cette forme de potassium constituant les matériaux silicatés représente plus de 95 % de leur poids total dans les sols (Mhiri, 2002).

### 5.1.3. Le potassium rétrogradé

Le potassium est rétrogradé quand les ions  $K^+$  passent de la surface externe des argiles pour s'emprisonner à l'intérieur, entre les feuillets d'argile de type 2/1 comme surtout les montmorillonites et les illites (Boyer, 1973). Cette rétrogradation a lieu en période de dessiccation ou quand le pH est élevé (Sountoura, 2011).

## 5.2. Importance du potassium pour les cultures

Le potassium joue deux rôles fondamentaux: un rôle d'activateur enzymatique dans les processus métaboliques tels la synthèse des protéines et des sucres et un rôle physiologique à travers la régulation de la teneur des eaux des cellules et l'absorption des cations. Ces différentes fonctions assurées par le potassium aux cultures sont résumées par certains auteurs (Magny et Baur, 1990; Denis, 2000) comme suit:

- La synthèse des glucides solubles par la photosynthèse;
- L'équilibre de la quantité d'azote dans la plante pour empêcher l'intoxication des cellules ou la dépression des rendements;
- L'accroissement à la résistance à la sécheresse par la régulation des ouvertures stomatiques et la diminution de la transpiration des feuilles;
- La régulation de l'acidité interne (équilibre acido-basique);
- La stimulation de la turgescence des tissus par son action sur la souplesse membranaire.

## 6. L'analyse granulométrique

Elle donne les teneurs en sable, limon, argile, généralement exprimées en % ou en ‰. Elle permet d'avoir une idée de la stabilité structurale du terrain étudié, et la connaissance de la teneur en argile aide à interpréter les résultats des dosages d'éléments comme la potasse, la magnésie, le phosphore, etc. (Joseph, 2011).

### **7. Le calcaire**

Le calcaire est du carbonate de calcium. Il se présente sous la forme de particules plus ou moins grosses. Du point de vue purement granulométrique, ces particules sont analogues aux autres grains de sable, mais du point de vue chimique elles sont différentes. En effet, les plus fines et les plus poreuses d'entre elles peuvent libérer du calcium, qui tend à neutraliser les acides et donc à rendre la terre plus basique. La fraction de calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium est appelée calcaire actif (Joseph, 2011).

### **8. Les matières organiques**

Une terre à bonne teneur en matières organiques est souvent fertile car elle est bien pourvue en azote ; une terre à très faible teneur en matières organiques est généralement fragile et peu productive ; cependant une teneur très élevée peut être le signe d'une fertilité remarquable –sols sains à bonne activité microbienne –ou très faible –sols très acides, asphyxiants, très calcaires ... ou les matières organiques s'accumulent sans se décomposer correctement (Joseph, 2011).

### **9. Le pH**

Le pH est une notion à laquelle on attache traditionnellement beaucoup d'importance dans l'analyse des sols agricoles. Le « potentiel hydrogène » exprime la teneur en hydrogène acide libre d'une solution. Dans le cas qui nous concerne, on le donne pour une solution de sol soit dans l'eau (pH eau), soit dans le chlorure de potasse (pH KCL).

### **10. Le soufre**

C'est un élément important pour certains végétaux comme les légumineuses ou les crucifères qui contiennent souvent plus de soufre que de phosphore et en exportent, parfois, plus de 150 Kg/ha. Son rôle a souvent été sous-estimé. Le soufre se trouve dans le sol sous des formes peu ou pas assimilables par les plantes, comme les sulfures (terres asphyxiantes et lourdes) ou au contraire assimilables telles que les sulfates. Le soufre des matières organiques peut, lui, évoluer vers les sulfates ou les sulfures selon les conditions du milieu et l'activité microbienne qui leur est liée (Joseph, 2011).

### 11. Le calcium

Élément fondamental, il joue plusieurs rôles essentiels, par exemple :

- Il permet le maintien et éventuellement le relèvement du pH du sol et aussi de celui des cellules végétales ;
- Il régularise l'assimilation d'autres éléments (magnésium, potassium) ;
- Il favorise la migration des glucides vers les tissus de réserve des plantes ;
- Il jouerait un rôle d'économiseur d'eau (Joseph, 2011).

### 12. Le magnésium

Comme le potassium, il est présent dans certaines roches (granites, basaltes, calcaires, magnésiens, etc...). Certaines argiles sont des aluminosilicates de calcium et de magnésium. Un excès de magnésium peut contrecarrer l'action flocculant du calcium et disperser l'argile. D'une façon générale, il est bon que le rapport MGO/CaO soit inférieur à un douzième (Joseph, 2011).

### 13. Quelques éléments dits « mineurs »

Ces éléments, appelés aussi oligoéléments, ne sont mineurs que par les quantités mises en jeu. En effet, leur rôle dans la vie des plantes et des animaux est aussi important que celui des éléments majeurs. Ils sont très nombreux et chacun d'eux mérite une étude, nous allons cependant ne présenter que trois exemples (Joseph, 2011).

#### 13.1. Le fer

Le fer du sol se trouve sous plusieurs formes, mais dans les analyses courantes, seul le fer dit « libre » c'est-à-dire assimilable par les végétaux, est dosé. Lorsque la quantité de fer libre est très élevée, les plantes sont bien alimentées en cet élément, mais cela peut aussi présenter de sérieux inconvénients. En effet, l'excès de fer peut être provoqué par une forte acidité et une teneur élevée en matières organiques qui vont généralement de pair avec une destruction de l'argile, qui libère alors d'importantes quantités de fer (Joseph, 2011).

#### 13.2 Le cuivre

Il jouerait surtout un rôle de catalyseur, en favorisant certaines réactions : formation de la chlorophylle, respiration des cellules, apparition de substances de croissance, synthèse

d'acides aminés (tyrosine...), etc. Ses fonctions sont probablement assez mal connues, comme celles de la plupart des oligoéléments (Joseph, 2011).

### **13.3 Le manganèse**

Oligoélément présent en quantité importante dans les plantes (jusqu'à 200 mg par Kg de matière sèche). Le manganèse doit être suffisamment présent dans le sol. Or, il se présente sous diverses formes, passant assez facilement de l'une à l'autre, dont certaines sont disponibles et d'autres pas. Une façon culturale inadaptée (chaulage excessif par exemple) peut carencer en manganèse assimilable un sol qui jusque là en était bien pourvu en faisant disparaître les formes réduites (disponibles) au profit des formes oxydées (non assimilables).

## 1. Objectifs du travail

Le présent travail expérimental a pour but d'étudier l'impact de l'effet de l'irrigation par les eaux usées domestiques traités sur la fertilité des sols. Dans cette étude, nous avons expérimenté deux types d'eau d'irrigation : l'eau usée épuré et l'eau potable.

## 2. Présentation de la STEP d'El Bayadh

Notre expérimentation a été réalisée au niveau de la station STEP, station d'épuration des eaux polluées d'El Bayadh. Les analyses de l'eau ont été réalisées au niveau du laboratoire de la station. Le sol traité a subi une série d'analyses réalisées au niveau du laboratoire de l'INSID (El Matmar, Rélizane).

La station d'épuration d'El Bayadh mise en exploitation en janvier 2015, a été réalisée par un groupement Algéro-espagnole d'inter-entreprise et ISOLUX CORSAN pour le compte de la wilaya d'El Bayadh. Elle est située dans la région de khnag azir

## 3. Climat

Sur le plan climatologique, la wilaya d'El Bayadh est caractérisée par deux périodes principales qui expriment le contraste important durant l'année à savoir:

- Un hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige et un été chaud très sec. Ce qui favorise l'apparition des plantes résistantes à la sécheresse.

La situation dont découle des écarts thermiques brusques et importants :

- La pluviométrie est très irrégulière et varie de 200 à 300 mm durant l'année. On peut assister à plusieurs mois ou d'années de sécheresse de suite.
- La température laisse apparaître des changements temporels (un hiver froid de température moyenne de 6 °C et un été chaud de 36 °C).

## 4. Le matériel végétal

On a utilisé comme matériel végétal, la pomme de terre. C'est une plante dicotylédone annuelle de la famille des solanacées dont l'espèce commune blanche cultivée a pour nom latin *Solanum tuberosum* (Kleinkopf, 1983).

### 4.1 Physiologie et cycle de développement de la pomme de terre

Le cycle de développement de la pomme de terre est annuel et comprend 4 phases :

#### 4.1.1 Le repos végétatif

A la récolte, le tubercule de pomme de terre ne peut germer même si les conditions de croissance sont favorables (température de 18° à 25 °C) et hygrométrie 90 %. Sa durée constitue un caractère variétal mais peut être abrégé ou maintenu par différents constituants physiques ou chimiques. Sous l'action de hautes températures durant la végétation, il peut être abrégé (Madec and Perennec, 1962). Il peut être rompu à une température de 23- 24 °C ou par substance chimique (la rindite). Par contre, il est maintenu à température inférieure à 3 °C par des substances anti germes ou bien par des radiations gamma à faibles doses.

#### 4.1.2 La germination

A la fin de repos végétatif, le germe rentre en croissance s'il n'y a pas de dormance induite par les conditions du milieu.

#### 4.1.3 La croissance

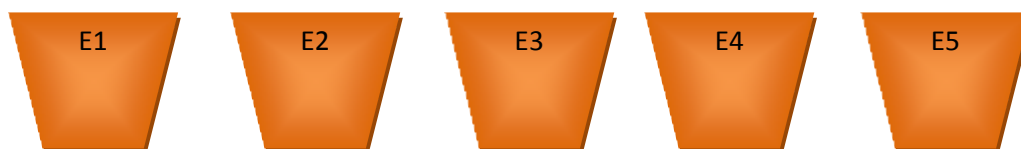
A partir des germes produits par le tubercule, se forment des tiges feuillées puis des stolons et des rameaux (Bissati, 1996).

#### 4.1.4 La tubérisation

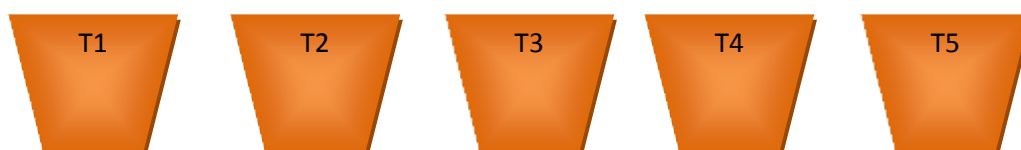
Au bout d'un certain temps, variable selon la variété et le milieu. Les extrémités des stolons cessent de croître et se renflent pour former, en une ou deux semaines, les ébauches des tubercules : c'est la tubérisation. Elle se prolonge jusqu'au fanage de la plante, par la phase de grossissement. Aucun indice ne permet de déceler, sur les organes aériens, le moment de cette ébauche des tubercules (Soltner, 1979).

### 5. Protocol expérimental

L'expérimentation a été réalisée dans des pots de plastiques d'une profondeur de 40 cm. Le semis a eu lieu le 24-12-2015 dans des pots remplis chacun de 4 Kg du sol .On a mis dans chaque pot une tubercule de pomme de terre à une profondeur de 15 cm.



- 5 pots irrigués par l'eau usée traitée



- 5 pots irrigués par l'eau potable

### 5.1 Dose d'irrigation appliquée

- Nous avons déterminé le volume d'irrigation par différence entre la quantité d'eau apportée pendant l'arrosage et celle récupérée suite à la cessation du drainage après 24 heures. La réserve facilement utilisable (RFU) représente la différence entre les deux volumes et la dose d'irrigation correspondant 30 % de la RFU pendant les premières semaines et après c'est 60 % de la RFU.

- Pour calculer l'humidité à capacité au champ, nous avons rempli 100 g de sable dans un pot, puis on a humecté le sable jusqu'au point de saturation, 48 h après, on a effectué la pesée

- L'arrosage est effectué 2 fois par semaine,

**Tableau 04** : Dispositif expérimental

N° de bloc	Traitement	irrigation	Nombre total d'échantillon
1	Témoin (avant l'irrigation)	Aucune irrigation	05 échantillons
2	Eau usée traité (EUT)	L'irrigation après 2 mois	05 échantillons
		L'irrigation après 4mois	05 échantillons
3	Eau potable (EP)	L'irrigation après 2 mois	05 échantillons
		L'irrigation après 4mois	05 échantillons
Total=25 échantillons			



**Figure 01** : les pots irrigués par l'eau potable (05 pots)



**Figure 02** : les pots irrigués par l'eau traitée (05 pots)

## 6. Filière de traitement

La filière de traitement adoptée pour répondre à la capacité et aux niveaux de traitement définis précédemment, est un traitement classique par boues activées à faible charge suivant le procédé d'aération prolongée.

Du point de vue fonctionnel, le traitement par boues activées à très faible charge est mis en œuvre comportant les postes suivants :

### 6.1 Filière eau

#### 6.1.1. Prétraitement

- Chambre d'arrivée
- Fosse à batards et by-pass général
- Dégrillage grossier
- Dégrillage fin
- Dessablage-déshuilage aéré
- Canal de comptage des eaux type venturi

#### 6.1.2. Bassin biologique

- Zone de contact
- Zone d'aération
- Zone de dégazage

#### 6.1.3. Clarificateurs

- Chloration et désinfection
- Poste pompage eaux retours

## 6.2 Filière boues

- Recirculation des boues et évacuation des boues en excès
- Epaissement hersé
- Déshydratation mécanique par filtres à bandes
- Déshydratation sur lits de séchage (système de sécurité)
- Stockages et évacuation des boues déshydratées

- Poste de pompage eau de retour

## 7. Plan d'échantillonnage et analyse

- Les analyses relatives à l'auto surveillance de la station sont réalisées dans les conditions suivantes :

- Des échantillons sont prélevés quotidiennement sur une période de 24 heures, proportionnellement au débit, sur les effluents entrants et les effluents traités.

- Les paramètres analysés une fois par semaine en entrée et en sortie sont les suivants : DBO<sub>5</sub>, DCO, et les autres paramètres physico-chimiques MES, PH, CE, turbidité analysé chaque jour

- L'échantillonnage aura lieu chaque jour à 8 heures du matin, en commençant invariablement par les échantillons d'eau traitée et eau brute, et après le reste d'échantillons indiqués par le responsable d'exploitation, les échantillons seront menés au laboratoire, et les échantillons du weekend ou des jours fériés seront conservés au réfrigérateur

- Chaque jour, l'ouvrier prendra du laboratoire les bouteilles d'échantillonnage identifiées, qui auront être préalablement préparées au laboratoire

- L'ouvrier devra remplir le reste de sections de l'étiquette de chaque bouteille, telles que le nom, heure de prise ou les observations pertinentes

## 8. Analyses physico-chimique et biochimique de l'eau

### 8.1 Demande chimique en oxygène DCO

#### 8.1.1 Principe

La mesure de la demande chimique en oxygène est effectuée selon la norme NF T 90–101 (Frank, 2002). C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique en utilisant du dichromate de potassium dans une solution d'acide sulfurique et un composé à base d'argent est ajouté comme catalyseur. Un composé mercure est incorporé et l'oxydation s'effectue dans un réacteur pendant 120 minutes à 105 °C pour les chauffer. Les valeurs sont données par le spectrophotomètre (DR3900).



Figure 03 : spectrophotomètre (DR3900).

### 8.1.2 Mode opératoire

#### - Pour l'eau d'entrée

- Prendre un réacteur (LCK 515) de plage de mesure (100 – 2000) mg / lO<sub>2</sub>) pour 2 ml de l'eau brute
- Agiter le mélange (échantillon + réacteur)
- Incubation pendant 120 min à 105°C pour le chauffer
- Les valeurs sont données par le spectrophotomètre

- **Remarque**

Pour l'eau traitée la même méthode sauf on prend un autre réacteur (LCK314) de plage de mesure (15-150 mg /lO<sub>2</sub>)

## 8.2 Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

### 8.2.1 Principe

La mesure de la demande biochimique en oxygène DBO<sub>5</sub> est réalisée selon la norme NF EN 1899-2 (Frank, 2002). Elle correspond à la quantité d'oxygène consommée en 5 jours par une biomasse pour décomposer les matières organiques. Elle est mesurée à partir d'un DBO mètre, et exprimée en mg d'O<sub>2</sub> / l. l'échantillon est incubé dans l'enceinte thermo statée à 20 °C en présence d'air.

Les microorganismes présents, consomment l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon. La mesure de cette perte en oxygène est effectuée durant cinq jours par le principe hydrostatique (changement du niveau de mercure).



**Figure 04 : DBO mètre**

### 8.2.2 Mode opératoire

#### - L'eau de sortie (eau traitée)

- Prendre 428ml volume d'échantillon d'un flacon

- Prendre 10 gouttes hydroxyde de potassium standard solution 120N sur le volume d'échantillon
- Boucher le joint caoutchouc et prendre 3 gouttes de nitrification inhibitor
- Placer la sonde DBO sur le flacon et le visser avec soin
- Placer le flacon dans l'incubateur
- Incuber l'échantillon selon la norme (exemple : DBO<sub>5</sub> sur 5 jours à 20°C).

- **Remarque**

Pour l'eau brute on prend le volume d'échantillon 157ml avec un dosage de 5 goutte e ATH.

### 8.3 Matières en suspension MES

#### 8.3.1 Principe

L'estimation de la teneur en MES se fera selon la norme NFT 90-105-2 (Frank 2002). La séparation des MES se fait par centrifugation. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse. L'application de la force centrifuge sur lavé, à l'aide d'eau distillée, placé sur un papier filtre, puis mis à sécher à 105 °C. Le résidu sec est ensuite pesé. Ce poids correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

#### 8.3.2 Mode opératoire

- On précèdera à la filtration de l'échantillon grâce à un appareil à vide et un filtre de 0,45um en fibres de verre
- Sécher le filtre à 105°C pendant 2h pour déterminer la MES

- **Remarque**

Mode opératoire de l'eau d'entrée et de sortie c'est la même chose.



**Figure 05** : filtrer sous vide

- **Calcul**

- La teneur en matière en suspension dans l'eau st exprimée comme suit :

$$\text{MES} = \frac{M1 - M0}{v} * 1000$$

Avec :

**MES** : teneur en matières en suspension dans l'eau en mg/l

**M<sub>0</sub>** : masse du papier filtre avant utilisation en mg.

**M<sub>1</sub>** : masse du papier filtre après utilisation en mg.

**V** : volume de l'échantillon en litre.

## 8.4 Potentiel hydrogène pH

### 8.4.1 Principe

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène ( $H^+$ ) de la solution, il est mesuré à l'aide d'un pH mètre.

On prend une quantité d'eau usée dans une fiole dans laquelle on introduit l'électrode du pH-mètre. La lecture de la valeur du pH se fait lorsque l'indication se stabilise.

## 7.5 Conductivité électrique (CE)

### 7.5.1 Principe

Elle permet l'estimation de la teneur globale des sels dissous. Elle est déterminée à l'aide d'un conductimètre (figure 07), à une température de 25 °C.

Avant toute manipulation, la température doit être stabilisée à une valeur de 25 °C, on prend un échantillon d'eau usée dans un déchet, dans lequel on introduit l'électrode de l'appareil, la lecture de la valeur se fait après stabilisation de celle-ci.



**Figure 06** : PH-mètre



**Figure 07** : conductimètre



**Figure 08** : turbidimètre

## 8.6 Turbidité

### 8.6.1 Mode opératoire

- Sélectionnez le programme correspondant dans le menu des programmes
- Représentez de l'échantillon, ajoutez les réactifs selon les indications du document de méthode

- Sélectionnez options - démarrer le chromo pour utiliser les temporisations enregistrés dans le programme.
- Préparation de l'échantillon. Ajouter les réactifs selon les indications du document de méthode.
- Sélectionnez option < démarrer le chrono pour utiliser les temporisations enregistrées dans le programme.
- Fermez la cuve à échantillon et nettoyez les surfaces optiques de la cuve avec un chiffon non pelucheux.
- Insérez l'échantillon dans le compartiment de cuves. Assurez-vous d'installer la cuve d'échantillon correctement et dans une orientation toujours identique pour obtenir des résultats plus répétables et précis,
- Fermez le capuchon de l'échantillon pour éviter les interférences lumineuses
- Appuyez sur mesure, l'affichage indique les résultats dans les unités sélectionnées

### **8.7 Analyses bactériologiques**

L'analyse bactériologique vise à la recherche et le dénombrement des germes suivants: germes totaux, coliformes totaux et fécaux, streptocoques fécaux, Clostridium sulfito-réducteurs. Il faut signaler qu'un examen bactériologique ne peut être interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes. L'identification et le dénombrement des germes pathogènes des eaux usées brutes et épurées ont été réalisés suivant la méthode liquide (Rodier, 2005).

### **9. Présentation du laboratoire de l'INSID**

Le laboratoire de l'INSID est situé à 300 Km au nord-ouest d'Alger, dans la wilaya de Relizane (figure 09). Il est situé entres les périmètres irrigués du moyen et bas Chélif respectivement des cotés est et ouest. Au nord il est bordé par l'oued Mina et au sud par la plaine de l'Habra-Sig.

Le laboratoire était créé le 31 novembre 1990 par arrêté du Ministère de l'Agriculture (N°263/SPM). Il a démarré effectivement les travaux, quatre années après en date du 10 octobre 1994 (réf N° :724/DG/1994).

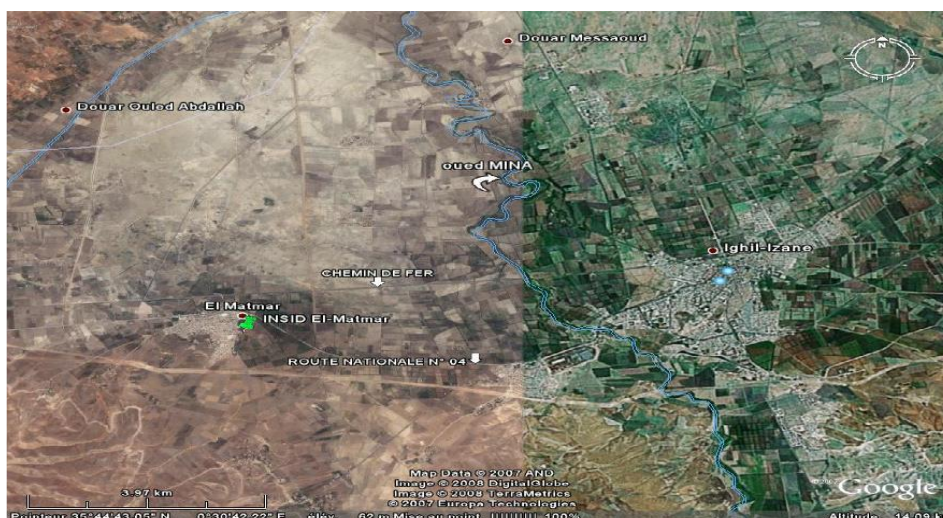


Figure 09 : localisation de laboratoire de l'INSID

## 10. Préparation des échantillons du sol

Les échantillons du sol qui parviennent au laboratoire sont étalés à l'aire libre. Pendant la période du séchage, les échantillons sont numérisés par ordre, les cailloux graviers et débris organiques grossiers sont éliminés et le reste est broyé.

Le sol broyé a été tamisé sur un tamis à maille de 2 mm, la terre obtenue après passage au tamis est dénommée terre fine. Les échantillons ont été mis dans des béciers de verres qui contiennent une fiche d'identification.



Figure 10 : l'étape séchage.



Figure 11 : l'étape broyage.



Figure 12 : l'étape tamisage

## 11. Granulométrie

### 11.1 Principe

L'analyse granulométrique a pour but de quantifier pondéralement en pourcentage les particules du sol (sables, limons et argiles), et de définir la texture du sol. La méthode utilisée est celle de [Casagrande \(1934\)](#) basée sur la vitesse de sédimentation des particules dont la vitesse de chute est régie par la loi de Stokes. Elle a été effectuée suivant la méthode de la pipette de Robinson sur échantillon séché à l'air puis tamisé à 2 mm. Les échantillons sont

préalablement débarrassés de la matière organique par oxydation à l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ). La fraction argileuse est dispersée à l'hexamétaphosphate de sodium. Les différentes fractions granulométriques sont ensuite déterminées par pipetage séchage et tamisage.

Dans les deux colonnes de sédimentation situées à droite, la sédimentation n'a pas commencé et la pipette prélève un mélange d'argile et de limon. Dans celles situées à gauche, la fraction limoneuse s'est complètement sédimenté, il reste à pipeter la fraction argileuse.

### 11.2 Mode opératoire

**Attaque à froid :** A 10 g de sol, on ajoute 10 ml d'eau oxygène ( $H_2O_2$ ) en vue d'attaquer la matière organique et 40 ml d'eau distillé avec agitation. Par la suite le bécher est fermé pendant 24 h.

**Attaque à chaud :** L'échantillon sur bécher est mis dans un bain chaud de sable pendant 2h. Après refroidissement pendant quelques minutes. On ajoute alors, 1 ml d'ammoniac Pure 25 % ( $NH_4OH$ ) + 40 ml d'hexamétaphosphate de sodium (liquide). On laisse par la suite refroidir ;

- L'étape suivante consiste à ajuster l'ensemble à 400 ml sur un ballon. Les échantillons sont alors soumis na une agitation pendant 2 heures ;

- La dernière étape consiste à transvaser les échantillons sur des colonnes à décantation pour les faire passer à la pipette de Robinson pour la détermination de la teneur en limon fin et en argile ;

- Pour le prélèvement de la fraction de limon, on agite la solution manuellement et on lance le chronomètre jusqu'au temps  $t = 5,25$  min et on règle le thermomètre à la température  $T=15$ . Pour arriver à la profondeur de 100mm dans la colonne de décantation, on règle l'extrémité de la pipette de Robinson à la profondeur de 256mm (156mm +100mm profondeur de la solution). Donc les particules de limon peuvent être classées à  $20\mu m$ , on prélève 20ml de la solution ajoutée à l'eau distillée prévue pour le rinçage. Le limon est mis dans une capsule et laissé dans une étuve pendant 24h à la température de 100.

- Pour le prélèvement de l'argile le temps est de 6 heures à la température de 17. La hauteur dans ce cas est de 223 mm (réglage de la pipette sur 153mm ajoutée à 70 mm comme profondeur de la solution. Les particules d'argile ( $2\mu m$ ) sont prélevées sur 20ml de la solution ajoutée à l'eau distillée de rinçage ensuite mis à l'étuve à  $100^\circ C$  pendant 24h.

- Pour le prélèvement du sable, on considère le reste de la solution qui est soumis à un tamisage en deux étapes (200 et  $50\mu m$ ) respectivement pour le sable fin et grossier.



**Figure 13** : pipette de robinson

- **Les calcule**

$$A\% = [((\text{poids sec A} - \text{tare}) - \text{témoins}) * 100 * 1000] / 198$$

$$LF\% = [((\text{poids sec A} - L - \text{tare}) - (\text{poids sec A} - \text{tare}) - \text{témoins}) * 100 * 1000] / 198$$

$$SG\% = [((\text{poids sec SG} - \text{tare}) * 100) / 9.9]$$

$$LG\% = 100 - (\%A + \%LF + \%SF + \%SG)$$

## 12. Dosage de Matière organique (méthode Anne modifiée).

### 12.1 Principe

Le pourcentage de matière organique dans le sol peut être calculé sur la base du taux de carbone dans la matière organique. Le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. L'excès de  $K_2Cr_2O_7$  est neutralisé par une solution contenant le  $Fe^{+2}$  (Sous la forme de sel de Mohr ou de sulfate de fer).

### 12.2 Réactifs

- **Bichromate de potassium 8%**

Transférer 80 g  $K_2Cr_2O_7$  dans 300 ml d'eau distillé, ajouter 25 ml  $H_2SO_4$  ( $d= 1.84$ ), puis dissoudre et diluer jusqu'à 1 dans une fiole jaugée.

- **Solution de Fe (II) 0.25 M :**

Dans fiole jaugée d'un litre transférer 300 ml d'eau distillée et 25 ml  $H_2SO_4$  .ajouter 98.04 g de  $(NH_4) SO_4.FeSO_4.6H_2O$ . Ou 69.51 g  $FeSO_4.7H_2O$  .Dissoudre et compléter à volume

- **$H_3PO_4$  concentré à 85 %.**

- **Indicateur**

0.5 g diphénylamine +100 ml de  $H_2SO_4$  concentré , verser dans un flacon brun contenant 20 ml d'eau distillée.

### 12.3 Mode Opérateur

- Prendre 1 g de terre fine dans une fiole de 100 ml.
- Ajouter 10 ml de Dichromate de potassium à 08%.
- Ajouter 15 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Agiter pendant 10 minutes
- Mettre les fioles à l'étuve à 120°C pendant une heure de demie
- Laisser refroidir
- Compléter à volume et mélanger.
- Prélever à l'aide d'une pipette 20 ml de cette solution, les mettre dans un bécher de 100ml en ajoutant 1ml d'acide phosphorique + 02 gouttes de Diphénylamine et agiter le tout.
  - 1) Titrer avec la solution de Solution de **Fer**
  - 2) La couleur passe du brun au vert
    - **Calcul**

La teneur en matière organique (MO) dans le sol est évaluée à partir du taux carbone organique (C) en utilisant l'équation suivante:

$$C \% = 0.24 (a - b) \times (13/V)/g.$$

**a** : volume versé pour le blanc

**b** : volume versé pour l'échantillon

**V** : volume versé pour le contrôle de la solution de Fe(II)

**g** : poids de l'échantillon

$$MO \% = C \% \times 1.72$$

## 13. Dosage du calcaire actif

### 13.1 Principe

Le calcaire actif correspond au calcaire fin, facilement solubilisé au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble. Le reliquat de

solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium .le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité .la méthode ne convient pas pour les sols humifères.

### 13.2 Réactifs

- Oxalate d'ammonium: solution 0.2N (14.2g /l)
- Permanganate de potassium ( $\text{kmno}_4$ ) : solution 0.2N (6.32g/l)
- Acide sulfurique concentré : 10 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +100ml l'eau distille

### 13.3 Mode opératoire

- Mettre 10 g de sol séché dans un flacon de 250 ml.
- Ajouter 250 ml d'oxalate d'ammonium 0.2N.
- Deux heures (02) d'agitation mécanique.
- Filtrer et jeter les premiers goûtes
- Le témoin : 10 ml d'oxalate d'ammonium 0.2N.
- Prendre 10 ml du filtrat, et mettre dans un bêcher de 100 ml
- Ajouter dans ce dernier 10 ml de  $\text{h}_2\text{so}_4$  1/10.
- Porter le continue du bêcher à une température de 60 °C.
- Mettre du ( $\text{kmno}_4$ ) : permanganate de potassium (0.2 N) dans une brute graduée procéder à la titration jusqu'à l'obtention d'une rose persistant.
- Lire la valeur et la comparaître avec celle du témoin.

- **Calcul**

$$(\text{V témoin} - \text{V éch}) * 12.5 \text{ en } \%$$

$$(\text{V témoin} - \text{V éch}) * 1.25$$

## 14. Détermination du phosphore assimilable

### 14.1 Principe

Le phosphore est dosé par ma méthode « Joret-Hébert » ou le sol agité à froid dans une solution aqueuse d'oxalate d'ammonium à  $\text{pH} = 7$ , a la température de 20 °C et sous agitation bien définie dans un rapport déterminée prise d'essai/ Solution, le respect du PH doit être

rigoureux, une variation du pH conduite à une variation de la quantité dissout du phosphore. Le dosage se fait par spectrophotométrie à 825 nm du complexe phosphomolybdique réduit par l'acide ascorbique en milieu sulfurique a chaud

#### 14.2 Préparation des solutions utilisées

- **Préparation de l'acide ascorbique :**

Mettez 0.5 g d'acide ascorbique dans 1/2 litre d'eau distillée (A renouveler chaque semaine).

- **Préparation du potassium di- hydrogénophosphate.**

(M= 136.099 )

Mettez 1.9 g du  $\text{KH}_2\text{P}_2\text{O}_4$  dans 01 litre d'eau distillée;

La solution obtenue contient 1g/l de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

- **Préparation de solution  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  de la gamme étalon.**

Mettez 10 ml de  $\text{KH}_2\text{P}_2\text{O}_4$  DANS 200 ml d'eau distillée

La solution obtenue contient 50 mg/l de  $\text{P}_2\text{O}_5$

- **Préparation de l'oxalate d'ammonium (0.2 N).**

Mettez 14.2 g d'oxalate d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée chaude versée dans une fiole jaugée, et ajustez à 1000 ml.

Vérifiez le pH de la solution (6 5-07) et ajustez avec 'NAOH ou HCL

- **Préparation du réactif sulfomolibdyque.**

- Mettez 37.5 g de molybdate d'ammonium dans un bêcher de 500 ml qui contient 150 ml d'eau distillée.

- Mettez 280 ml d'acide sulfurique dans un bêcher de 1000 ml qui contient 200 ml d'eau distillée.

- Laissez refroidir

- Mélangez doucement 1 avec 2 ; et ajustez à 1 litre.

- Couvrez la solution (ballon de couleur).

- **Préparation de la gamme étalon. Tube + appareil**

N° DU TUBE	T	1	2	3	4	5
<b>Solution KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (ml) (50 mg/l de p<sub>2</sub>o<sub>5</sub>)</b>	<b>0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
<b>Oxalate d'ammonium (ml)</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>
<b>Réactif sulfomolibdyque (ml)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Acide ascorbique (ml)</b>	<b>6.5</b>	<b>6.4</b>	<b>6.3</b>	<b>6.2</b>	<b>6.1</b>	<b>6</b>

-Mettez les tubes à essai contenant ce mélange au même temps que les tubes des prises d'essai dans le bain de marie. Pour une durée de 10 minutes

### 14.3 Mode opératoire

- Mettez 04 g de sol dans un flacon de 200 ml
- Ajoutez 100 ml d'oxalate d'ammonium
- Agitez durant deux (02) heures.
- Filtrez et ajustez le filtrat à 100 ml d'oxalate d'ammonium
- Prélevez 1.5 ml pour chaque prise d'essai

Ajoutez 02 ml du réactif sulfomolibdyque

Ajoutez 6.5 ml d'acide ascorbique

- Mettez le mélange dans des tubes à essai dan le bain de marie à une température de 80 c° durant 10 minutes, laissez refroidir.
- Transvaser le contenu dans des buses bien essuyées et passer dans le colorimètre sous onde de 710 nm
- Porter les lectures sur tableau de calcul.



**Figure14** : spectrophotomètre UV

- **Calcul**

$$\text{P2O5 ppm} = C/6*1000$$

C : Concentration

## 15. Mesure du PH

### 15.1 Mode opératoire

-peser 20 gramme de terre fine séchée à l'air (éléments  $\leq 2\text{mm}$ ) et les introduire dans un bécher de 100 ml.

-ajouter 50 ml d'eau distillée bouillie.

-brasser énergiquement la terre de manière à obtenir une suspension, soit avec agitateur en verre, soit avec un agitateur magnétique durant quelques minutes.

-abandonner durant deux heures le contenu du bécher

-avant de procéder à la mesure du pH, procéder à l'étalonnage du pH mètre

- juste avant d'introduire l'électrode dans la solution, remettre en suspension toute la terre à l'aide d'un agitateur.

- la lecture du pH se fait lorsque l'aiguille de l'appareil s'est stabilisée. En général la stabilisation est acquise au bout d'une minute, parfois elle ne se fait qu'au bout de 2, 3 ou 4 minutes.

- après chaque mesure rincer les électrodes avec de l'eau distillée et les essuyer avec du papier joseph.



**Figure 15** : pH mètre



**Figure16** : conductimètre

## **16. Mesure de la conductivité de l'extrait aqueux 1/5**

### **16.1 Mode opératoire**

- placer dans un flacon de 500 ml à agitation 10 g de terre tamisée à la maille de 2 mm et 50 ml d'eau distillée,
- Agiter 5 minutes à l'agitateur en verre soit avec un agitateur magnétique.
- Laisser reposer une heure.
- Mesurer de la conductivité par conductimètre.

## **17. Détermination de dosage de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> par méthode de filtration(CEC)**

### **17.1 Principe**

La capacité d'échange cationique d'un sol (CEC) traduit la faculté de celui-ci à fixer certains éléments minéraux à la surface du complexe argilo-humique. Ces minéraux pourront être restitués ensuite aux plantes par des phénomènes d'échange (décalcification). cette mesure permet d'affiner le conseil de fumure.

### **17.2 Mode opératoire**

- Verser les trois couches suivantes dans le tube de percolation :
  - une première couche de sable purifié (10g).
  - une deuxième couche de sol mélange avec de sable (10g sol+10g sable).
  - une troisième couche de sable purifié (10g).
- au dessous de ces trois couches on met du coton (0.4g).
- dans une ampoule jaugée munie d'un robinet et placée au dessus du tube de percolation, verser 250 ml d'acétate d'ammonium.
- faire couler la solution d'extraction en fermant l'orifice du tube de percolation.
- laisser macérer au moins une nuit.
- ouvrir le robinet de l'ampoule et l'orifice de l'écoulement.

-on recueille le percolât dans une fiole jaugée de 250ml. quand la percolation est achevée, ajuster au volume avec l'acétate d'ammonium, homogénéiser et conserver en flacon bouché.

-le percolât contient des cations échangeables qui seront dosés par spectrophotomètre à flamme. Effectuer un témoin dans les mêmes conditions (remplacer le sol par un sable).



**Figure17** : spectrophotomètre à flamme

## **1. Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau**

Nous avons effectué l'ensemble des analyses pour caractériser les eaux d'irrigation utilisées afin d'apprécier leurs propriétés physico-chimiques.

Ces analyses concernent la détermination des paramètres de pollution tels que la DCO, DBO5, MES, pH, CE et turbidité. Ces paramètres ont été suivis mensuellement (pendant 4 mois) pour les eaux brutes et traités.

### **1.1 Potentiel d'hydrique**

Les variations de pH des eaux sont présentées dans la figure 18. D'après l'échelle d'interprétation du pH (eau) (annexe 02), le pH des eaux entrées de la STEP sont des eaux alcalines de 7,8 à 8 pour les quatre mois par rapport aux eaux de sortie qui sont, dans la deuxième semaine du premier mois, fortement alcalin de pH=8,59 par contre pour les autres trois mois le pH des eaux est alcalin. Selon les normes algériennes, le pH des eaux épurées varie entre 6.5 et 8.5

Les résultats de l'écart type montrent qu'il y a des différences de pH entre les eaux brutes (alcalines) et les eaux traitées qui sont fortement alcalin.

La variation du pH de l'eau potable (figure19) indique que ces valeurs varient entre 7,87 et 7,92 (classe alcaline).

### **1.2 Conductivité électrique**

Nous avons remarqué (figure 20) que la conductivité électrique est plus élevée dans les eaux d'entrée de 1400 à 1600 us/cm contre 1200 us/cm à 1300us/cm pour les eaux épurées. Selon la norme Algérienne (Journal officiel, 2012), les résultats obtenus de la CE des eaux épurées ne dépassent pas les normes (3000 us/cm).

#### **Résultats de la conductivité électrique de l'eau potable**

L'histogramme présenté (figure 21) montre la variation de la conductivité électrique de l'eau potable où la valeur minima enregistrée est de 771us/cm vs une valeur maximum de 781 us/cm. Ces résultats montrent que la CE de l'eau potable ne dépassant pas les normes.

### **1.3 Résultats des analyses de la turbidité et MES**

Les teneurs obtenues de matières en suspension dans les eaux usées (figure 22) dépassent les normes recommandées de 100 à 340 mg/l pour les quatre mois. Et pour les eaux épurées la teneur de 21 mg/l ne dépasse pas la norme.

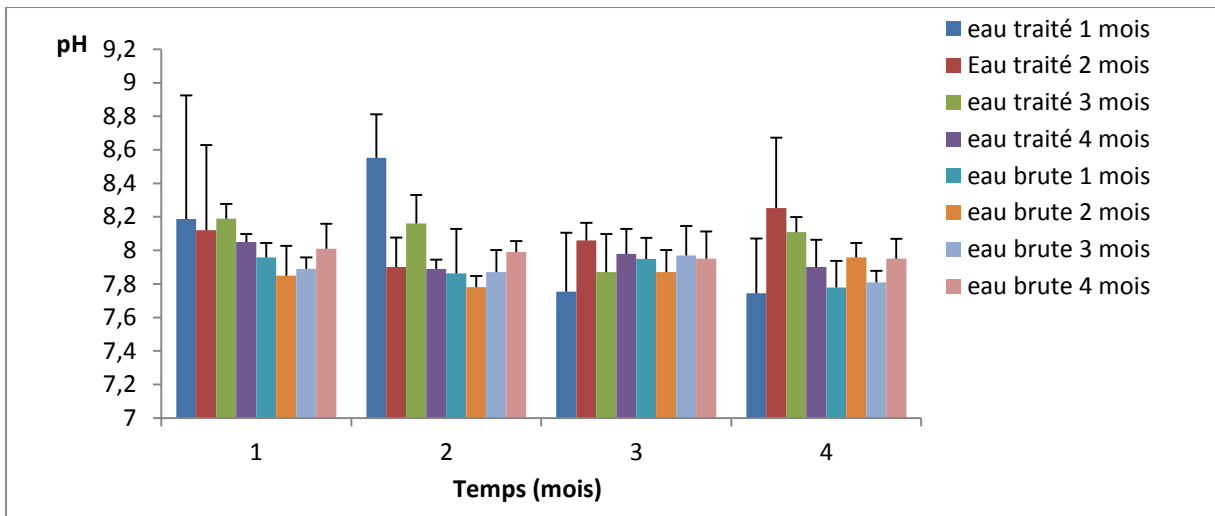


Figure18 : Evolution de PH de l'eau traitée et brute

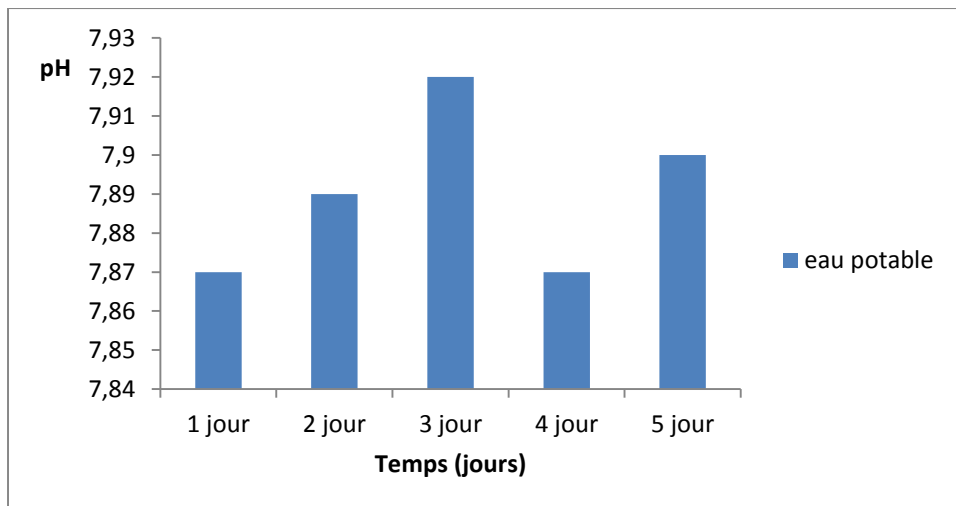


Figure 19 : Evolution de PH de l'eau potable

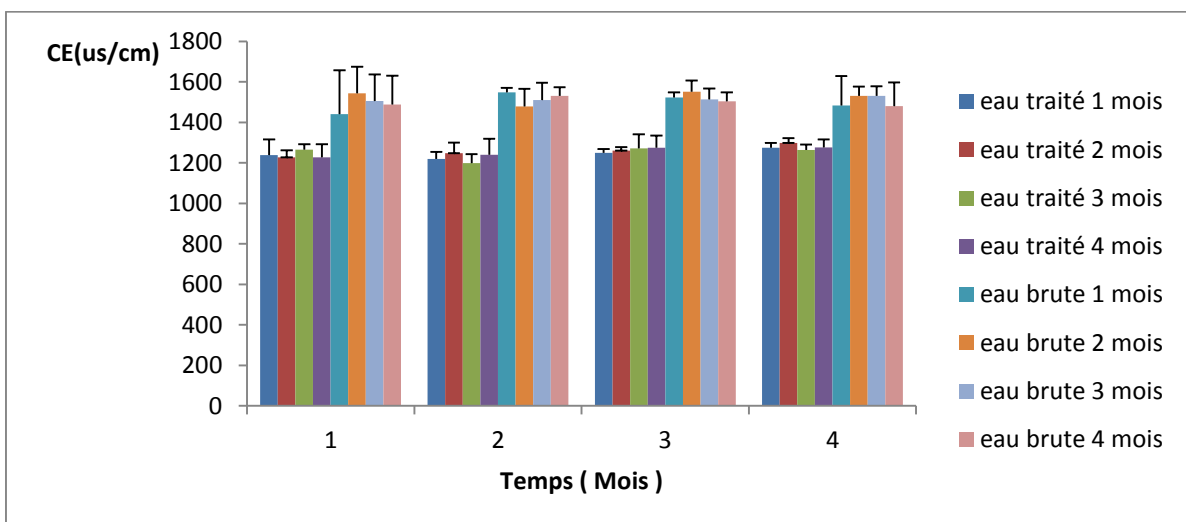
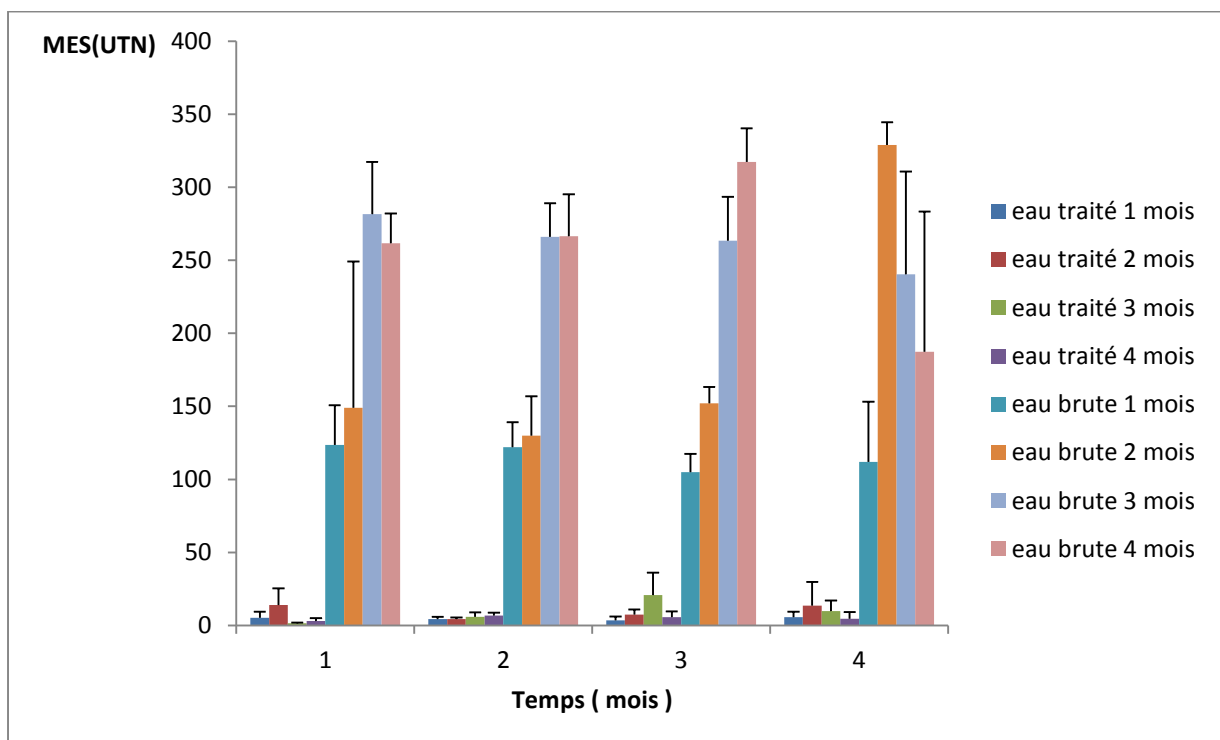


Figure20 : Evolution de la conductivité électrique de l'eau traitée et brute



**Figure 21:** Evolution de la conductivité électrique de l'eau potable



**Figure 22:** Evolution de la MES de l'eau traitée et brute

Pour le paramètre de turbidité, nous avons remarqué qu'elle est très élevée dans les eaux usées avec des valeurs entre 120 et 340 NTU dans le premier et deuxième mois, et elle augmente à 450 NTU au quatrième mois par contre les eaux épurées ne dépassent pas 5NTU. Le traitement des eaux usées concernant la turbidité est efficace. Ces valeurs restent toujours inférieures aux normes algériennes de rejets (50 UTN).

Les résultats de l'écart type montre que il y a une différence entre les valeurs de la MES de l'eau brute par contre il n'y a pas de différence entre les valeurs de l'eau traitée.

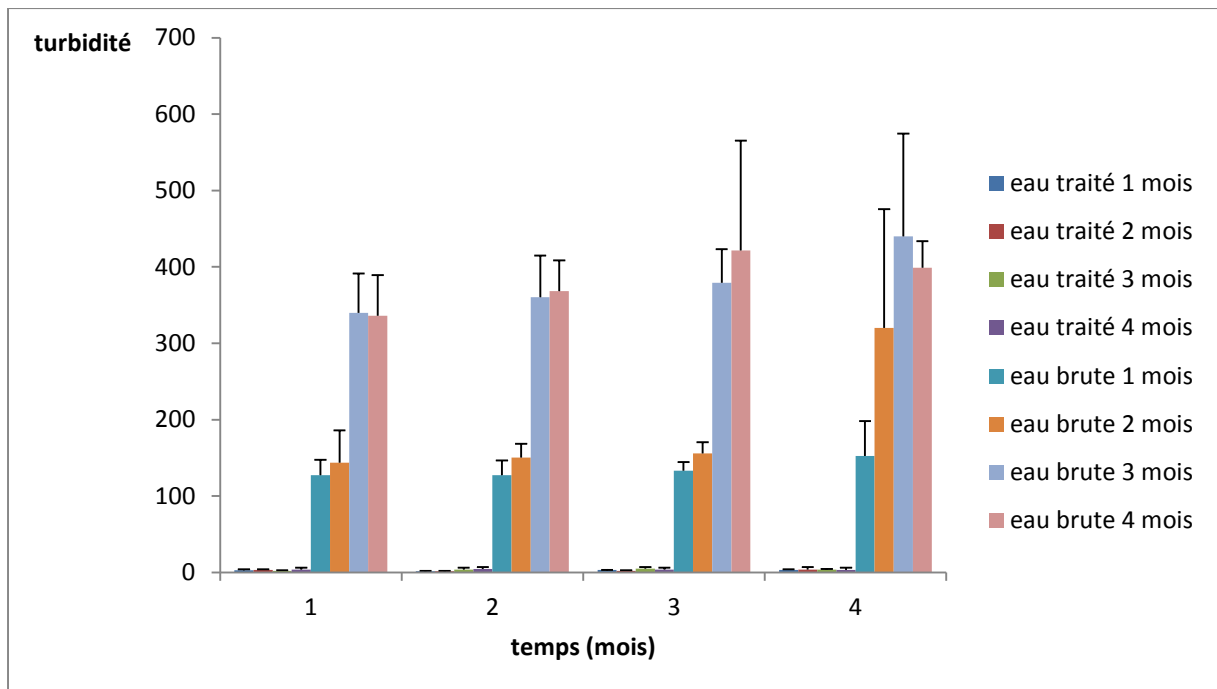
#### **1.4 Résultats des analyses de DBO5 et DCO**

D'après les histogrammes (figures 25 et 26) de l'évolution de teneur de la DBO5 et DCO, nous avons remarqué que la charge organique dans les eaux d'entrée est supérieure par rapport aux eaux de sortie. On a enregistré une valeur maximal en DBO5 de l'ordre de 400 mg/l de même pour le paramètre de DCO dont les valeurs varient entre 300 à 600 mg /l. Par contre la charge de ces paramètres dans les eaux traitée ne dépasse pas 5 mg/l pour la DBO5 et 55,8 mg/l pour la DCO. Selon les normes (Journal officiel, 2012) uniquement les eaux usées épurées ne dépassent pas ces normes.

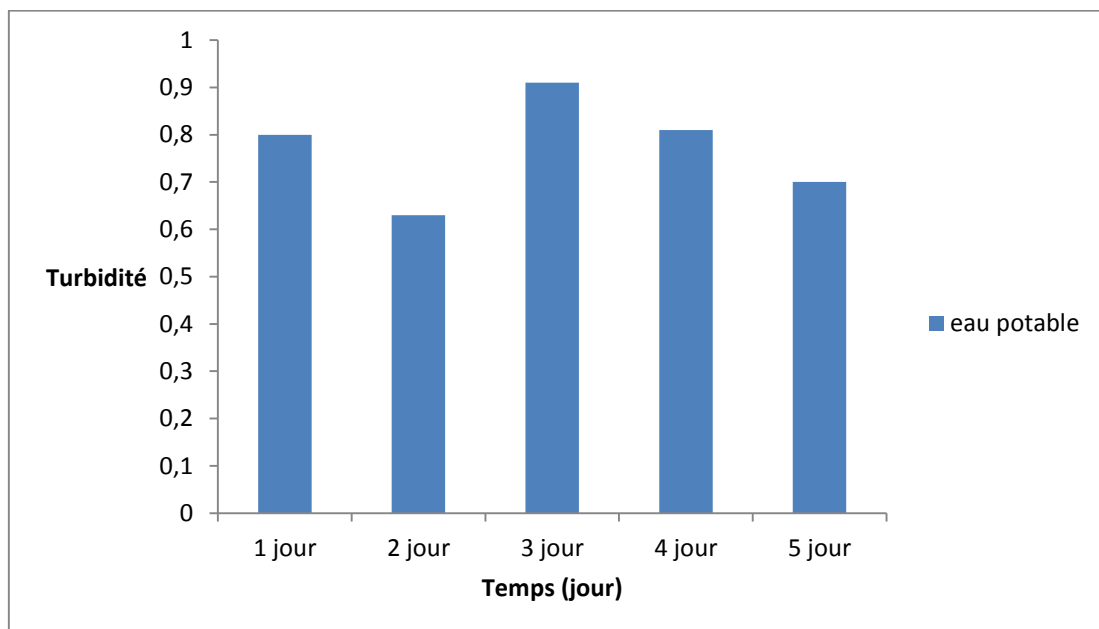
Ces résultats montrent qu'il ya une influence du traitement dans l'épuration des eaux usées parce que on a remarqué une diminution de la charge de DBO5 jusqu'à 5 mg/l. La même chose pour la charge de DCO qui à diminuée à 55,8 mg/l. Les valeurs de la DBO5 et DCO sont inférieures aux normes algériennes.

#### **Conclusion**

D'après les analyses réalisées sur les différents types des eaux (eau usée et eau potable), nous constatons que le traitement des eaux usées par lagunage est une méthode plus efficace, mais elle nécessite un traitement chimique pour compléter ce traitement.



**Figure23** : Evolution de la turbidité de l’eau traitée et brute



**Figure24** : Evolution de la turbidité de l’eau potable

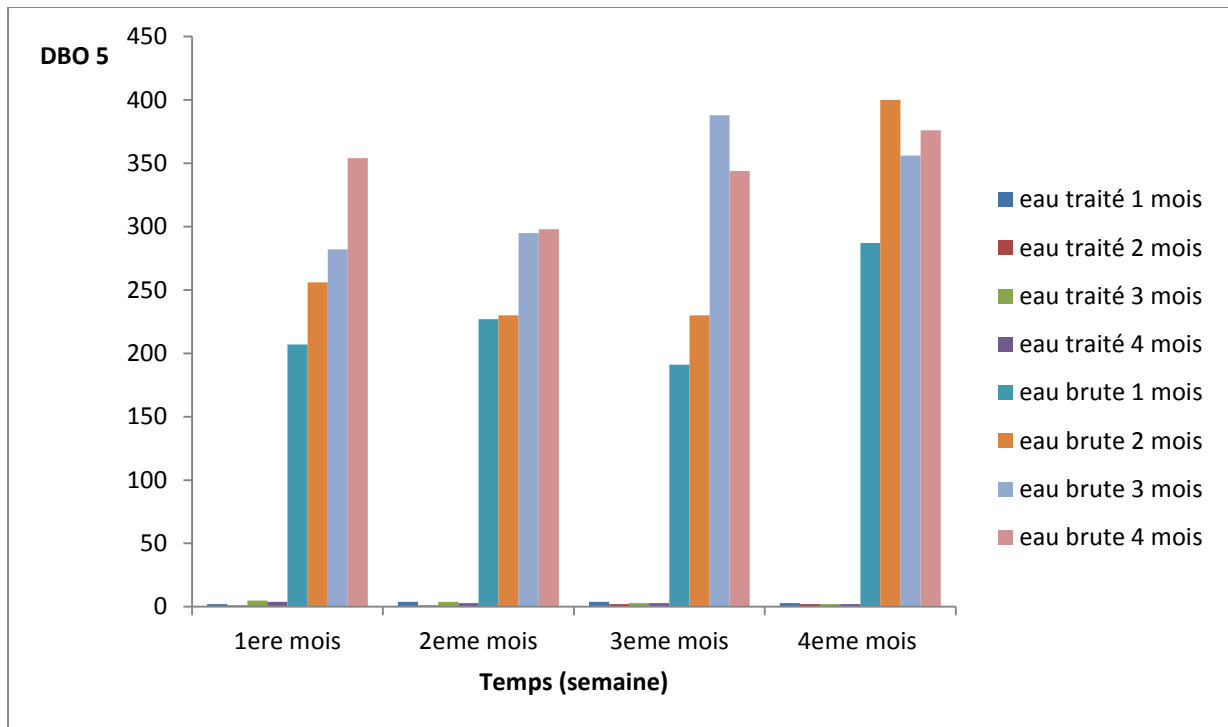


Figure 25: les valeurs de paramètre DBO5 de l'eau traitée et brute

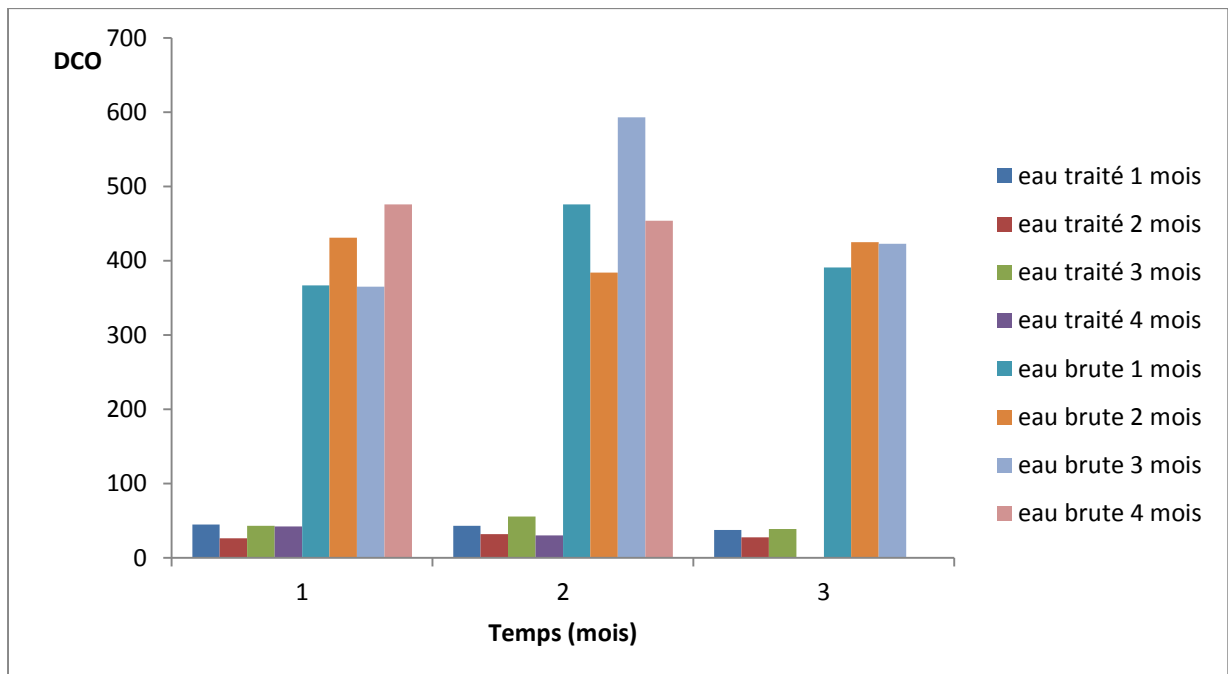


Figure26 : valeurs de paramètre DCO de l'eau traitée et brute

## 2. Analyse du sol

Les analyses concernent 25 échantillons avec cinq répétitions. Les résultats obtenus pour les 25 échantillons de sol, soit 5 échantillons pour chaque bloc avec cinq répétitions.

### 2.1 Résultats physiques des analyses du sol

#### 2.1.1 La granulométrie

Les compositions granulométriques des sols des trois blocs, représentées par les moyennes des pourcentages de l'argile, le limon et le sable sont mentionnées dans les tableaux 05, 06 et 07. Nous remarquons que la fraction granulométrique dominante est la fraction sableuse

	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Sol non irrigué	11,04	7,79	81,16

**Tableau 05** : résultats de texture des sols avant l'irrigation

D'après le tableau 05, la moyenne de la fraction sableuse représente 81,16 %. Ainsi, les résultats de la texture du sol avant l'irrigation est sablonneuse.

	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
<b>Après 2 mois d'irrigation</b>	18,686	3,772	77,542
<b>Après 4 mois d'irrigation</b>	17,746	1,684	80,57

**Tableau 06** : résultats de texture des sols irrigués par l'eau traitée

D'après le tableau 06, nous observons que la moyenne de la fraction argileuse représente 18,68 % pour le sol après deux mois d'irrigation avec EUT et de 17,74 % pour le sol après quatre mois d'irrigation avec EUT. Pour la moyenne de la fraction limoneuse, elle représente un taux de 3,772% après deux mois et 1,68 % après quatre mois d'irrigation par EUT.

Concernant la fraction sableuse, elle est variée entre 77,542% et 80,57% , la texture du sol est limon sableux.

	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
<b>Après 2 mois de irrigation</b>	10,646	7,296	82,058
<b>Après 4 mois de l'irrigation</b>	9,02	9,974	81,006

**Tableau 07**: résultats de texture des sols irrigués par l'eau potable

Dans le tableau 07, nous remarquons que la fraction sableuse, varie entre 82,058 % et 81,006 % pour le sol irrigué par l'eau potable, et la moyenne de la fraction limoneuse représente 7,296 % et 9,974 %. Les résultats de la texture du sol irrigué par l'eau potable est sable grossie.

## **2.2 Résultats des analyses chimiques du sol**

### **2.2.1 Carbone organique**

D'après l'histogramme (figure 28), le taux de la matière organique, après deux mois d'irrigation est de l'ordre 1,29 % pour les sols irrigués par EUT, et de 1,44 % après quatre mois d'irrigation par EUT. Pour les sols irrigués par l'eau potable, elle est de 1,67 % après 2 mois d'irrigation et de 1,47 % après quatre mois. Pour les sols non irrigués, on a une diminution de l'ordre de 0,73 %. Selon l'échelle d'interprétation de la matière organique (annexe 04), les sols qui sont irrigués avec les eaux épurées et/ou les eaux potables sont pauvres en matière organique. Par contre, les sols non irrigués sont très pauvre en matière organique.

Les résultats de l'écart type obtenus indiquent qu'il ya une différence entre le taux de la matière organique dans les sols non irrigués et les sols irrigués par contre pour les sols irrigués par EUT et EP, il n ya pas une grande différence

### **2.2.2 L'azote total**

Dans notre cas, nous avons étudié la teneur du sol en azote totale, qui est l'ensemble de toutes les formes d'azote, aussi bien minérale qu'organique présente dans le sol, excepté l'azote gazeux (N<sub>2</sub>). A partir de l'histogramme (figure 29), la teneur de l'azote totale des sols irrigué par EUT après deux mois d'irrigation est de 0,06 % qui augmente à 0,07 % après quatre mois d'irrigation. La même variation pour les sols irrigués par l'eau potable, elle est de 0,08 % après deux mois d'irrigation ensuite elle diminue à 0,07 % après quatre mois d'irrigation. Pour les sols non irrigués, elle est de 0,04 % de la teneur de l'azote totale. Selon l'échelle d'interprétation de l'azote totale (annexe 05), les sols irrigué par EUT et EP sont des sols faible en azote totale. Les résultats de l'écart type de la teneur de l'azote totale obtenue montrent une différence entre les valeurs des sols non irrigués et les sols irrigués.

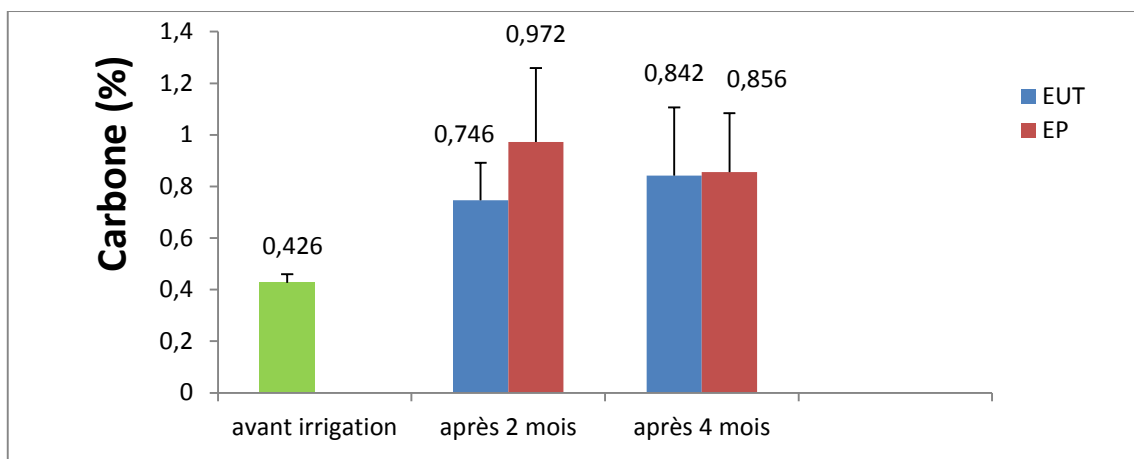


Figure 27 : teneur de carbone organique du sol

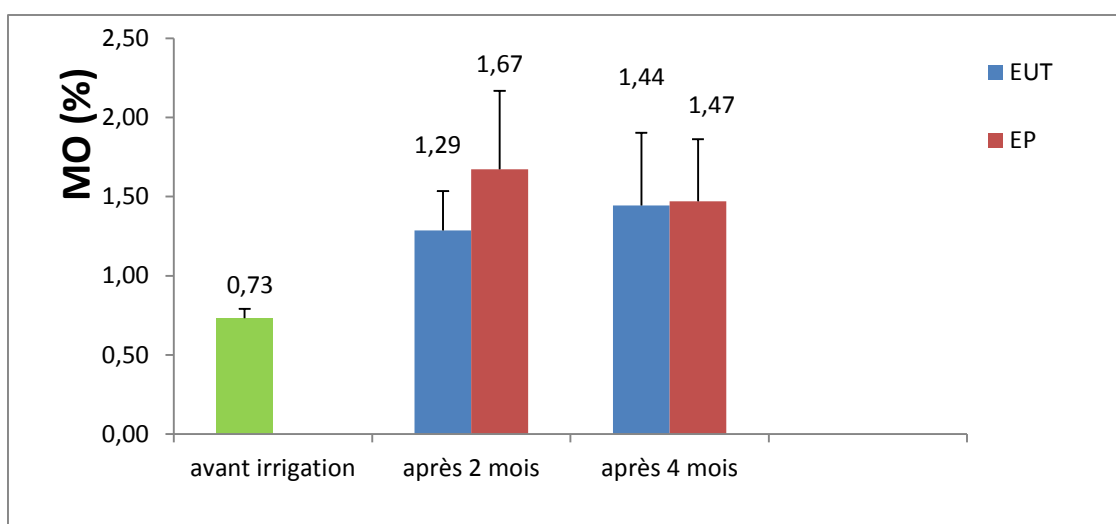


Figure28 : Evolution du taux de matière organique du sol

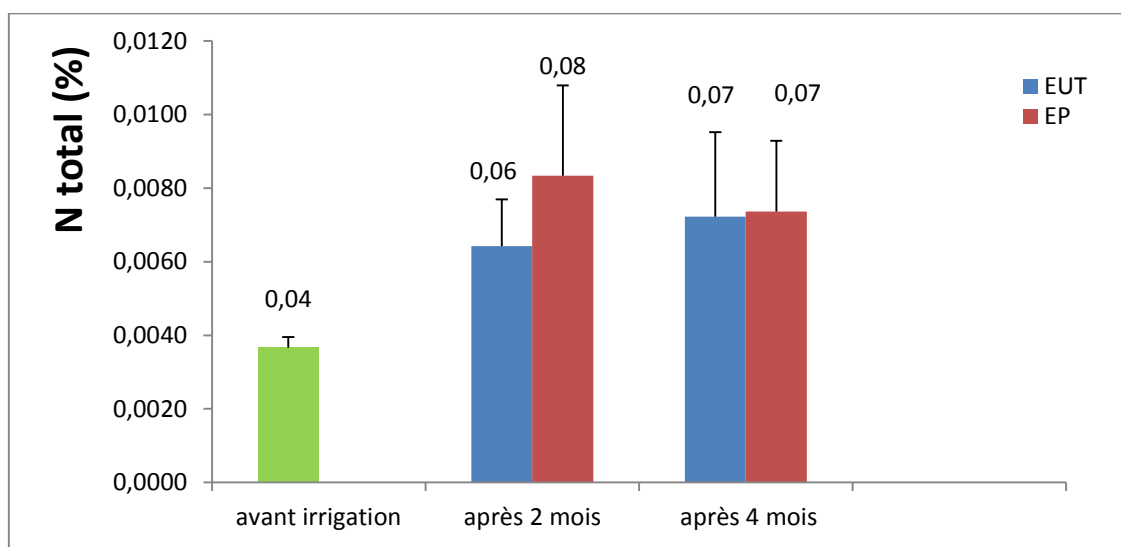


Figure 29 : Evolution du teneur de l'azote total

### 2.2.3 Phosphore assimilable

Les résultats d'analyse du phosphore assimilable du sol sont représentés dans la figure 30. Le taux de phosphore assimilable déterminé dans les sols étudiés varie entre 42,13 mg/kg après deux mois d'irrigation par EUT, et 68,03 mg/kg après quatre mois d'irrigation. Par contre le sol irrigué avec l'eau potable, le taux passe de 67,74 mg/kg (après deux mois d'irrigation) à 63,97 % (après quatre mois d'irrigation). Le taux dans les sols non irrigués est de 37,52 mg/kg.

Les eaux usées épurées, riche en phosphore, augmente la richesse du sol en phosphore assimilable de même pour les sols irrigués par l'eau potable. Les résultats de l'écart type pour le taux de phosphore assimilable indiquent une différence entre le taux de phosphore assimilable pour les sols non irrigués et les sols irrigués par contre il n'y a pas de différence entre les sols irrigués par EUT et EP.

### 2.2.4 Calcaire total du sol

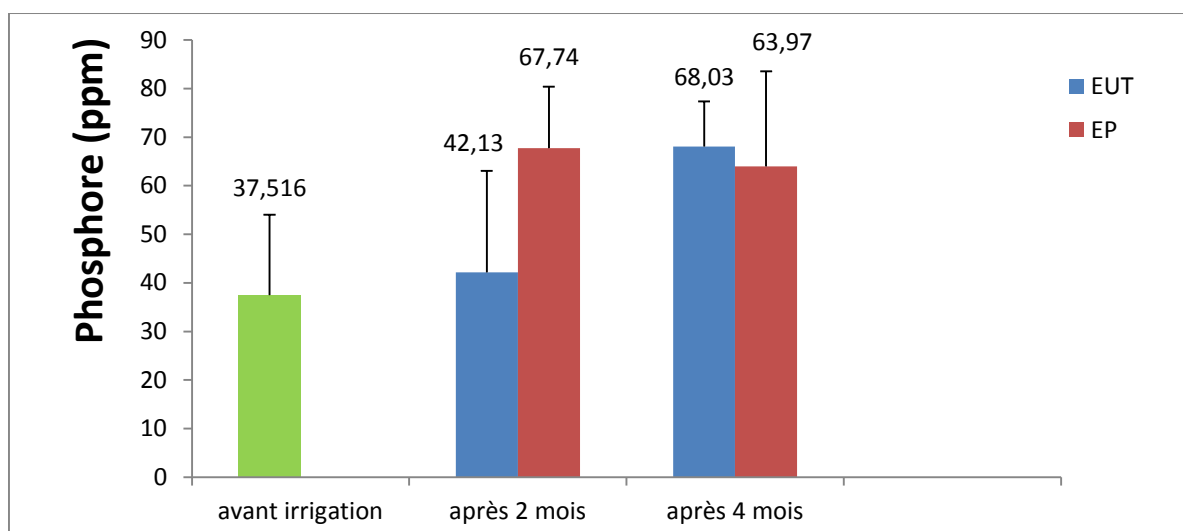
D'après la (figure 31) de l'évolution de calcaire totale. Nous ne constatons que le sol irrigué par les eaux épurées à un taux de 9 % à 9,17%. Ces teneurs augmentent avec les sols irrigués par l'eau potable (9,25 %), et les sols non irrigués (9,37 %).

On considère d'après l'échelle d'interprétation de calcaire totale (annexe 06) que les sols irrigués par EUT et EP sont des sols modérément calcaire de même pour les sols non irrigués. On ne remarque pas d'effet de l'eau d'irrigation sur l'augmentation de teneurs de calcaire total.

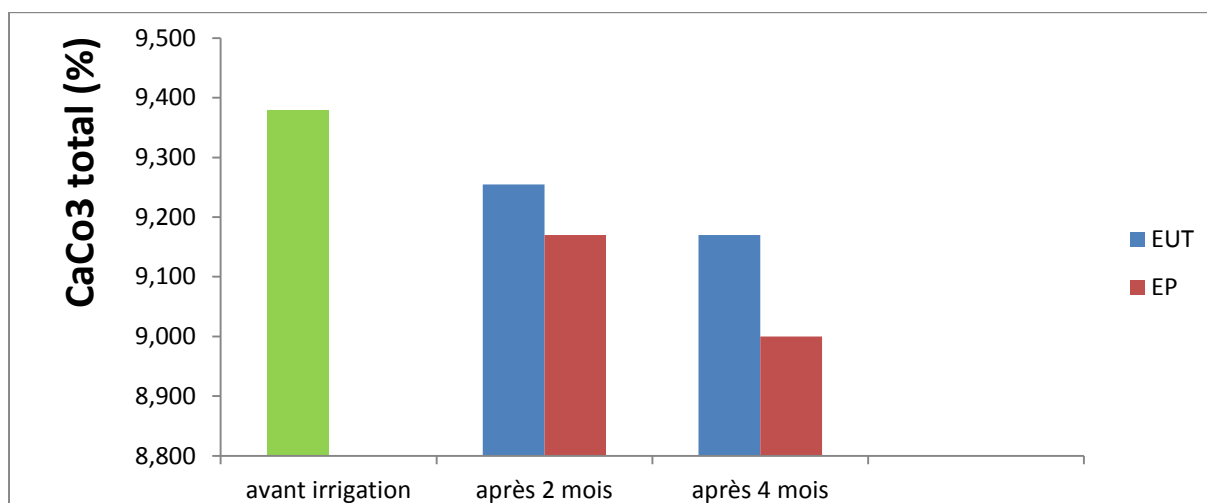
## 3. Résultats des analyses physicochimiques du sol

### 3.1 pH du sol

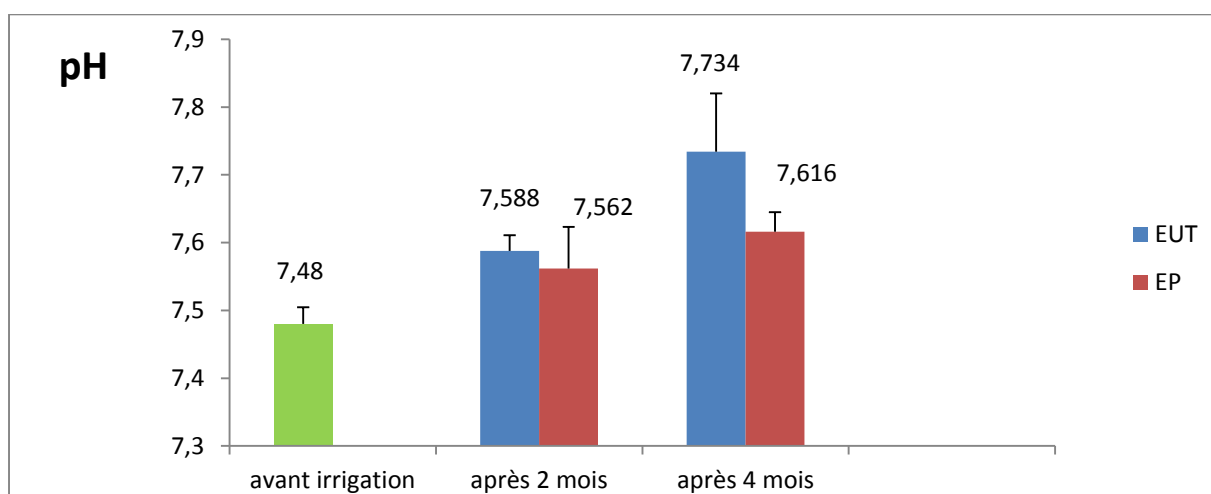
Les résultats du pH obtenus à partir de la moyenne des mesures effectuées sur 25 échantillons de sols irrigués par deux types d'eaux sont présentés dans la figure 32. On remarque d'après l'échelle d'interprétation (annexe 07) que les moyennes des mesures du pH varient dans les sols. Ceux irrigués avec les eaux EUT sont des sols basiques, avec des valeurs comprises entre 7,58 et 7,73 et pour les sols irrigués avec l'eau potable, le pH varie entre 7,56 et 7,61, ce sont aussi des sols basiques. Les sols non irrigués sont des sols neutres.



**Figure 30 :** Evolution de phosphore assimilable



**Figure 31:** Evolution de calcaire totale de sol



**Figure32 :** Evolution de PH du sol

### 3.2 Conductivité électrique du sol

D'après l'histogramme (figure 33) de la conductivité électrique du sol, elle varie de 0,14 à 0,23 dS/cm pour les sols irrigués par les eaux usées traitée qui exprime un sol non salé. Selon les normes (annexe 08), à 0,27 dS/cm pour les sols irrigués avec l'eau potable, et de 0,08 dS/cm dans les sols non irrigués, ceci indique que le sol est non salé.

### 3.3 Les cations échangeables

Le complexe colloïdal du sol a la propriété d'absorber des ions notamment des éléments minéraux indispensable à la nutrition des végétaux. Ces éléments sont remplaçables par d'autres au niveau du complexe adsorbant, on dit qu'ils sont échangeables (Aubert, 1978). D'après l'histogramme de teneurs de sodium (figure 34), ces valeurs varient de 0,48 méq/100 g à 0,55 méq/100 g dans les sols irrigués par les EUT, et entre 0,14 méq/100 g à 0,31 méq/100 g dans les sols irrigués par l'eau potable. Les faibles teneurs de sodium sont égales à 0,16 méq/100g dans les sols non irrigués.

Cette augmentation dans les sols irrigués avec les eaux usées traitée implique qu'il ya une influence de l'irrigation par les EUT sur la teneur de sodium.

Les résultats du dosage du potassium  $K^+$  sont représentés dans la figure 35. Le potassium dans les sols non irrigués est égale à 0,16 méq/100 g, par contre la teneur du même élément est égale à 0,20 méq/100 g dans les sols irrigués par les EUT et de 0,41 méq/100 g dans les sols irrigués par EP. La diminution est remarquable entre les sols irrigués par les EUT et EP après quatre mois d'irrigation.

## 4. Résultats des rendements de pomme de terre

Le nombre de tubercules de pomme de terre récoltés (annexe09) est de 13 tubercules avec un poids total de 270 g et un diamètre moyen de l'ordre de 12.5 cm pour les sols irrigués par EUT par contre pour les sols irrigués par l'eau potable, la quantité récolté était de 428.50 g pour 17 tubercules et un diamètre moyen de 12.5 cm.

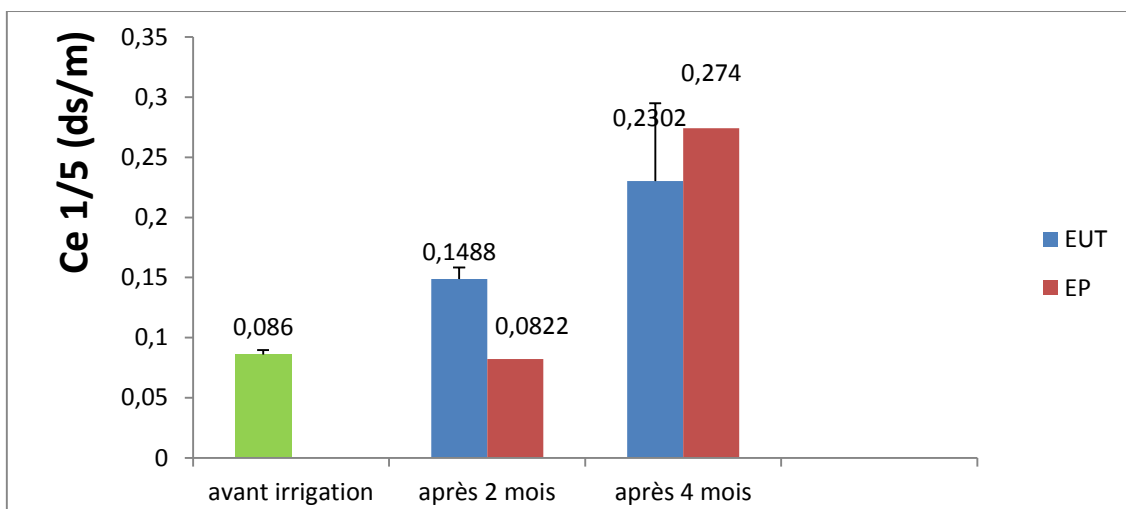


Figure 33 : Evolution de la CE du sol

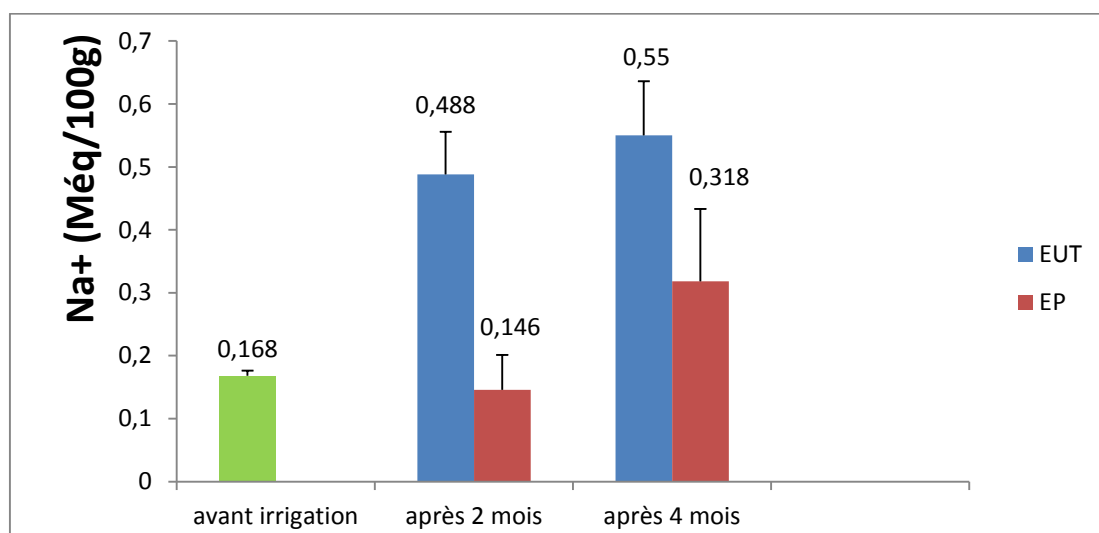


Figure 34 : Evolution de potassium du sol

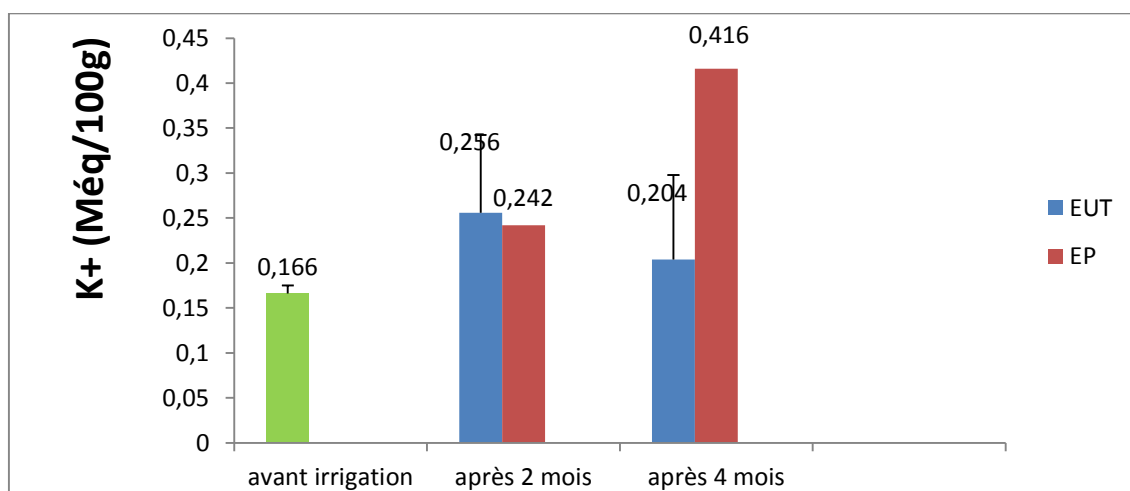


Figure 35 : Evolution de sodium du sol

### **Conclusion générale**

L'objectif de cette étude est de voir l'effet de l'irrigation par les eaux usées domestiques traitée sur la fertilité du sol.

Les résultats obtenus montrent que les sols irrigués avec les eaux usées traitées (EUT) sont des sols basiques de pH 7.37 avec une conductivité électrique qui varie de 0,14 à 0,23 dS/cm (sol non salé).

Les sols irrigués par EUT ont généralement des teneurs faible en azote totale, pauvre en matière organique et riche en phosphore. Par contre les sols non irrigués sont très pauvre en cet élément.

Le sol étudié a une teneur modéré en calcaire, l'irrigation par les EUT n'influent pas sur le taux de calcaire du sol.

Les eaux usées traitées contribuent aussi à améliorer la fertilité des sols en cations échangeables

Au terme de cette étude, et suite aux résultats obtenus, Il semble que les eaux utilisées à l'irrigation (EUT) ont un effet améliorant sur les propriétés du sol, et contribue dans leur richesse en éléments fertilisants (MO, phosphore assimilable et les cations échangeables).

## Références bibliographique

- Abbas S.T., Sarfraz M., Mehdi S.M., Hassan G. et Obaid-Ur-Rehman (2007)**, Trace elements accumulation in soil and rice plants irrigated with the contaminated water; *Soil & Tillage Research* 94 503–509
- Abdessalem F., 1990** : Contribution a l'étude de trois amendements organique (fumier de fermes, fientes de volailles, compost urbain).
- Al-Nakshabandi G.A., Saqqar M.M., Shatanawi M.R., Fayyad M., Al-Horani H. (1997)**, Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. *Agricultural Water Management* 34 81-94
- Andreadakis A., Gavalaki E., Mamais D., Tzimas A. (2003)**, Wastewater reuse criteria in Greece. *Global Nest: the Int. J.* Vol 5, No 1, pp 9-14,
- Andreozzi R., Raffele M. and Nicklas P. (2003)**, Pharmaceuticals in STP effluents and solar photodegradation in aquatic environment, *Chemosphere*, 50, 1319–1330.
- Asano T. (1998)**, Wastewater reclamation and reuse. *Water quality management library*, 1475 pages.
- Asano T., Cotruvob J.A., (2004)**, Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research* 38, 1941–1951
- Aulicino E A., Mastrantonio A., Orsini E, Bellucci C., Muscillo M.and Larosa G. (1996)**, Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. *Water, Air, and Soil Pollution* 91: 327-334,
- Baeyens J, 1967**. Nutrition des plantes de culture. Paris. Béatrice-Nauwelaerts .676 P. thème master « impact des eaux uses épurées sur la fertilité phospho-azoté des sols à Ouargla ; université kasdi merbah Ouargla P 146.
- 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.

**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.

**Belgiorno V., Luigi Rizzo, Despo Fatta, Claudio Della Rocca, Giusy Lofranoa, Anastasia Nikolaou, Vincenzo Naddeo, Sureyya Meric (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-azoté des sols à Ouargla ; université kasdi merbah Ouargla P 146.

**Bissati., 1996 :** Optimisation de la cryoconservation d'apex de *Solanum phureja*

**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

**Bøckman O, 1990.** Agriculture et fertilisation .11 rue Lavoisier F-75384 Paris Cedex 08.Lavoisier .258P.

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

**Boutin C, Heduit A et Helmer J M, 2009.** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées Ed. ONEMA – Direction de l'Action Scientifique et Technique. Paris, p-p : 9-100.

**Boyer J., 1973.** Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés. Compte Rendu du 10 e Colloque de l'Institut International de la Potasse, Abidjan, Côte d'Ivoire. pp. 83-102.

**Brady, N.C., Weil, R.R., (2002), The Nature and Properties of Soils, 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. In : 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

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

**Canler J P, Perret J M, Duchene P et Cotteaux E, 1999.** Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues actives. Ed .cemagref. p.p: 11-155.

**Charfi D., (1995);** Effet des eaux usées traitées sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur la physiologie de quelques espèces végétales cultivées au périmètre d'ElHajeb(Sfax). Thèse en écologie végétale, Fac. Sci. de Sfax.

**Crini G et BADO P M, 2007.** Traitement et épuration des eaux industrielles polluées .Ed. presse universitaires de franche – comté .2009.p.p :40-352.

**DARPOUX R., 1967 :** Les plantes sarclées Paris : maison rustiques, 399 p

**Dénis J.F., 2000.** La fertilisation de l'olivier en potassium et en magnésium. Association française interprofessionnelle de l'olive (AFIDOL), France, 5p.

**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.

Edition. 427 p. enrobage-déshydratation, en présence de saccharose. Etude sur l'effet de différentes substances cryoprotectrices. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes 1. France. 107p

**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

**Fars S., Bousselhaj K., Nejmeddine A., Ouazzani N. Laghmari A. et Bouadili A. (2003)**, Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture: Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu, Cd et Cr). Séminaire internationale: Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration: optimisation, valorisation et durabilité, septembre 2003,

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

**Gaid A, 1993.**Traitement des eaux usées urbaines Mise à jour du texte de J. SIBONY et B. BIGOT Ed, Techniques de l'Ingenieur, traite Construction. P-P : 30-3.

**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.

**Hade A, 2002.** Nos lacs –les connaître pour mieux les protéger. Éd Fides. 360 p.[www.mddep.gouv.qc.ca](http://www.mddep.gouv.qc.ca)

**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., Abedi koupai 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.

**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.

**<http://www.ecosociosystemes.fr/potassium.html>** : Le potassium. Consulté le 2 juillet 2013.

**Journal officiel de la république algérienne N°41, 2012.** Conventions et accords internationaux – lois et décrets arrêtes décision avis communications et annonces.

**Junger J.F. (2000)**, The reuse of urban waste water in agriculture: European Research on Treated Wastewater Reuse in Agriculture. *Urban Technology Network Project 10th*, 7 pages.

**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

**Kleinkopf G.E., 1983:** Potato in crop-Water relation. TEARE ID : 287-305

**Ladjel, F., et Bouchefer S. 2005.** « Exploitation d'une station d'épuration à boues activées » Niveau 2 . ONA, 72p .

**Ladjel, F., et Bouchefer S. 2005.** « Exploitation d'une station d'épuration à boues activées » Niveau 2, theme , CFMA ( centre aux métiers de l'assainissement). BOUMERDES 90p.

**Lazarova V. et Brissaud F. (2007)**, Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299

**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

**Loué A., 1977**. La fertilisation potassique des sols à fort pouvoir fixateur. I.N.A. Département d'Agronomie de la S.C.P.A. - MULHOUSE. Revue« Dossier K20 »N°7

**Madec et Perennec en 1962**: Les relations entre l'induction de la tubérisation et la croissance chez la pomme de terre. Ann. Physio. Veg pp 05-83.

**Madec P, 1966** : Croissance et tubérisation de la pomme de terre. Bull. soc. Fr. Physio.

**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

**Magny J. et Baur J., 1990**. Pour comprendre les analyses de terre. Revue « Purpan », Laboratoire « Europe-Sol »,41-42 (nouveau tirage), Purpan, Toulouse, pp. 145-222

**Mhiri A., 2002**. Le potassium dans les sols de Tunisie. Atelier sur la gestion de la fertilité potassique, acquis et perspectives de la recherche, Tunisie, IIP. Thème: Relation entre potassium échangeable, matière organique et teneur en argile des sols dans les rotations coton-céréales sous culture.Université polytechnique de bobo-dioulasso P 58.

**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

**Mohammad Rusan M..J., Hinnawi S., Rousan L., (2007)**, Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination 215, 143–152

**OMS (1989)**, L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : 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

**Ouali M S, 2001.**Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Office des publications universitaires1. place central de ben- Aknon (Alger) .p.p :12-156.

**Papaiacovou I. (2001)**, Case study- wastewater reuse in Limassol as an alternative water source, Desalination 138, 55-59

**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/>.

**Pereira L., Oweis S. T.et Zairi A., (2002)**, Irrigation management under water scarcity. Agricultural water management, 57, 175-206

**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

**Pousset .Joseph, 2002.** Engrais verts et Fertilité des sols. 8 cité Paradis 75493 PARIS Cedex 10. Editions Agridécisions .303 P.

**Pousset. Joseph, 2011**, les analyses de terre,. Engrais verts et fertilité des sols : principes agronomiques, pratiques agricoles.2<sup>eme</sup> Edition, septembre 2002, Paris.303pages.

**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

**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. (2005).** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris, 1384p.

**Scott, C., Faruqui N.I. and Raschid L. (eds) (2004),** L'utilisation des eaux usées dans l'agriculture irriguée: faire face aux moyens d'existence et aux réalités environnementales, New Scientist, 18 août 2004 in sources nouvelles, actualités du secteur eau et assainissement, Edition Spéciale No. 16, novembre 2005

**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., 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

**Soltner., 1979 :** Les grandes production végétales phytotechnie spéciale. 10<sup>é</sup>mé.

**Sountoura F., 2011.** Influence du potassium sur les rendements et les caractéristiques technologiques de la fibre de cotonnier conventionnel dans les zones cotonnières est et ouest du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural, UPB, Burkina Faso, 49p.

**Suarez D.L., James D. Wood, Scott M. Lesch, (2006),** Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain–irrigation management system. Agricultural water management 86,150 – 164

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

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

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

**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

**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

## Annexe 1 : Traitement des boues

### Principe

Les différents échantillons de boues (aérées, digérées et recirculées) sont centrifugés et le culot repris dans de l'eau distillée et ce deux fois. On récupère enfin le culot dans une coupelle d'aluminium pré séchée à 105 °C puis pesée à vide et on étuve le tout à 105 °C. On pèse enfin la coupelle et son contenu après dessiccation : on calcul les matières en suspension MES.

Cette même capsule est enfin placée 2 h à 550 °C ce qui permet d'éliminer les matières volatiles sèches par calcination. On pèse la coupelle après calcination et on calcul les MVS.

### Mode opératoire

Prendre le poids de capsule vide  $m_0$

Utiliser huit tubes de 6 ml de la boue

Placer dans la centrifugeuse de 2000 tours par minute pendant 10 min

Raser la matière décante par l'eau distillée on ajouter dans la capsule

Placer dans l'étuve pendant 24 h à 105 °C

Prendre le poids de capsule  $m_1$

### Calcul matière sèche (bassine d'aération et l'épaissies)

$$MS = (m_1 - m_0) / V * 1000$$

### Pour le MVS

La même mode opératoire de la matière séché et après calcination dans for à mofle 550°C pendant 2 h c'st le  $m_2$

### Calcul de la matière volatile en suspension (bassine d'aération et l'épaissies)

$$MVS = (m_1 - m_2) / V * 1000$$

$m_0$  : le poids de capsule vide

$m_1$  : le poids d'échantillon après séchage

$m_2$  : le poids après calcination

$V$  : volume d'échantillon

### Calcul de MS de la siccité

$$MS(\%) = m_2 - m_0 / m_1 - m_0 * 100 (\%)$$

### Calcul de MVS de la siccité

$$MSV(\%) = m_2 - m_3 / m_2 - m_0 * 100 (\%)$$

**m<sub>0</sub>** : le poids de capsule vide

**m<sub>1</sub>** : le poids humide

**m<sub>2</sub>** : le poids d'échantillon après séchage

**m<sub>3</sub>** : le poids après calcination

**V** : volume d'échantillon

**Annexe 02** : Echelles d'interprétation de pH (eau) (Baise, 2000).

pH (eau)	Appréciation
< 5,5	Fortement acide
5,5 - 6,5	Acide
6,5 - 6,8	Très légèrement acide
6,8 - 7,2	Voisin de la neutralité
7,2 - 7,5	Légèrement alcalin
7,5 - 8,5	Alcalin
> 8,5	Fortement alcalin

**Annexe 03** : les normes de journal officiel 2012

<b>CE</b>	3 ds/m
<b>MES</b>	30 mg/l
<b>DBO5</b>	30 mg/l
<b>DCO</b>	90 mg/l

**Annexe 04** : Echelle d'interprétation de la matière organique

MO (%)	Sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche

**Annexe 05** : Les normes suivantes ([Anonyme, 1990](#)) ont été retenues pour apprécier le niveau d'azote total dans la couverture pédologique étudiée :

- Inférieur à 0.025%.....très faible.
- 0.05 à 0.1%.....faible.
- 0.1 à 0.15%.....moyen.
- Supérieur à 0.15%.....riche.

**Annexe 06** : Echelle d'interprétation de calcaire total ([Baise, 2000](#)).

CaCO <sub>3</sub> (%)	Sol
CaCO <sub>3</sub> < 1%	Non calcaire
< 1 CaCO <sub>3</sub> < 5%	Peu calcaire
5 < CaCO <sub>3</sub> < 25%	Modérément calcaire
25 < CaCO <sub>3</sub> < 50%	Fortement calcaire
50 < CaCO <sub>3</sub> < 80%	Très fortement calcaire
CaCO <sub>3</sub> > 80%	Excessivement calcaire

**Annexe 07** : Echelle d'interprétation de pH du sol

<b>pH</b>	<b>sol</b>
pH < 3,5	Hyper acide
3,5 < pH < 5	Très acide
5 < pH < 6,5	Acide
6,5 < pH < 7,5	Neutre
7,5 < pH < 8,7	Basique
pH > 8,7	Très basique

**Annexe 08** : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (Aubert, 1978).

<b>CE</b>	<b>Sol</b>
<b>CE ≤ 0,6</b>	Sols non salés
<b>0,6 &lt; CE ≤ 1,2</b>	Sols peu salés
<b>1,2 &lt; CE ≤ 2,4</b>	Sols salés
<b>2,4 &lt; CE ≤ 6</b>	Sols très salés
<b>CE &gt; 6</b>	Sols extrêmement salés

**Annexe 09 : Résultats des rendements de pomme de terre**

Type de l'eau	Les pots	nombre	Poids (g)	Diamètre (cm)	totale
EUT	Pot 1	4	279.19	22.4	13
			43.89	11.7	
			14.31	7.7	
			11.49	7.1	
	Pot 2	4	19.11	12.4	
			29.67	9.4	
			61	14.2	
			34.20	10.6	
	Pot 3	2	56.12	14.2	
			49.34	13.3	
	Pot 4	2	65.15	13.9	
			34.21	10.8	
	Pot 5	1	45.81	12.1	
EP	Pot 1	5	99.77	14.7	17
			61	13.8	
			31.09	9.3	
			20.28	8.7	
			5.48	6.5	
	Pot 2	4	64.81	13.3	
			23.72	9.6	
			9.82	7.8	
			653.49	28.2	
	Pot 3	3	110.21	16.1	
			44.37	13.4	
			46.60	13.2	
	Pot 4	3	79.78	14.6	
			34.20	10.4	
			33.51	9.8	
	Pot 5	2	114.30	14.4	
			47.30	12.2	